

MAGIC experiment – a new insight into the Universe

Galina Maneva, Petar Temnikov
Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy, Bulgarian Academy of Sciences
72 Tsarigradsko Shousse Blvd., 1784 Sofia, Bulgaria
petar.temnikov@gmail.com
(Invited lecture. Accepted on 09.02.2010)

Abstract. This paper presents an invited lecture about gamma-astronomy and astrophysical experiment MAGIC, given at the National Astronomy Conference in Smolyan, devoted to the International “Year of Astronomy”

Key words: Astrophysics, astronomy, elementary particles, gamma rays, Cerenkov radiation, neural networks

Експериментът MAGIC – нов поглед към Вселената

Галина Манева, Петър Темников

Статията представлява поканена лекция за гама-астрономията и същността и достиженията на експеримента MAGIC, изнесена на Националната конференция в Смолян, посветена на Международната година на астрономията

1 Астрофизика на частиците

Астрофизиката на частиците (Astroparticle physics, Particle astrophysics) е бурно развиваща се нова, интердисциплинарна научна област, която обединява познанието и усилията на учени от две различни области на физиката - физика на елементарните частици, която изучава микро света, и астрономия и астрофизика, изучаващи космоса. Може да се каже, че това е науката, която

- с методите на микро-космоса изучава мега-света;
- чрез изучаването на космичните явления разширява познанието ни за микро света.

Типични въпроси, на които се опитва да оговори астрофизиката на частиците, са следните:

- В какви процеси се ускоряват космичните лъчи?
- По какъв начин масивните черни дупки ускоряват гама-лъчите?
- Каква е природата на тъмната материя във Вселената?
- Каква е природата на т.н. “мистерия на Вселената” - гама избухванията (gamma ray bursts)?

Към астрофизиката на частиците се отнасят експериментите по космично лъчение, експериментите за детектиране на космични неутрино и гама-астрономичните експерименти. Обект за регистрация на гама-астрономичните експерименти са гама-лъчите, идващи към Земята от космоса.

2 Защо изследваме гама-лъчите?

Вселената излъчва електромагнитни вълни в целия вълнов спектър (т.е. радиовълни, инфрачервена и видима светлина, ултравиолетови, рентгенови и гама лъчи). На Фиг.1 виждаме целия спектър на електромагнитните вълни, както и уредите, с които се наблюдава космоса в различни енергетични интервали. Оптичните фотони, които възприемаме с очите си, представляват много малък интервал от целия вълнов спектър (на Фиг.1 интервалът на видимата светлина е оцветен в синьо). Гама-лъчите представляват най-високоенергетичното и силно йонизиращо електромагнитно лъчение. За сравнение ще кажем, че фотоните, които се регистрират от гама-телескопите са трилиони пъти по-енергични от оптичните (видимите) фотони.

Първото и огромно предимство на информацията, която получаваме от гама-лъчите, е фактът, че за разлика от космичните лъчи, които са заредени космични частици, те не се отклоняват от магнитните полета в космоса.

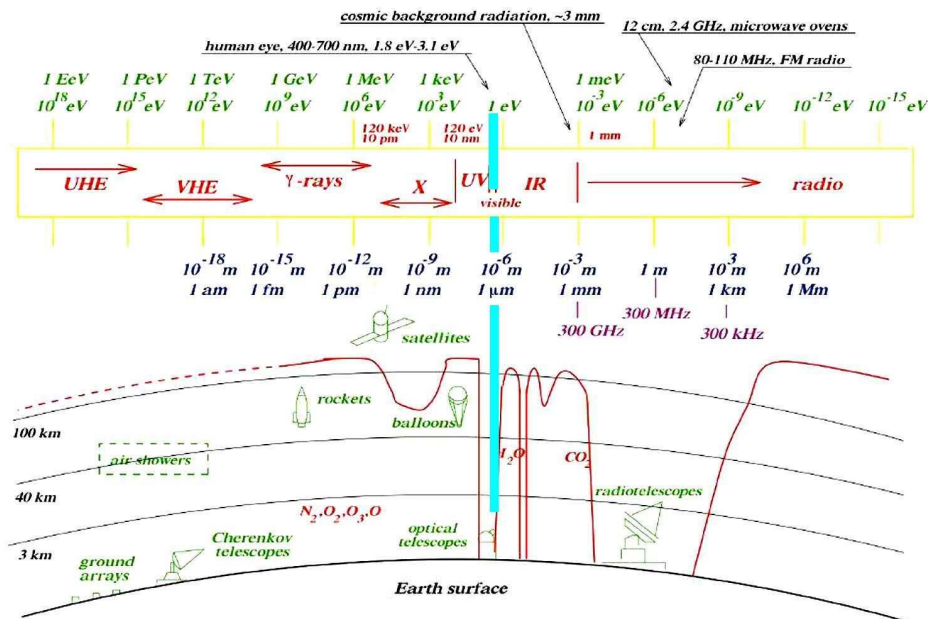


Fig. 1. Електромагнитният спектър

Второ, кванти с подобни, свръхвисоки енергии могат да се родят само в най-катастрофалните космични процеси, и носят информация за тях. На Фиг.2 се представени някои от физичните явления и обекти във Вселената, които пораждат гама-кванти: свръхнови звезди, активни

галактични ядра, неутронни звезди, микро-квазари, хипотетична аниhilация на тъмна материя и др.



Fig. 2. Явления и обекти, изучавани от гама-астрономията

Гама-лъчите, за щастие на хората, се поглъщат от атмосферата, като на височина от 30 до 10 км над морското ниво те генерират порои от електрони и позитрони (т.н. електромагнитни атмосферни порои, вж. Фиг.5).

3 Малко история. Развитие на гама-астрономията

Още в началото на 20-ти век редица физични експерименти указват на наличието на йонизиращо лъчение, идващо от космоса. През 1912 г. В. Хес установява, че йонизиращото лъчение нараства с отдалечаването от земната повърхност. За това свое откритие той е удостоен с Нобелова награда. Терминът “космични лъчи” е въведен от Р. Миликан, който предполага, че космичното йонизиращо лъчение се състои от високоенергетични фотони. Но през 30-те и 40-те години на 20 век редица експерименти установяват, че обратно на тази хипотеза, космичните лъчи се състоят предимно от заредени елементарни частици и ядра.

През 50-те години на века редица физици предсказват съществуването на дифузни гама-лъчи в Галактиката и в извънгалактичното пространство.

Предполага се, че гама-лъчите се генерират в резултат на спиращо излъчване на космични електрони при взаимодействието им с междузвездно вещество, при разпад на неутрални пи-мезони, а също така и при аниhilация на материя и антиматерия. Теоретичната идея, че космосът ни бомбардира с гама-лъчи става общоприета през 50-те години на XX век. Но т.к. гама-лъчите се поглъщат от атмосферата, до 80-те години на миналия век и преобладавало мнението, че космичните гама-лъчи могат да се наблюдават само чрез камери, качени на спътници.

През 1961 г. е изстрелян в орбита първият специализиран американски спътник с гама-телескоп на борда, "Експлорър 11", който успява да регистрира едва стотина гама кванти. До началото на 60-те години са проведени няколко наземни, балонни и спътникови експерименти по търсене на космични гама-лъчи, но те завършват без резултат.

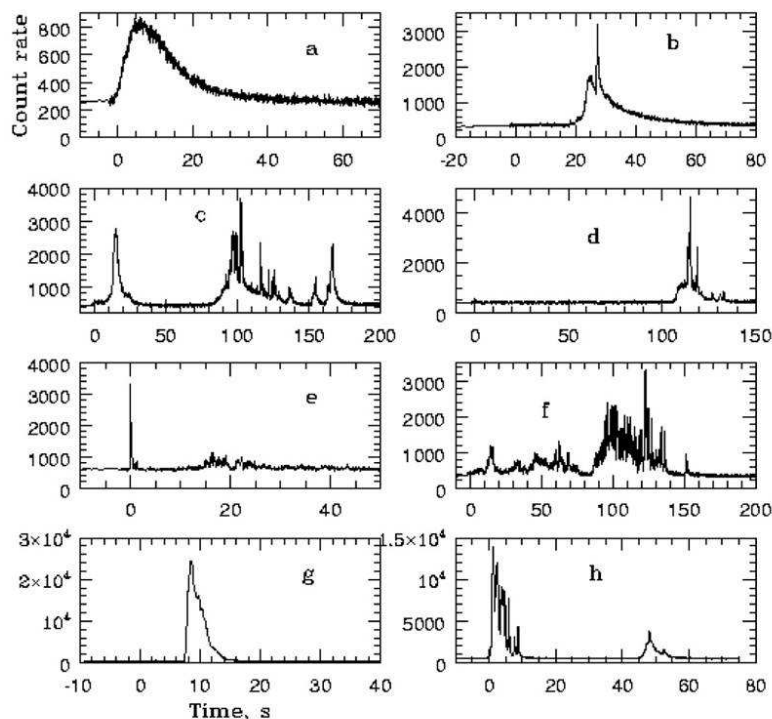


Fig. 3. Примери за регистрирани гама-избухвания

Съществен тласък в развитието на гама-астрономията дава откриването от американски физици на удивителното космично явление "гама-избухвания", наричано до сега "мистерия на Вселената". Интересен факт е, че това откритие е провокирано от надпреварата във въоръжаването между двете враждуващи политически свръх-сили – САЩ и Съветския съюз. В края на 60-те години Парламентът на САЩ одобрява скъпо

струващ военен проект за наблюдение на евентуални съветски ядрени опити. Проектът предполага постоянно спътниково наблюдение на гама радиацията, излъчвана от Земята, с цел навременната регистрация на евентуални ядрени опити. С тази цел, специални гама-детектори, разработени от физици от лабораторията в Лос Аламос, се издигат в космоса в серия спътници "Вела".

Още през 1967 г. военните детектори регистрират мощни, краткотрайни взривове на гама-лъчи, които според физиците идват не от Земята, а от далечния Космос. Но военните са убедени, че това е резултат от съветски военни опити, и засекретяват откритието. Наблюденията продължават в режим на секретност до 1973 г., когато учените получават разрешение за публикуване на откритието на явлениято космични гама-взривове.

Тук ще отбележим, че тайната на удивителното явление "избухване на гама-лъчи" (gamma-ray bursts), с които ни бомбардира космосът, остава неразгадана до сега. Гама-взривовете се появяват ежедневно, в непредсказуеми точки на небесната сфера, и се развиват по различен, неповтарящ се начин. Илюстрация на развитието във времето на гама-избухвания е представена на Фиг. 3. Откритието на космичните гама-избухвания служи за "пусков механизъм" в развитието на експерименталната гама-астрономия. Така една грешка на тайните служби се превръща в голям успех за световната наука.

От този момент учените започват интензивно спътниково изучаване на "картината" на Вселената в гама-лъчи.

4 Наземна гама-астрономия. Излъчване на Вавилов - Черенков

Спътниковата гама-астрономия е изправена пред следните, трудни за решаване проблеми:

- Необходимост от изкачване на тежка апаратура на космични апарати;
- Ограничена повърхност на регистрация. Това изисква много дълго време за натрупване на статистически значими наблюдения, особено при високи енергии на гама-квантите > 10 GeV.

Това стимулира търсенето на пътища за построяване върху земната повърхност на детектори на космично гама-излъчване, които се наричат "гама-телескопи". Голяма крачка напред представлява решението на учените да използват **атмосферата като съществена част от детектора** на гама-лъчението.

В основата на съвременната наземна гама-астрономия лежи физическият ефект, наречен "излъчване на Вавилов-Черенков". Явлението е открито експериментално през 1934 г. от руските учени Вавилов и Черенков и е обяснено теоретично 2 години по-късно от Франк и Тамм. Преди това откритие е било общоприето мнението, че равномерно и праволинейно движещ се заряд не може да излъчва електромагнитни вълни.

Четиримата руски учени показват, че ако фазовата скорост на светлината в средата е по-голяма от скоростта на заряда, то той излъчва силно насочено електромагнитно поле, което е концентрирано в тънък конус

около заряда. Необходимо условие за това е оптичният показател на пречупване в средата да е по-голям от този във вакуума. Това лъчение е аналог на “конуса на Мах” в акустиката. Типичен случай на генериране на “конус на Мах” е ударната звукова вълна, която се поражда във въздуха от движението на свръхзвуков самолет.

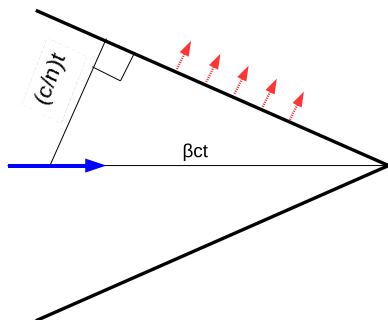


Fig. 4. Черенковски конус на излъчването

Излъчването на Вавилов-Черенков бързо намира широко приложение в детекторите на елементарни частици. Трима от откривателите са наградени през 1958 г. с Нобелова награда. Оптичният показател на пречупване във въздуха на морското ниво е 1.0003, а показателят на пречупване във вакуума е равен на 1. Минималната разлика от 0.0003 между тях е достатъчна, щото излъчените от хилядите заредени частици оптични фотони да се регистрират на земната повърхност.

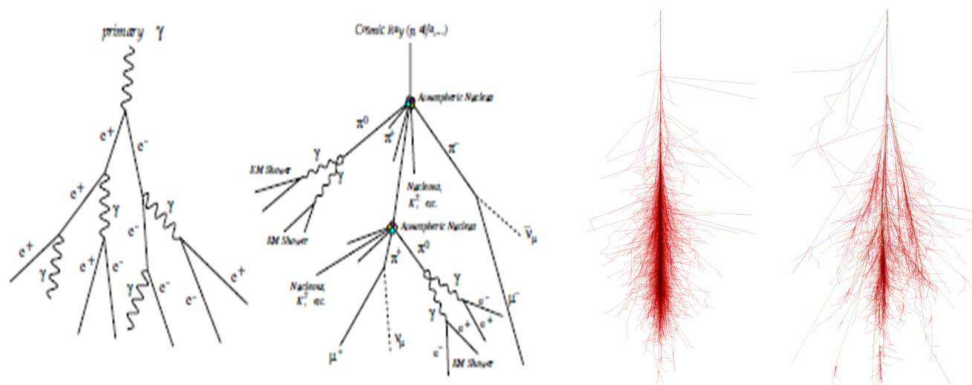


Fig. 5. Атмосферни порои. От ляво на дясно: процес на развитие на порой от гама-квант и от протон; симулирани траектории на частиците от гама-квант и от протон

Принципът на работата на съвременните гама-телескопи се състои в следното: гама-квантът поражда в атмосферата електромагнитен порой от заредени електрони и позитрони (Фиг.5), а всеки от тях излъчва черенковски фотони, които се регистрират при земната повърхност. Експериментите регистрират предимно фотони във оптичната област и близкия ултравиолет, тъй като атмосферата е прозрачна главно в този диапазон. Излъчената от пороя черенковска светлина се отразява от рефлектора на гама-телескопа и се регистрира от фотоумножители, чувствителни в същия вълнов диапазон.

Черенковското лъчение от космични лъчи в атмосферата е регистрирано още през 50-те години на миналия век от английския физик Джели, но реалното му приложение в гама-астрономията започва в края на 80-те години от колектива на американския наземен гама-телескоп Whipple. През 1989 г. този телескоп за първи път успя да регистрира ясен гама-сигнал от локален космически обект – Ракообразната мъглявина. Регистрираните гама-кванти са имали енергия около 1 TeV, т.е. един трилион пъти по-енергични от видимите фотони.

През 90-те години на миналия век в света започва надпревара в създаването на черенковски гама-телескопи, най-големите от които са Whipple и Stacee (USA), Celeste (France), Heger (Germany), които детектират лъчи с енергии $> 500 \text{ GeV}$ ($1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$). В края на 20 век, картината на детектираните локални космични обекти беше следната:

- Спътниковите експерименти са регистрирали около 300 обекта, излъчващи енергии по-малки от 1 GeV (Фиг.6);
- Наземните експерименти са детектирали **само** 6 гама-източници с енергии по-големи от 500 GeV (Фиг.7).

Това наложи усилията на учените да се насочат към изследване на природата на разрыва между спътниковите изследвания и наземната гама-астрономия. В първите години на XXI век, с обединените усилия на европейските учени са построени и пуснати в експлоатация два мощни детектора от новото, съвременно поколение черенковски гама-телескопи, работещи в северното и южното полукълбо – MAGIC и HESS. Неотдавна постоянно наблюдение на небесната сфера в гама-лъчи започна и американският детектор VERITAS.

5 Описание на експеримента MAGIC

MAGIC е най-големият в света прибор сред черенковските телескопи. Названието на експеримента е абревиатура от английското название "Major Atmospheric Gamma Imaging Cerenkov Telescope". Той се намира на остров Ла Палма от Канарския архипелаг. На височина над 2200 м, на ръба на изгасналия вулкан "Roque de los Muchachos" (Скалата на момчетата), са разположени международна и испанска астрофизични обсерватории, включваща десетки телескопи от различен тип. На Фиг.9 се виждат двата телескопа на експеримента MAGIC, а на заден план се виждат италианският оптичен телескоп "Galileo Galilei" и един от най-големите в света оптични телескопи "Gran Telescopio Canarias".

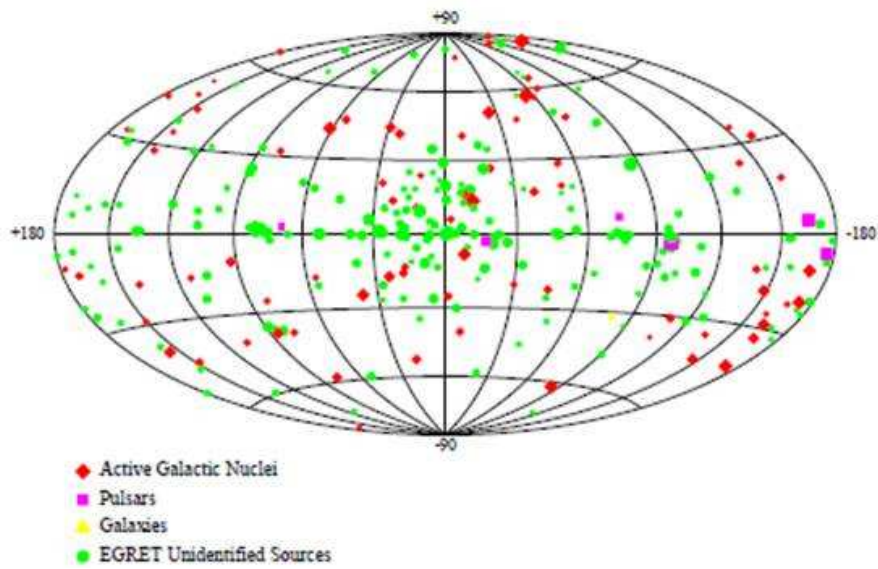


Fig. 6. Гама-източници, открити от спътникови експерименти до края на 20 век

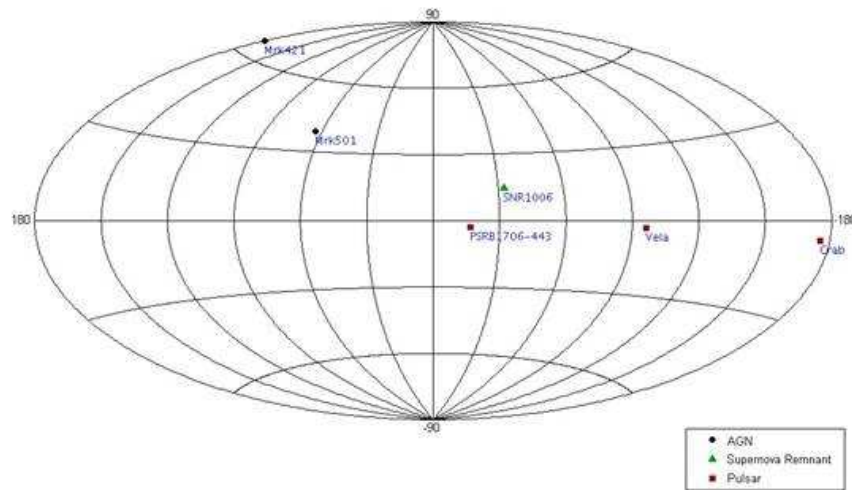


Fig. 7. Гама-източници, открити до края на 20 век от черенковски телескопи, инсталирани на земната повърхност

Експериментът MAGIC е построен и се експлоатира от международна колаборация на 17 института от 10 държави. В него участват около 150 учени, повечето от които са специалисти по физика на елементарните частици, главно участници в експерименти в Европейския център за ядрени изследвания ЦЕРН).



Fig. 8. MAGIC в лъчите на залеза на Roque de los Muchachos



Fig. 9. Двата телескопа MAGIC в компанията на оптични телескопи

Изучаването както на микросвета, така и на космоса е свързано с използването на големи и комплексни детектори. За всеки експеримент се конструира и изработва нова уникална апаратура, която по правило няма аналог в света.

Българската група, участваща в MAGIC се състои от учените от Лабораторията по физика и астрофизика на частиците на Института за ядрени изследвания и ядрена енергетика при БАН Г.Манева, Хр.Ванков, П.Темников, М.Макариев и Н.Каравасилев. За да характеризираме научната активност на експеримента представяме някои данни за неговите публикации през последните четири години:

- брой на публикациите в реферирани международни списания: над 50;
- брой на цитиранията на тези публикации, без автоцитати: над 1200.

Експериментите се подготвят и провеждат в течение на много години. Налага се да се решават най-разнообразни технически и научни задачи. За тези цели се създават големи международни колективи от учени с разнообразна и висока квалификация. В експериментите по физика на елементарните частици това са групи от 2000-3000 учени, обединени от обща цел. В астрофизиката съвременните колаборации наброяват 100-200 учени.

Съставът на колаборацията MAGIC е показан на Фиг.10.



Fig. 10. Колаборацията MAGIC

5.1 Основни отличия на MAGIC от другите експерименти

На съвременния етап на развитие на гама-астрономията съществува неизследвана област на енергии между данните от спътниковите експерименти ($E < 10 \text{ GeV}$) и наземните гама-телескопи ($E > 300 \text{ GeV}$). Тук ще отбележим, че потоците космични гама-лъчи намаляват бързо с ръста на енергията им. Това налага използването на детектори с голяма “ефективна площ”, която да осигури статистическата значимост на регистрирания сигнал. Поради тази причина, спътниковите експерименти с камери, позволяващи детектирането на гама-кванти с енергия от няколко стотин GeV , не успяват да регистрират статистически значим сигнал в областта над 10 GeV .

Първата цел на експеримента MAGIC е да изучава Вселената в тази неизследвана област на енергии, която е критична за много от съществуващите астрофизични модели.

Втората цел е да се способстват наблюдения на GRBs (gamma-ray bursts, гама-избухвания) в оптичния диапазон на спектъра. Такова наблюдение е възможно когато избухването е достатъчно продължително и когато, след получаване на сигнал от световната мрежа за следене на гама-избухванията, оптичният телескоп успее да прекъсне бързо работата си и да се пренасочи към направлението на избухването.

5.2 Някои технически характеристики на телескопа

- Височина над морското равнище 2200 м .
- Най-големите рефлектори в света (диаметър 17 м ; $f/D = 1.03$), което определя най-нисък праг по енергия в сравнение с другите наземни гама-телескопи $\sim 70 \text{ GeV}$.
- “Активна” (контролирана от компютър) огледална повърхност с площ от 236 м^2 , направена от квадратни елементи ($50 \times 50 \text{ см}$ за първия телескоп, $100 \times 100 \text{ см}$ - за втория).
- Положението на точков източник се определя с точност $< 2'$.
- Ъглово разрешение (Point Spread Function) $\sim 0.1^\circ$.
- Енергетично разрешение $20\text{-}30\%$; $15\text{-}20\%$ за системата от два телескопа.
- Поддържаща конструкция от въглеродни нишки за минимизиране на теглото и увеличаване на устойчивостта на конструкцията.
- Камера с диаметър 1.05 м във фокуса на рефлектора, с вътрешна зона от 396 фотоумножители с диаметър $1''$ (ЕТ 9116А), обкръжена от 180 фотоумножителя с диаметър $1.5''$ (ЕТ 9117А), разположени в четири концентрични кръга. Квантовата ефективност на фотоумножителите (QE) е $25\text{-}30 \%$.
- Аналоговите сигнали от камерата се предават към контролния блок през оптични влакна, като усилвателите и модулаторите от лазерни диоди се намират вътре в тялото на камерата. Цифровизацията се осъществява от FADC с честота 2 GHz .
- Максималното време на позициониране на телескопа към всякаква нова точка в небето е по-малко от 20 секунди (при тегло на подвижната част около 60 тона).



Fig. 11. Регистриращата камера - система от фотоумножители, разположена в фокусната плоскост на рефлектора

5.3 Методи на анализ на данните

Черенковските телескопи наблюдават не директно гама-лъчите от астрономическия обект, а създадените от тях атмосферни порои. Общият поток от генерираната от пороите черенковска светлина е пропорционален на енергията на първичната частица, но като правило е много слаб. Всички черенковски детектори регистрират само част от целия черенковски порой, генериран от първичния гама-квант в атмосферата. Изображението на атмосферния порой се получава от системата фотоумножители на камерата. То е сложно за анализ, т.к. от една страна носи ограничена информация, а от друга - неговата форма е зависима както от статистическите флуктуации в развитието на пороя, така и от промените в състоянието на атмосферата. Примери на изображенията на пороите, предизвикани от първичните частици гама-квант, протон и мюон, попадащ директно върху рефлектора, са приведени на Фиг.5.3.

Другата сложност при анализа на данните е идентификацията и елиминирането на огромния фон, създаван от заредените частици на космичното лъчение. Заредените космични лъчи идват от всички направления и създават порои, подобни на пороите от гама-кванти. Тези фонове порои са хиляда пъти по-многобройни от търсените от нас гама-порои.

По тази "оскъдна" информация трябва да определим всички характеристики на събитието: типа на първичната частица (дали това е гама-квант?), нейната енергия и направлението, от което е дошла. За решаване на тези задачи в експеримента се прилагат съвременни методи за решаване на многопараметрични статистически задачи, както и методи на изкуствения интелект. Тези методи са немислими без детайлно и точно теоретично симулиране на физическото развитие на пороя и на всички елементи

на детектора, включително и на състоянието на атмосферата по време на наблюдението.

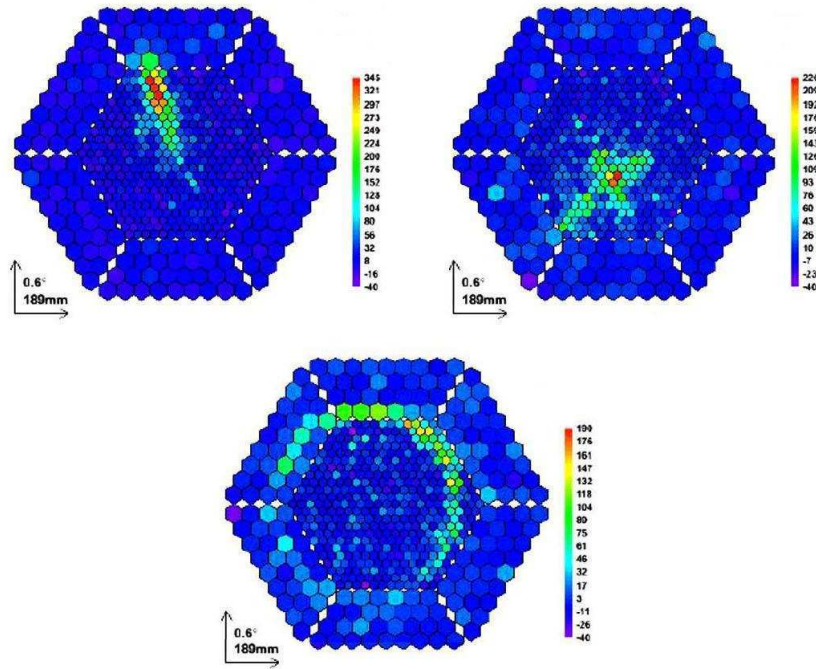


Fig. 12. Изображения на порои в камерата: горе вляво - гама-квант, горе вдясно - протон, долу - мюон, пресичащ рефлектора. Кръгчетата, оцветени от светло синьо до червено обозначават фотоумножителите, върху които са попаднали черенковските фотони.

5.4 Методи на изкуствения интелект за анализ на данните

При анализа на данните се решават два типа задачи:

Класификация - определяне на типа на първичната частица, предизвикала пороя

Регресия - определяне на количествените характеристики (енергия, посока на движение) на първичната частица

При достатъчно високи енергии на първичния гама-квант $E > 250$ GeV, информацията от камерата се анализира достатъчно добре чрез класическия дискриминантен анализ на т.нар. "параметри на образа" (Хилас-параметри и други статистически моменти от втори и трети порядък на двумерните амплитудни разпределения в плоскостта на камерата).

При енергии < 250 GeV параметрите на образа са силно размити поради големите флуктуации в развитието на пороя. Това води до значителни

трудности при идентифицирането на гама-кванти с енергии, по-ниски от 250 GeV.

Тъй като основната научна задача пред MAGIC е откриването и изследването на гама-източници в почти неизследвания интервал на енергии (30-250) GeV, то възниква належащата задача за създаване на нови, нетрадиционни методи на анализ, достатъчно ефективни в указаната енергетична област, като методите на изкуствения интелект. За експеримента MAGIC бяха развити модели и програми за анализ, основани на статистическия метод Random Forest, които дават много добри резултати за енергии над 100 GeV.

Под тази енергия в наземната гама-астрономия няма създадени удовлетворителни методи за анализ. Един от новите подходи, разработван от българските участници в експеримента, е методът на йерархични изкуствени невронни мрежи (ЙИНМ). Методът на ЙИНМ дава значително подобри резултати при определянето на енергията на първичната частица. Тази задача е от класа на така наречените “обратни задачи”, когато по измерената величина (деформирана от експерименталната процедура) трябва да се определи истинската, дадена от природата. Подобна задача стои пред повечето експерименти и като правило няма достатъчно устойчиво решение поради некоректността на обратната задача.

Съществуват методи на “регуларизация” на този тип некоректни задачи, но на практика различните методи водят до значително различаващи се резултати. Точността на тези методи значително зависи от степента на “деформирането”, внесено от измерителния уред. Прилагането на метода на ЙИНМ дава по-точна форма на енергетическия спектър, което определя и качеството на окончателния резултат.

Пример на низшето йерархично ниво на невронната мрежа за определяне на енергията е представен на Фиг. 13.

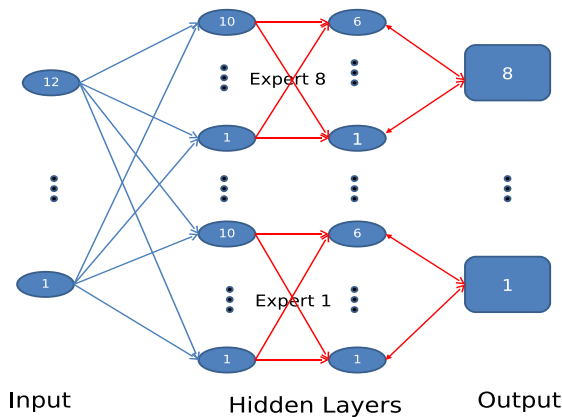


Fig. 13. Пример за невронната мрежа при определяне на енергията на гама-лъчите

6 Основни резултати от експеримента MAGIC

Съвсем кратко основните резултати за последните 5 години могат да бъдат сумирани в следните пунктове:

1. MAGIC откри 10 нови източника, 4 галактични + 6 извънгалактични:
 - LS I +61 303, Cygnus X-1, MAGIC J0616 (IC443), Crab Pulsar
 - 1ES 1218+304, Mrk 180, BL Lac, 1ES 1011+496, 3C 279, S5 0716+71
2. 12 други източници 6 галактични + 6 извънгалактични, са детектирани и изучени:
 - TeV 2032, Cassiopeia A, Crab Nebula, Galactic Center, HESS J1834, HESS J1813
 - Mrk 421, Mrk 501, 1ES 1959+650, 1ES 2344+514, PG 1553+113, M 87
3. Получени са горни граници на излъчването от WR binaries, PSRB1951, Dark Matter in Draco, GRB's и много други астрофизични обекти.
4. Публикувани са над 50 научни статии в реномирани физични списания.
5. Четири от статиите, публикуващи съществени научни достижения на експеримента, са отпечатани в едно от най-реномираните списания в света – "SCIENCE".

7 Три от най-важните открития на MAGIC

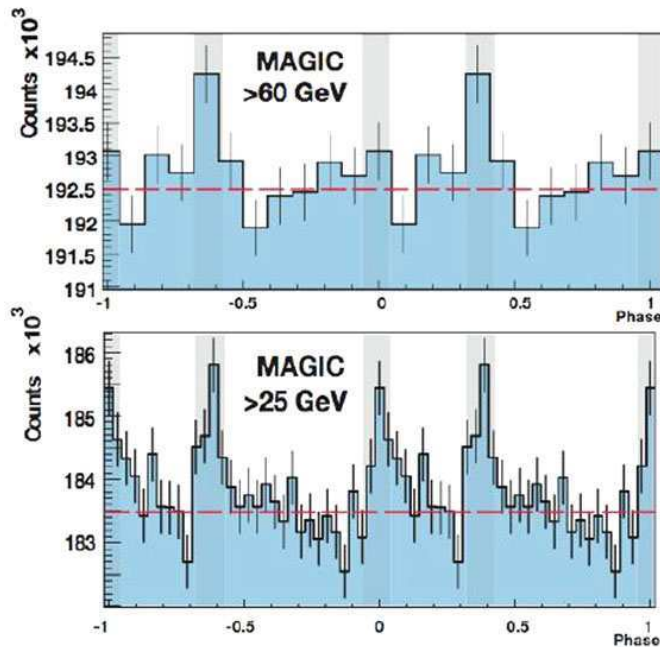


Fig. 14. Гама-сигнал от пулсара Crab

7.1 Гама-лъчи от пулсара в Ракообразната мъглявина (Crab)

През 2008 година беше разработена, произведена и монтирана нова система за тригериране на детектора. Това позволи прагът на регистрираните гама-лъчи да бъде понижен до 25 GeV. Благодарение на тази система за първи път е регистрирано пулсиращо гама-лъчение с енергия над 25 GeV от пулсара Crab (Фиг.14). Crab-пулсарът е неутронна звезда, която се намира на 6.5 хиляди светлинни години от нас, има много силно магнитно поле, 10^{12} (трилион) пъти по-силно от земното, и се върти много бързо (30 завъртания за 1 секунда). Масата му е сравнима с масата на Слънцето, но има диаметър само 20 км. Всички модели на пулсиращото излъчване на Crab-пулсара предсказват, че енергийният спектър рязко спада при енергии от няколко GeV до няколко десетки GeV. Измерванията на MAGIC показват (вж. Фиг.14), че това “обрязване” на спектъра става при относително високи енергии, което означава, че излъчването става извън магнетосферата на пулсара. Това изключва цял клас теоретични модели на пулсари. Статията е публикувана в списание “Science” от 21 Ноември 2008 г (Albert et al., 2008).

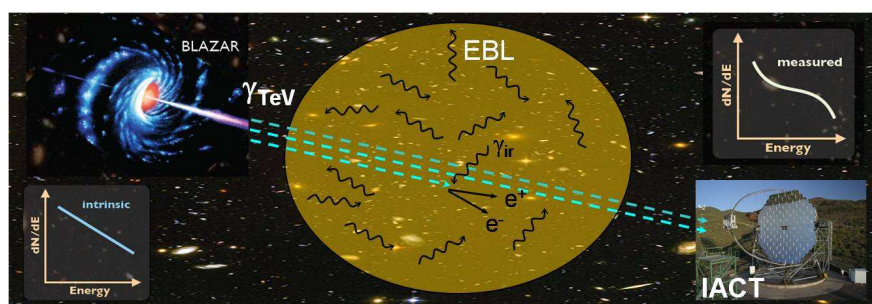


Fig. 15. Гама-лъчи от най-далечния блазар

7.2 Най-“старите” регистрирани досега гама-лъчи

MAGIC наблюдава гама-лъчи от блазар 3C279, разположен на повече от пет милиарда светлинни години от Земята (Фиг.15). Това е най-далечния блазар, регистриран в диапазона на гама-лъчи със свръхвисоки енергии. (Названието “very high energy”, отнасящо се за гама-кванти с енергия от 10 GeV до 100 TeV превеждаме като “свръх-високи енергии”). Пространството между галактиките е запълнено със светлината, излъчвана от всички звезди във Вселената по време на нейната еволюция. Може да се каже, че тази светлина е “запис” на историята на света. Гама-лъчите от далечния квазар “прочитат” информацията и я донасят до нашата планета. Анализът на регистрираното гама-лъчение показва, че в между-галактичното пространство има по-малко светлина, отколкото се предполага в съвременните модели на Вселената. Гама-излъчването от далечните активни галактични ядра “сканира” Вселената и ни дава снимка на нейната история (MAGIC, 2008).

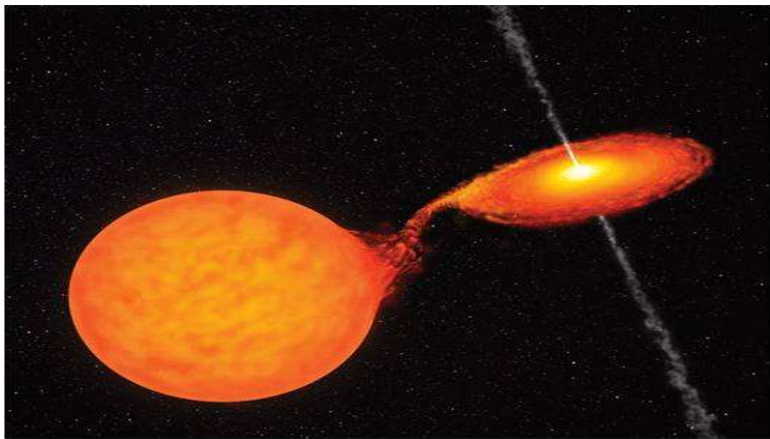


Fig. 16. Вид на микроквазар от типа на LSI + 61 303 (вдясно), чиито акреционен диск и струя се “зхранват” с маса от близка звезда (вляво)

7.3 Микроквазарът – лаборатория за изучаване на активни галактични ядра

Периодично излъчване на високоенергетични гама-лъчи от двойната система LSI + 61 303 беше наблюдавано през 2006. Двойната система се състои от компактен обект (черна дупка или неутронна звезда), около която се върти обикновена звезда, която, губейки масата си образува акреционен диск (Фиг.16). При този процес се образува и струя от вещество, излитащо с близка до светлината скорост, в перпендикулярно на диска направление. Това е едно от най-тайнствените явления в астрофизиката. Този тип системи се намират в нашата галактика и могат да служат като лаборатория за изучаване на физиката на милиарди пъти по-големи системи - активните галактични ядра, които също имат акреционен диск и струи. Тези обекти са едни от основните кандидати за образуване на космични лъчи с високи енергии. Тъй като периодът на въртене на системата е около 26 дни, беше необходимо няколкомесечно наблюдение на обекта. Интересно е, че максимумът на гама-лъчите не съвпада с максимума на радиоизлъчването (Aliu et al., 2006).

8 Бъдещето на експеримента

8.1 Близкото бъдеще на експеримента

През 2009 година въведохме в експлоатация втори телескоп (MAGIC II), близък на първия, намиращ се на разстояние 85 м от него. Вече можем да наблюдаваме Вселената с “две очи”. Така освен двойно по-голямата площ на детектора, което повишава чувствителността и позволява да се понижи прага на регистрираните гама-лъчи, има и възможност за

стереоскопични наблюдения, даващи и по-голяма точност в измерването на параметрите на пороя и по-сигурна идентификация на природата на първичната частица (Фиг.17).



Fig. 17. Двата телескопа на гама-експеримента MAGIC

Предвижда се наблюденията с двата телескопа MAGIC да продължат още 10 години.

8.2 Бъдещето

От 2 години се подготвя много по-голям общоевропейски проект – СТА (Cerenkov Telescope Array), който е включен като приоритетен в две Европейски програми. В СТА участват над 500 учени от 70 института от почти всички европейски страни. На 13 май 2009г. бе приет Memorandum of Understanding, и беше избрано ръководството на консорциума. Постъпи и предложение от американска страна за съвместен проект. Ще бъдат построени два големи комплекса – в южното и северното полукълба, всеки с мрежа от 50-60 Черенковски гама-телескопи с радиуси на рефлекторите 6, 12 и 23 метра. Стойността на всеки от комплексите е над 100 милиона евро.

Проектът СТА е включен през 2008 г. в Пътната карта (roadmap) на Европейския Стратегичен Форум на Научни Инфраструктури (European Strategy Forum on Research Infrastructures) (ESFRI). Той е един от “Великолепната седморка” на Европейската стратегия за астрофизика на

частиците (astroparticle physics) публикувана от ASPERA, и има много висок рейтинг в “Стратегичния план за европейска астрономия” на ASTRONET.

9 Заключение

В заключение, изказваме благодарност на организаторите на Националната конференция по астрономия в Смолян за поканата да разкажем за достиженията на експеримента MAGIC. Благодарни сме на Съюза на физиците в България за финансовата подкрепа за участие в Конференцията.

References

- E. Aliu et al., *Science* **322** (2008) 1221.
MAGIC Collaboration, *Science* **320** (2008) 1752
J. Albert et al., *Science* **312** (2006) 1771

