

**ՀՀ ՊԵՏԱԿԱՆ ԲՅՈՒՋԵԻՑ ԳԻՏԱԿԱՆ ԵՎ ԳԻՏԱՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳՈՐԾՈՒՆԵՈՒԹՅԱՆ
ՊԱՅՄԱՆԱԳՐԱՅԻՆ (ԹԵՄԱՏԻԿ) ՖԻՆԱՆՍԱՎՈՐՈՒՄ ՍՏԱՆԱԼՈՒ
ՀԱՅՏ**

Հայտը հանձնված է «_____» _____ 2013 թ. Ծածկագիր՝ _____
(յրացվում է ՀՀ ԿԳՆ գիտության պետական կոմիտեում)

Ձև 1

Տ Ի Տ Ղ Ո Ս Ա Թ Ե Ր Թ

1. Հայտի

վերնագիրը (15 բառից ոչ ավելի՝ հայերեն, անգլերեն և ռուսերեն)

ԳԵՐԲԱՐՁՐ ԷՆԵՐԳԻԱՆԵՐԻ ԳԱՄՄԱ ԱՍՏՂԱՖԻԶԻԿԱ ՊՄՉԴ-ՆԵՐԻ
ՕԳՆՈՒԹՅԱՄԲ

VERY HIGH ENERGY GAMMA ASTROPHYSICS WITH IACT

АСТРОФИЗИКА СВЕРХВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ С ПОМОЩЬЮ ГАММА-
ТЕЛЕСКОПОВ

- բնագավառը ֆիզիկա և աստղագիտություն
- մասնագիտական դասիչը 1.3
- բնույթը

Տեսական

փորձարարական

X

2. Հուշող (բանալի) բառեր (հայերեն և անգլերեն)

Բարձր էներգիաների գամմա-աստղաֆիզիկա, Պատկերային մթնոլորտային
չերենկոլվյան դիտակ, Չերենկոլվյան ճառագայթում, Մթնոլորտային հեղեղի
չերենկոլվյան պատկեր:

High energy gamma-ray astrophysics, Imaging atmospheric Cherenkov telescope,
Cherenkov image of atmospheric shower.

3. Հայտի ղեկավարի

- ազգանունը անունը հայրանունը Սահակյան Վարդան Հայաստանի
- ծննդյան թիվը 1959թ.
- գիտական աստիճանը ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածու
- պաշտոնը ավագ գիտաշխատող
- հեռախոսը 34-15-00, (091) 936-924
- էլեկտրոնային հասցեն sahakian@yerephi.am

4. Գերատեսչությունը ՀՀ կրթության և գիտության նախարարություն

5. Կազմակերպության լրիվ, կրճատ անվանումները և կազմակերպաիրավական ձևը (ՊՈՍԿ, ՓԲԸ, ԲԲԸ, ՍՊԸ և այլն) Ա.Ի. Ալիխանյանի անվան ազգային գիտական լաբորատորիա (Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտ) հիմնադրամ
6. Կազմակերպության հասցեն, հեռախոսը, ֆաքսը և էլեկտրոնային հասցեն 0036, Երևան, Ալիխանյան եղբայրների 2, (+374) 10 34-47-36, (+374) 10 34-47-36, asnl@yerphi.am
7. Թեմայի կատարման համար անհրաժեշտ ժամանակահատվածը 24 ամիս
8. Գիտահետազոտական խմբի (ներառյալ ղեկավարը և խորհրդատուն՝ եթե նախատեսված է) անդամների թիվը 5
9. Աշխատանքի վարձատրության (ներառյալ եկամտային հարկը) գումարը _____ հազար դրամ
10. Վերադիր ծախսերի գումարը _____ հազար դրամ
11. Հայցվող ընդհանուր գումարը _____ հազար դրամ
12. Հայտի ղեկավարի ստորագրությունը _____
13. Կազմակերպության ղեկավարի կամ գիտական քարտուղարի ստորագրությունը _____

« ____ » _____ 2013 թ.

ՆԱԽԱԳԾԻ ԱՆՈՏԱՑԻՍ

Նախագծի նպատակն է մասնակցել պատկերային մթնոլորտային չերենկոյվյան դիտակների H.E.S.S. (High Energy Stereoscopic System) համակարգի օգնությամբ գերբարձր էներգիաների գամմա ճառագայթման աստղաֆիզիկական աղբյուրների ուսումնասիրման և CTA (Cherenkov Telescope Array) նախագծի իրականացման աշխատանքներին: H.E.S.S. համագործակցության շրջանակներում նախատեսվում է մասնակցել փորձարարական դիտումներին, տվյալների վերլուծությանը և մեկնաբանմանը, ինչպես նաև հետազոտել H.E.S.S. II դիտակով գրանցվող տվյալների մշակման մաթեմատիկական նոր եղանակներ: CTA-ի շրջանակներում ստեղծվելու են մթնոլորտային հեղեղների զարգացման, դրանց ուղեկցող ճառագայթման գրանցման ու տվյալների մշակման Մոնտե-Կառլո ծրագիր՝ ընդգրկելով SST, MST և LST դիտակների օպտիկական առանձնահատկությունները: Որոշվելու են տարբեր «կոնստրուկցիաների» դիտակների արձագանքի ֆունկցիաներն ու հիմնական պարամետրերը՝ «հավաքման մակերես», գրանցման հաճախություն, տարբեր գրանցման էներգետիկ շեմերը և այլն: Բացի դրանցից, ուսումնասիրվելու են նաև չերենկոյվյան պատկերների պարամետրերի առանձնահատկությունները:

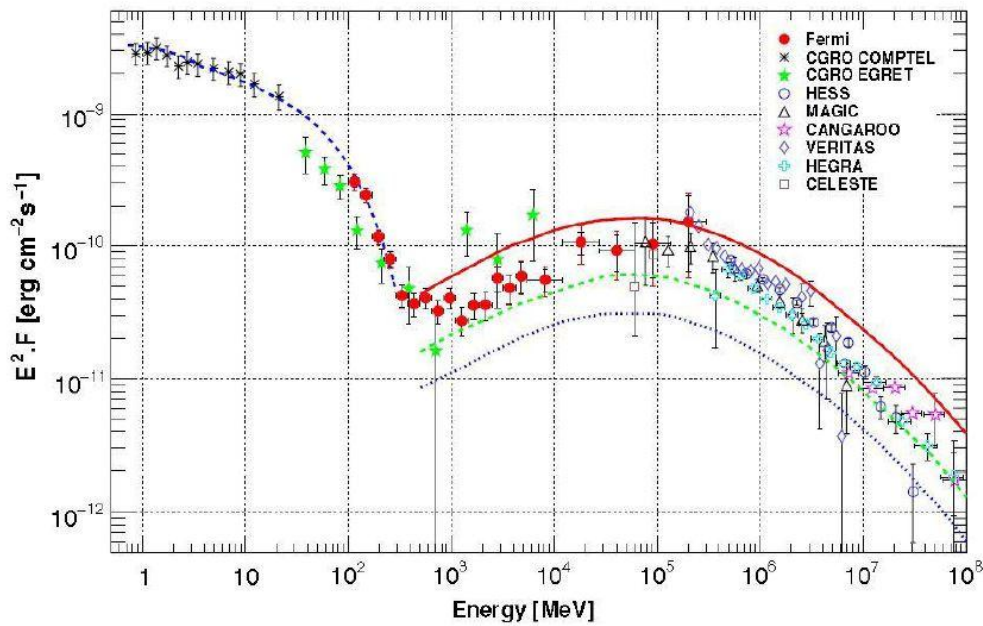
Ն Ա Խ Ա Գ Ի Ծ

Խնդրի դրվածքը, դրա արդի վիճակը, թեմայի գիտական նպատակները, հետազոտական ծրագիրը, իրականացման եղանակները, առկա և անհրաժեշտ նյութական ռեսուրսները

Թեմայով նախատեսվում է շարունակել մասնակցությունը գերբարձր էներգիաների ($E \geq 100$ ԳէՎ) գամմա աստղաֆիզիկայի բնագավառի H.E.S.S. (High Energy Stereoscopic System) և CTA (Cherenkov Telescope Array) միջազգային համագործակցությունների գիտական ծրագրերի իրականացմանը (Ս. Ի. Ալիխանյանի անվան ազգային գիտական լաբորատորիան (Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտ) հանդիսանում է նշված համագործակցությունների հիմնադիր անդամներից մեկը):

Գերբարձր էներգիաների գամմա աստղաֆիզիկայի բնագավառի հիմնական նպատակը տիեզերական աղբյուրներում տեղի ունեցող ֆիզիկական երևույթների ուսումնասիրությունն է՝ դրանցից եկող գամմա-ճառագայթների հոսքերի օգնությամբ: Գերբարձր էներգիաների աստղաֆիզիկայի հիմնական ձեռքբերումները պայմանավորված են սկզբնական գամմա-ճառագայթների գրանցման պատկերային մթնոլորտային չերենկովյան դիտակների (ՊՄՉԴ) և դրանց համակարգերի օգտագործմամբ: Բնագավառի բուռն զարգացումը սկսվել է 1990-ական թվականներից, երբ աշխարհում առաջին անգամ Whipple համագործակցության կողմից գրանցվեց ՏեՎ էներգիաներ գամմա-քվանտների հոսք Խեցգետնակերպ Միգամածությունից [1]: Հետագայում այդ արդյունքը հաստատվեց նաև այլ գիտափորձերում, ինչպիսիք են, օրինակ՝ HEGRA, CELESTE, CANGAROO, H.E.S.S. MAGIC, VERITAS (տե՛ս Նկար 1 [2]):

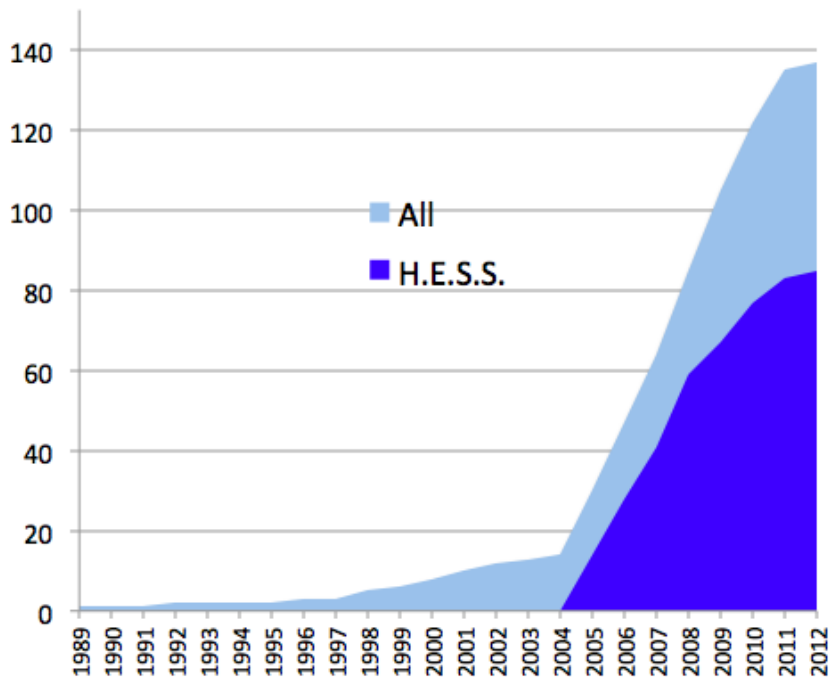
Գերբարձր էներգիաների գամմա աստղաֆիզիկայում սկզբունքային նշանակություն ունեցավ ՊՄՉԴ-ների համակարգի օգտագործումը, ինչը հնարավորություն տվեց մթնոլորտային հեղեղը գրանցել միաժամանակ մի քանի ՊՄՉԴ-ների օգնությամբ («ստերեոսկոպիա») և համադրել տարբեր դիտակներով ստացված տվյալները. արդյունքում մեծանում է հեղեղի պարամետրերի վերականգնման ճշտությունը, արդունավետորեն «ճնշվում» են հաղորդային հեղեղները և տարբեր բնույթի ֆոնային լույսը (գիշերային երկնքի ֆոնը, լույս մյուռնոր և այլն) և որակապես բարձրանում է գամմա-հոսքերի գրանցման արդյունավետությունը: Գրանցման այդ մեթոդի առաջնեկը 1998-2002թթ. իրականացված HEGRA (High Energy Gamma Ray Astronomy) գիտափորձն էր, որի անդամ էր նաև Երևանի



Նկար 1. Խեցգետնակերպ Միգամածության սպեկտրը [2]:

Ֆիզիկայի ինստիտուտը: HEGRA գիտափորձի արդյունքում գրանցվել են գամմա-քվանտների հոսքեր տարբեր դասերի պատկանող աստղաֆիզիկական աղբյուրներից և տրվել են փորձարարական տվյալների տեսական մեկնաբանություններ: Սակայն, HEGRA գիտափորձի կարևորագույն արդյունքներից էր նաև այն, որ փորձարարական եղանակով ապացուցվեց մթնոլորտային հեղեղների գրանցման միաժամանակյա եղանակի բարձր արդյունավետությունը, և գրանցման հենց այդ եղանակը հիմք հանդիսացավ գերբարձր էներգիաների գամմա աստղաֆիզիկայի նոր գիտափորձերի նախագծերի մշակման և իրականացման համար: Արդյունքում՝ ներկայումս գործող բոլոր գիտափորձերի (H.E.S.S., MAGIC, VERITAS, CTA) նախագծման ու շահագործման համար կիրառվում է մթնոլորտային հեղեղների միաժամանակյա գրանցման եղանակը:

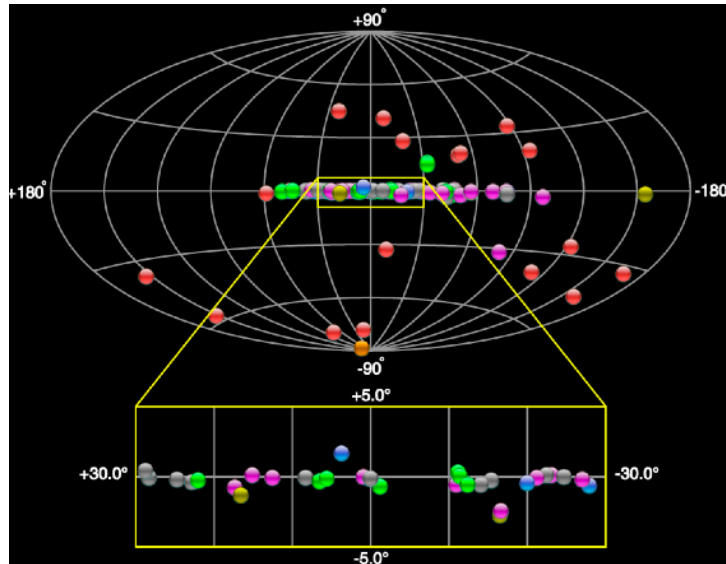
ՊՄՉԴ-ների բարձր արդյունավետության մասին է վկայում այն, որ արդեն իսկ գրանցվել են տարբեր դասերի պատկանող ավելի քան 140 աստղաֆիզիկական աղբյուրներից եկող γ -քվանտների հոսքեր, վերականգնվել են դրանց սկզբնական դիֆերենցիալ էներգետիկ սպեկտրները, ինչի հիման վրա էլ հետազոտվել են աղբյուրներում γ -քվանտների առաջացման մեխանիզմները: Աղբյուրների քանակը զգալիորեն աճել է սկսած 2004թ. (տե՛ս Նկար 2 [3]), երբ սկսվեցին շահագործվել գրանցման ցածր էներգետիկ շեմով ու բարձր զգայունությամբ դիտակներ՝ H.E.S.S., MAGIC և VERITAS: Օրինակ, H.E.S.S. համակարգը ունի γ -քվանտների գրանցման 70-100 ԳէՎ էներգետիկ շեմ և հնարավորություն է տալիս մոտ 1 ժամյա դիտումների արդյունքում 5 σ հուսալիությամբ գրանցել γ -քվանտներ



Նկար 2. Գերբարձր էներգիաների գամմա ճառագայթների աղբյուրների քանակը ըստ տարիների (ըստ TeVCat կայքի)[3]: Նկարում ընդգրկված չեն 2012թ. վերջին հայտարարված գամմա-աղբյուրները:

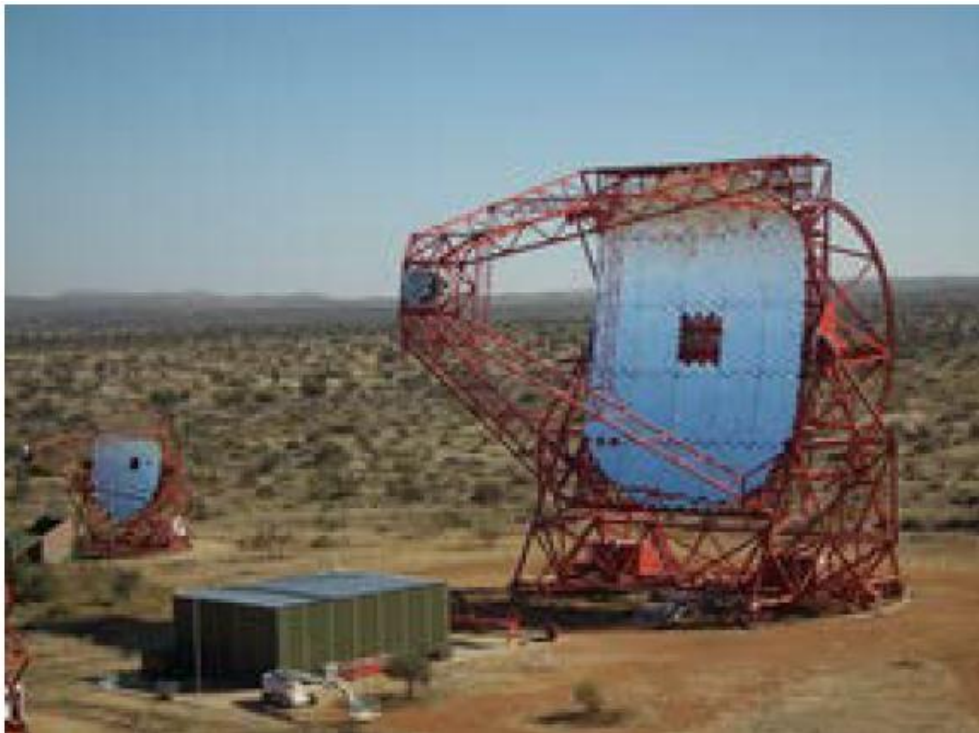
Crab Nebula-ի տիպի աղբյուրների ($F_{Crab}(>1\text{TeV})=2.17 \cdot 10^{-11} \text{ սմ}^{-2} \text{ վրկ}^{-1}$) 5%-ի հոսքերի դեպքում (համեմատության համար նշենք, որ այդ նույն հոսքը նախորդ սերնդի, օրինակ՝ HEGRA դիտակների համակարգի օգնությամբ գրանցվելու էր մոտ 100 ժամվա ընթացքում): Սկսած 2009թ. գործում է MAGIC II դիտակը, իսկ 2012թ.՝ H.E.S.S. II-ը, որոնք ունեն մոտ 2-3 անգամ ավելի բարձր զգայունություն ու գրանցման մոտ 20-30 ԳէՎ շեմ, ինչը հնարավորություն կտա ուղղակիորեն համեմատել ՊՄՉԴ-ների կողմից գրանցվող փորձարարական տվյալները արբանյակային կայանների օգնությամբ ստացվածների հետ:

Մինչ այժմ գրանցված գերբարձր էներգիաների գամմա աղբյուրներից մոտ 80 աղբյուրներ գրանցվել են H.E.S.S. համագործակցության կողմից (տե՛ս Նկար 2 և 3 [3]): H.E.S.S. դիտակայանը տեղակայված է Նամիբիայում՝ ծովի մակարդակից 1800մ բարձրություն վրա և սկսել է գործել 2003թ. դեկտեմբերի 10-ից: Ներկայումս H.E.S.S. դիտակայանը բաղկացած է 5 դիտակներից, որոնցից չորսը ունեն միատեսակ բնութագրիչներ, իսկ հինգերորդի տրամագիծը երկուսից ավել անգամ մեծ է մյուսներից: H.E.S.S.-ի չորս դիտակներից յուրաքանչյուրը ունի հետևյալ բնութագրիչները. անդրադարձչի ընդհանուր մակերեսը՝ 107մ^2 , ֆոկալ հեռավորությունը՝ 15մ, տրամագիծը՝ 13մ, հայելիների տրամագիծը՝ 0.6մ, օպտիկական խցիկը՝ 0.16° անկյունային չափեր ունեցող 960 ֆոտոբազմապատկիչ, լրիվ տեսադաշտը՝ 5° : Այդ չորս դիտակի համակարգի համար գամմա քվանտների գրանցման



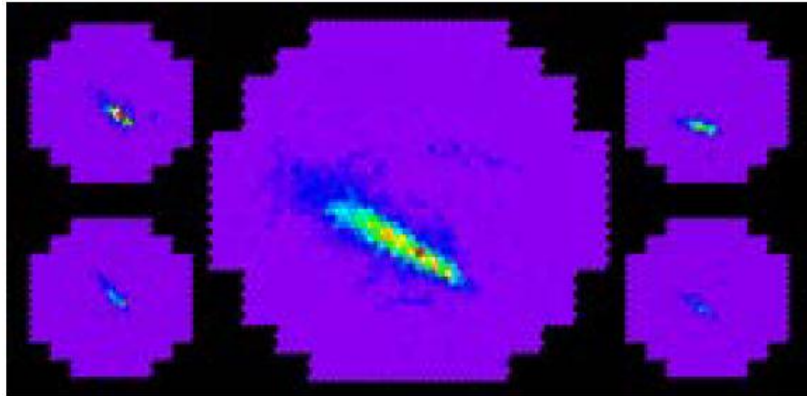
Նկար 3. H.E.S.S.-ի կողմից գրանցված աղբյուրների քանակը 2012թ. օգոստոսի դրությամբ ըստ TeVCat կայքի[3]: Նկարում ընդգրկված չեն 2012թ. վերջին հայտարարված գամմա-աղբյուրները:

Էներգետիկ շերտը կազմում է 70-100ԳԷՎ, «աշխատանքային տիրույթը»՝ 100ԳԷՎ-100ՏԷՎ: H.E.S.S.-ի չորս դիտակների համակարգը ունի շատ բարձր էներգետիկ լուծունակություն՝ 15-20% և հնարավորություն է տալիս ապահովել «arrival» ուղղության վերականգնումը 0.1° ճշտությամբ [4]: H.E.S.S. համակարգը 2012թ. համալրվել է 28 մ տրամագծով H.E.S.S. II դիտակով (առաջին չերենկոլյան լույսը գրանցվել է 2012թ. հուլիսի 26-ին), որը ներկայումս աշխարհում ամենամեծ չերենկոլյան դիտակն է (տե՛ս Նկար 4 [3]):



Նկար 4. H.E.S.S. II դիտակը:

H.E.S.S.-II-ի բնութագրիչները հետևյալներն են. անդրադարձի ընդհանուր մակերեսը՝ 614մ², ֆոկալ հեռավորությունը՝ 36մ, չափերը՝ 32.6մx24.3մ (ինչը համարժեք է 28մ տրամագծով կլոր արդրադարձի), հայելիները՝ 875 վեցանկյուն՝0.9մ (flat-to-flat), օպտիկական խցիկը՝ 0.07° անկյունային չափեր ունեցող 2048 ֆոտոբազմապատկիչ, լրիվ տեսադաշտը՝ 3.2°: Սկզբնական մասնիկի մթնոլորտային հեղեղի չերենկոլյան պատկերը H.E.S.S.-II դիտակով (կենտրոն) և H.E.S.S.-I դիտակներով (անկյուններ) ներկայացված է Նկար 5-ում [3]:

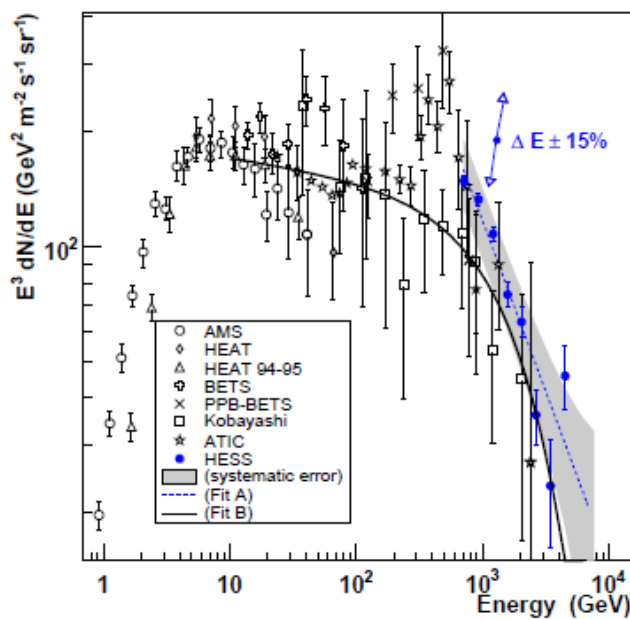


Նկար 5. Սկզբնական մասնիկի մթնոլորտային հեղեղի չերենկոլյան պատկերը H.E.S.S.-II դիտակով (կենտրոն) և H.E.S.S.-I 4 դիտակներով (անկյուններ):

H.E.S.S.-ի օգնությամբ գամմա ճառագայթների հոսքեր են գրանցվել տարբեր դասերի պատկանող աստղաֆիզիկական աղբյուրներից, վերականգնվել են դրանց սպեկտրները և տրվել են փորձարարական տվյալների տեսական մեկնաբանություններ: Մասնավորապես, աշխարհում առաջին անգամ իրականացվել է աստղաֆիզիկական աղբյուրի ձևաբանական հետազոտություն ՏեՎ էներգիաների տիրույթում (SNR RX J1713.7-3946 [5,6]), հայտնաբերվել է 100 ԳեՎ-ից գերբարձր էներգիաների γ -ճառագայթների հոսք LS 5039 միկրոքվազարից [7], հայտնաբերվել են ՏեՎ էներգիաների γ -ճառագայթման նոր աղբյուրներ՝ HESS J1303-631, HESS J1718-385, HESS J1809-193 և այլն (տե՛ս, օրինակ՝ [8]), ինչպես նաև 8 աղբյուրներ Ծիր Կաթինում, որոնցից առնվազն երկուսը հայտնի չեն ռադիո կամ X-ճառագայթների դիապազոնում [9], վերականգնվել է տիեզերական ճառագայթների մաս կազմող էլեկտրոնների սպեկտրը 600 ԳեՎ-ից բարձր տիրույթում [10], գրանցվել է γ -հոսք «Starburst Galaxy»-ից [11], հետազոտվել է M87 ռադիոգալակտիկան [12], գրանցվել է գամմա ճառագայթների հոսք SN 1006 գերնորի մնացորդից [13], «Galactic globular cluster Terzan 5»-ից [14], «BL Lac object 1ES 0414+009» [15]-ից և այլն (տե՛ս, օրինակ՝ 16-20):

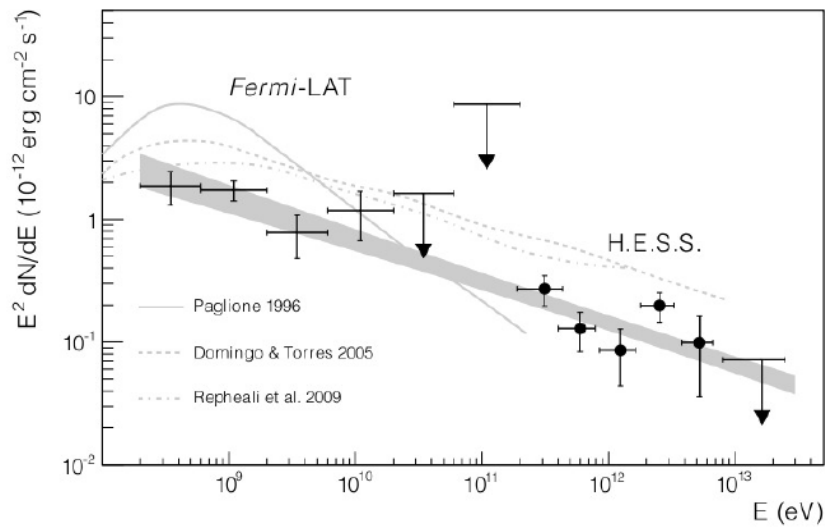
Որպես H.E.S.S.-ի կողմից գրանցված տվյալների օրինակ ներկայացնենք երկուսը.

1. Տիեզերական ճառագայթների մաս կազմող էլեկտրոնների սպեկտրը ՏեՎ էներգիաների տիրույթում [10]: H.E.S.S. համակարգի օգնությամբ աշխարհում առաջին անգամ վերականգնվել է տիեզերական մասնիկների մաս կազմող էլեկտրոնների սպեկտրը՝ օգտագործելով ՊՄՉԴ-ների համակարգի կողմից գրանցված տվյալները: Վերլուծության համար հիմք են հանդիսացել 4 դիտակների կողմից 2004-2007թթ. ընթացքում գրանցված տվյալները: Էլեկտրոնների սպեկտրը վերականգնվել է 600 ԳեՎ-ից բարձր տիրույթի համար (տե՛ս Նկար 6 [10]): Տվյալները նկարագրվում են աստիճանային կախվածությամբ՝ $dN/dE = \kappa(E/1\text{TeV})^{-\Gamma}$, որտեղ $\kappa = (1.17 \pm 0.02) \times 10^{-4} \text{ ՏեՎ}^{-1} \text{մ}^{-2} \text{ս}^{-1} \text{վրկ}^{-1}$ և $\Gamma = 3.9 \pm 0.1_{\text{ստատ}} \pm 0.03_{\text{սիստ}}$:



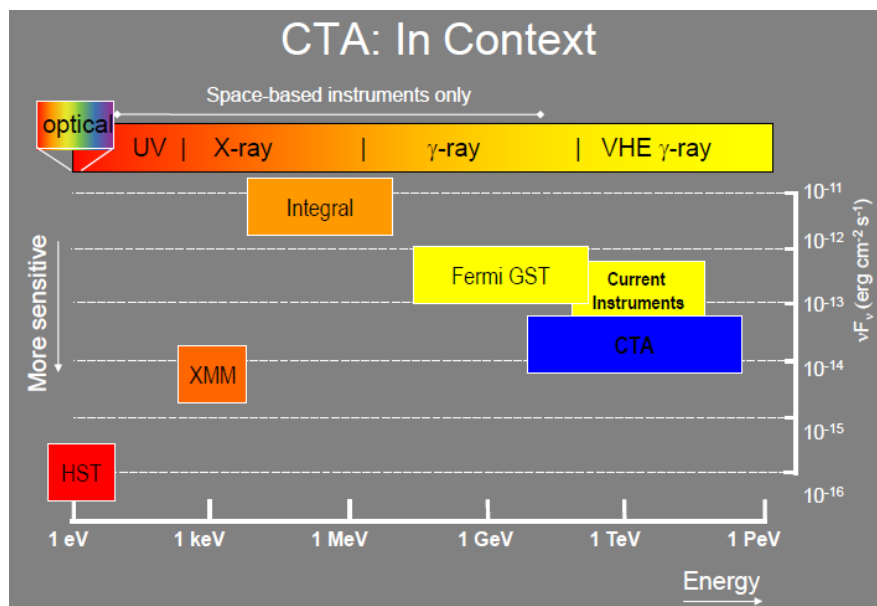
Նկար 6. H.E.S.S.-ի գրանցած տիեզերական ճառագայթների մաս կազմող էլեկտրոնների էներգետիկ սպեկտրը ($E^3 dN/dE$) և համեմատությունը նախորդ չափումների հետ:

2. «Straburst Galaxy NGC 253»-ից գրանցված տվյալները և դրանց համեմատությունը Fermi-LAT-ի տվյալների հետ [21]: NGC 253-ի գերբարձր էներգիաների ($E \geq 100$ ԳեՎ) գամմա տվյալներ դիֆերենցիալ էներգետիկ սպեկտրը կարելի է նկարագրել աստիճանային կախվածությամբ՝ $\Gamma = 2.14 \pm 0.18_{\text{ստատ}} \pm 0.30_{\text{սիստ}}$ ֆոտոնային ինդեքսով և 1 ՏեՎ-ի դեպքում դիֆերենցիալ հոսքի նորմավորման $F_0 = (9.6 \pm 1.5_{\text{ստատ}} + 5.7 - 2.9)_{\text{սիստ}} \times 10^{-14} \text{ ՏեՎ}^{-1} \text{մ}^{-2} \text{վրկ}^{-1}$ գործակցով: Բարձր էներգիաների ($100 \text{ ՄեՎ} \leq E \leq 100 \text{ ԳեՎ}$) դեպքում դիֆերենցիալ ֆոտոնային ինդեքսը կազմում է $\Gamma = 2.24 \pm 0.14_{\text{ստատ}} \pm 0.03_{\text{սիստ}}$, իսկ ինտեգրալ հոսքը 200 ՄեՎ-ից 200 ԳեՎ միջակայքում՝ $F(0.2-200 \text{ ԳեՎ}) = (4.9 \pm 1.0_{\text{ստատ}} \pm 0.3_{\text{սիստ}}) \times 10^{-9} \text{մ}^{-2} \text{վրկ}^{-1}$: NGC 253-ի դիֆերենցիալ էներգետիկ սպեկտրը ներկայացված է Նկար 7-ում:



Նկար 7. Straburst Galaxy NGC 253-ի դիֆերենցիալ էներգետիկ սպեկտրը՝ վերականգնված H.E.S.S.-ի և Fermi-LAT-ի տվյալների հիման վրա:

Գերբարձր էներգիաների գամմա աստղաֆիզիկայի բնագավառի գիտասարքերի հետագա զարգացումը ներկայումս գործող համագործակցությունների (H.E.S.S., MAGIC, VERITAS) ջանքերի զուգակցման հիման վրա տարբեր չափերի պատկերային մթնոլորտային դիտակների երկու համակարգերի ստեղծումն է (CTA նախագիծ [23])՝ նպատակ ունենալով մեծացնել գամմա-քվանտների գրանցման էներգետիկ տիրույթը (մի քանի տասնյակ ԳէՎ-ից մինչև >100 ՏէՎ), գործող գիտասարքերի համեմատ մոտ մի կարգ բարձրացնել զգայունությունը՝ հասցնելով մինչև Crab Nebula-ի հոսքի 1000-րդ մասը (տե՛ս Նկար 8) և ընդգրկել ողջ երկնակամարը:



Նկար 8. CTA-ի զգայունությունը և համեմատությունն այլ գիտասարքերի հետ:

Նախատեսվում է ստեղծել երկու դիտակայան՝ մեկը Հյուսիսային կիսագնդում, մյուսը՝ Հարավային: Նախագծի «Design Report»-ի պատրաստման աշխատանքներն ավարտվել են [22], 2013թ. ընտրվելու են դիտակայանների տեղակայման վայրերը, իսկ կառուցման աշխատանքները սկսվելու են 2014թ.: Նախագծով նախատեսվում է ստեղծել 3 տարբեր դասերի դիտակներ. փոքր չափերի դիտակներ (**SST**: Small size telescopes)՝ 4-6մ տրամագծով և մոտ 10° տեսադաշտով, միջին չափերի դիտակներ (**MST**: Medium size telescopes)՝ 10-12մ տրամագծով և $6-8^{\circ}$ տեսադաշտով ու մեծ չափերի դիտակներ (**LST**: Large size telescopes)՝ 20-30մ տրամագծով և օրինակ՝ 24 մ տրամագծի դեպքում մոտ $4-5^{\circ}$ տեսադաշտով: Փոքր չափերի դիտակների արդրադարձիչը լինելու է Դևիս-Կոտոնի տիպի, իսկ մեծ չափերի դիտակներինը՝ պարաբոլիկ հենք: Այդպիսի մոտեցումը հնարավորություն է տալիս բավարարել պատկերային չերենկոլյան դիտակների օպտիկական հատկություններին առաջադրվող պահանջները, այն է՝ չերենկոլյան լույսի անհրաժեշտ ֆոկուսացում և դիտակի անդրադարձիչի տարբեր մասերից անդրադարձած ֆոտոնների ժամանակային բաշխման ոչ մեծ արժեք:

Թեմայի գիտական նպատակն ինչպես վերոնշյալ համագործակցությունների աշխատանքների մասնակցությունն է, այնպես էլ 50-100 ԳէՎ-ից ցածր էներգետիկ տիրույթում գամմա ազդանշանի առանձնացման արդյունավետության բարձրացման ու ֆիզիկական տվյալներից γ -դեպքերի առանձնացման նոր մաթեմատիկական եղանակների հետազոտությունն է (տե՛ս ստորև): Խնդիրը կարևորվում է նրանով, որ նախ նշված էներգետիկ տիրույթում γ - և ֆոնային մթնոլորտային հեղեղների չերենկոլյան պատկերները սկսում են ավելի շատ իրար նմանվել ու փորձարարական տվյալների մշակման գոյություն ունեցող մեթոդները դառնում են ոչ արդյունավետ: Եվ երկրորդը՝ մոտ 20-30 ԳէՎ-ից ցածր էներգետիկ տիրույթում, բացի տիեզերական ճառագայթների մաս կազմող պրոտոնների ֆոնից, սկսում է զգալի դառնալ նաև տիեզերական ճառագայթների մաս կազմող էլեկտրոններից առաջացած հեղեղների ներդրումը [23], հետևաբար օգտակար ազդանշանի առանձնացման ժամանակ անհրաժեշտ է հաշվի առնել նաև նոր ֆոնային բաղադրիչը: Բացի դրանցից, իրականացվելու են նաև հետազոտություններ 100 ԳէՎ-ից ցածր տիրույթում սկզբնական մասնիկի էներգիայի վերականգնման ալգորիթի մշակման ուղղությամբ:

Տվյալ ուղղությամբ խմբի ունեցած ձեռքբերումները և ակնկալվող արդյունքները:

Գիտահետազոտական խումբը գերբարձր էներգիայի գամմա աստղաֆիզիկայի բնագավառում հետազոտություններ իրականացնում է սկսած 1985թ.: Մասնավորապես, սկսած 1991թ-ից մասնակցել ենք HEGRA (գիտափորձն իրականացվել է 1998-2002թթ ընթացքում) համագործակցության չերենկոլյան դիտակների համակարգի ստեղծման, շահագործման (դիտումներ) և փորձարարական արդյունքների մշակման աշխատանքներին: HEGRA-ի կողմից հետազոտվել են մի շարք աստղաֆիզիկական աղբյուրներ, օրինակ՝ Crab Nebula, Mrk 421, Mrk 501, BL Lac 1ES1959+650, H1426+428, Tycho's, Giant Radio Galaxy M 87 և այլն: Մեր խմբի կողմից առաջարկվել է չերենկոլյան պատկերների վերլուծության նոր մեթոդ, որը կիրառվել է Crab-Nebula-ից գրանցված տվյալների մշակման ժամանակ:

Սկսած 1998թ. մասնակցել ենք H.E.S.S. համագործակցության դիտակների համակարգի ստեղծման, իսկ հետագայում նաև գիտական ծրագրի իրականացման աշխատանքներին: H.E.S.S. դիտակների կառուցման ժամանակ Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտի խմբի կողմից մշակված տեխնոլոգիայի հիման վրա ՀՀ ԳԱԱ «Գալակտիկա» ՓԲԸ պատրաստել է համագործակցության կողմից պատվիրված 400 չերենկոլյան հայելի: H.E.S.S. II-ի կառուցման ժամանակ մեր հանրապետության ներդրումը եղել է ՀՀ ԳԱԱ «Գալակտիկա» ՓԲԸ կողմից պատրաստված ու H.E.S.S. համագործակցությանը տրամադրած 200 հայելի:

H.E.S.S. համակարգը սկսել է աշխատել 2003թ. դեկտեմբերից և մինչև այժմ իրականացված դիտումների արդյունքում գրանցվել են γ -քվանտների հոսքեր տարբեր դասերի մի շարք աստղաֆիզիկական աղբյուրներից, օրինակ՝ հետազոտվել են մի քանի գերնոր աստղերի մնացորդների ձևաբանական պատկերները և դրանց շարքում RX J1713.7-3946-ինը ընդհանրապես աշխարհում առաջին անգամ գրանցվածն է ՏեՎ էներգիաների γ -տիրույթում, գալակտիկ հարթությունում հայտնագործվել են 14 նոր γ -աղբյուր, որոնց մի մասը հայտնի չէ ուրիշ տիրույթներում, այսինքն՝ դրանցում γ -քվանտները առաջանում են հաղրոնային փոխազդեցությունների հետևանքով, հետազոտվել են γ -քվանտներ LS 5039, Vela X nebula, BL Lac Object H2356-309, BL Lac object PKS 0548-322, PKS 2155-304, SN 1006, Centaurus A և այլ աղբյուրներից: Բացի դրանից, աշխարհում առաջին անգամ ՊՄՉԴ-ների օգնությամբ գրանցվել է տիեզերական ճառագայթների սպեկտրը և տվյալների հիման վրա վերականգնվել է տիեզերական ճառագայթներում առկա երկաթի ատոմի միջուկների «cosmic-ray iron nuclei» սպեկտրը 13-200 ՏեՎ տիրույթում, H.E.S.S.-ի տվյալներից

վերականգնվել է նաև տիեզերական ճառագայթների մաս կազմող էլեկտրոնների սպեկտրը 600ԳէՎ-ից բարձր տիրույթի համար և այլն:

2012թ. օգոստոսի դրությամբ H.E.S.S.-ի կողմից գրանցվել են գերբարձր էներգիաների գամմա ճառագայթների 80-ից ավելի աղբյուրներ, որոնցից 60-ից ավելին գալակտիկ աղբյուրներ են, իսկ 19-ը՝ արտագալակտիկ, հրապարակվել են 100-ից ավելի գիտական հոդվածներ, այդ թվում՝ բարձր ազդեցության գործակից ունեցող այնպիսի ամսագրերում, ինչպիսիք են «Nature»-ը և «Science»-ը: 2013թ. փետրվարի դրությամբ H.E.S.S. համագործակցության կողմից հրապարակված բարձր հղում ունեցող 10 հոդվածներ ունեն ընդհանուրը 2848 հղում ըստ «The SAO/NASA Astrophysics Data System» կայքի տվյալների: H.E.S.S.-ը բարձր էներգիաների գամմա աստղաֆիզիկայի միակ գիտասարքն է, որը 2009թ. ընդգրկվել է բարձր ազդեցություն ունեցող աստղադիտարանների («High-Impact Astronomical Observatories») համաշխարհային դասակարգման առաջին տասնյակի մեջ (տե՛ս, [24] և Աղյուսակ 1):

HIGH-IMPACT OBSERVATORIES

Rank	Facility	Citations	Participation
1	SDSS	1892	14.3%
2	Swift	1523	11.5%
3	HST	1078	8.2%
4	ESO	813	6.1%
5	Keck	572	4.3%
6	CFHT	521	3.9%
7	Spitzer	469	3.5%
8	Chandra	381	2.9%
9	Boomerang	376	2.8%
10	HESS	297	2.2%

Աղյուսակ 1. Բարձր ազդեցություն ունեցող աստղադիտարանների տասնյակը 2009թ. [24]:

ՊՄՉԴ-ների աշխատանքը մոդելավորելու, դիտակի արձագանքը և հիմնական պարամետրերը հաշվարկելու համար մեր կողմից մշակվել է մի ծրագիր, որը հնարավորություն է տալիս մոդելավորել չերենկոյան դիտակի «արձագանքը»՝ հաշվի առնելով դիտակի հայելիների օպտիկական հատկությունները և իրական դասավորվածությունը [25]: Ծրագիրը ներառվել է մթնոլորտային հեղեղների զարգացումը նկարագրող MOCCA փաթեթի մեջ, որի արդյունքում ողջ պրոցեսը՝ և՛ մթնոլորտային հեղեղի զարգացումը, և՛ նրան ուղեկցող չերենկոյան ֆոտոնների դիտակով գրանցման առանձնահատկությունները, ընդգրկվել են մի միասնական փաթեթի մեջ [26,27]:

Ընդլայնված փաթեթի ճշգրտությունը հաստատվել է փորձարարական տվյալների մշակման և այլ մեթոդների հետ համեմատության հիման վրա: Հետագոտվել են փորձարարական տվյալներից γ -դեպքերի առանձնացման նոր մաթեմատիկական եղանակներ [28, 29], 100 ԳեՎ-ից ցածր էներգիա ունեցող էլեկտրամագնիսական մթնոլորտային հեղեղների չերենկոմյան ճառագայթման առանձնահատկությունները [23, 30]:

Ցույց է տրվել, որ գամմա-քվանտներից և էլեկտրոններից առաջացած մթնոլորտային հեղեղների միջև տարբերություն կա: Մասնավորապես, էլեկտրոններից առաջացած մթնոլորտային հեղեղները սկսում են զարգանալ ավելի շուտ (ավելի մեծ բարձրությունների վրա), քան գամմա քվանտներից առաջացածները, և, հետևաբար, ճառագած չերենկոմյան լուսը հասցնում է ավելի շատ ցրվել մթնոլորտում. արդյունքում՝ էլենտրոնից և γ -քվանտից առաջացած հեղեղների չերենկոմյան ճառագայթումները տարբերվում են և՛ բաշխվածությամբ և՛ ժամանակային բնութագրիչներով:

Գիտական թեմայի իրականացման ընթացքում նախատեսվում է.

- շարունակել մասնակցությունը H.E.S.S. համագործակցության աշխատանքներին՝ դիտումներին, փորձարարական տվյալների մշակմանը և մեկնաբանմանը,

- հետագոտել տիեզերական ճառագայթների մաս կազմող էլեկտրոններից առաջացած մթնոլորտային հեղեղների չերենկոմյան պատկերների առանձնահատկությունները H.E.S.S. II դիտակի դեպքում,

- մշակել H.E.S.S. II դիտակի և CTA LST դիտակների համար սկզբնական մասնիկի էներգիայի վերականգնման ալգորիթմ՝ հաշվի առնելով, որ նշված դիտակների հիմնական «աշխատանքային» տիրույթում ($E < 50-100$ ԳեՎ) գամմա և հաղրոնային հեղեղների չերենկոմյան պատկերները սկսում են իրար շատ նմանվել և զգալի է դառնում նոր ֆոնային բաղադրիչի՝ տիեզերական ճառագայթների մաս կազմող էլեկտրոնների ներդրումը,

- թվային մոդելավորման միջոցով հաշվարկել CTA տարբեր տիպի դիտակների (SST, MST, LST) հիմնական պարամետրերը (հավաքման մակերես, գրանման հաճախություն և այլն)՝ հաշվի առնելով դիտակների տարբեր «կոնստրուկցիաներ»,

- հետագոտել CTA տարբեր տիպի դիտակների համար γ - և հաղրոնային հեղեղների չերենկոմյան իմպուլսների ժամանակային բնութագրիչների տարբերությունների օգտագործման հնարավորությունը,

- շարունակել հետագոտություններ մթնոլորտային հեղեղների չերենկոմյան պատկերների պարամետրերի առանձնահատկությունների, նոր պարամետրերի

օգտագործման, ցածր էներգետիկ տիրույթում (մի քանի տասնյակ ԳէՎ-ից ցածր) չերենկոլյան պատկերների «մաքրման» (image cleaning) նոր եղանակների և զամնա ազդանշանի առանձնացման արդյունավետության բարձրացման ուղղությամբ:

Օգտագործված գրականությունը

1. Weekes, T. C., et al. 1989, ApJ(1989), 342, 379
2. F.A. Aharonian, private communication
3. <http://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/>
4. J. Hinton New Astron. Rev. 48 (2004) 331-337
5. F. Aharonian, A. Akhperjanian, ..., V. Sahakian,... et al. (The HESS Collaboration) Nature 432 (2004) 75-77
6. F. Aharonian, A. Akhperjanian, ..., V. Sahakian,... et al. (The HESS Collaboration) Astron. Astrophys. 464 (2007) 235-243
7. F. Aharonian, A. Akhperjanian, ..., V. Sahakian,... et al. (The HESS Collaboration) Astron. Astrophys. 460 (2006) 743-749
8. F. Aharonian, A. Akhperjanian, ..., V. Sahakian,... et al. (The HESS Collaboration) Astron. Astrophys. 439 (2005) 1013-1021
9. F. Aharonian, A. Akhperjanian, ..., V. Sahakian,... et al. (The HESS Collaboration) Science 307 (2005) 1938-1942
10. F. Aharonian, A. Akhperjanian, ..., V. Sahakian,... et al. (The HESS Collaboration) Phys. Rev. Lett. 101 (2008) 261104
11. F. Acero, F. Aharonian, A. Akhperjanian..., V. Sahakian,... et al. (The HESS Collaboration) Science 326 (2009) 1080-1082
12. VERITAS Collab., VLBA 43 GHz M87 Monitoring Team, H.E.S.S. Collab., MAGIC Collab. Science 24 (2009) 444-448
13. F. Acero, F. Aharonian, A.G. Akhperjanian..., V. Sahakian,... et al. (The HESS Collaboration) Astron. Astrophys. 516 (2010) A62
14. A. Abramowski, F. Acero, F. Aharonian, A.G. Akhperjanian..., V. Sahakian,... et al. (The HESS Collaboration) Astron. Astrophys. 531 (2011) L18
15. A. Abramowski, F. Acero, F. Aharonian, A.G. Akhperjanian..., V. Sahakian,... et al. (The HESS Collaboration) Astron. Astrophys. 538 (2012) A103

16. F. Acero, F. Aharonian, A.G. Akhperjanian..., V. Sahakian,... et al. (The HESS Collaboration) *MNRAS* 402 (2010) 1877-1882
17. F. Aharonian, A.G. Akhperjanian..., V. Sahakian,... et al. (The HESS Collaboration) *Astron. Astrophys.* 521 (2010) A69
18. A. Abramowski, F. Acero, F. Aharonian, A.G. Akhperjanian..., V. Sahakian,... et al. (The HESS Collaboration) *Astron. Astrophys.* 533 (2011) A103
19. A. Abramowski, F. Acero, F. Aharonian, A.G. Akhperjanian..., V. Sahakian,... et al. (The HESS Collaboration) *Astron. Astrophys.* 542 (2012) A94
20. A. Abramowski, F. Acero, F. Aharonian, A.G. Akhperjanian..., V. Sahakian,... et al. (The HESS Collaboration) *Astron. Astrophys.* 545 (2012) L2
21. A. Abramowski, F. Acero, F. Aharonian, A.G. Akhperjanian..., V. Sahakian,... et al. (The HESS Collaboration) *Astrophysical Journal* 757 (2012) 158
22. M. Actis, G. Agnetta, F. Aharonian, A. Akhperjanian... G. Papyan,... L. Pogosyan,... V. Sahakian,... et al. (The CTA Consortium) *Experimental Astronomy* (2011) 32, 193–316
23. V. Sahakian, F. Aharonian, A. Akhperjanian *Astroparticle Physics* 25 (2006) 233-241
24. J. P. Madrid and F. D. Macchetto, Preprint, arXiv:0901.4552v1 (2009)
25. A. Akhperjanian, R. Kankanian, V. Sahakian, et al. *Experimental Astronomy* 8 (1998) 135-152
26. A. Akhperjanian, V.Sahakian *Astroparticle Physics* 12 (1999)157-168
27. A. Akhperjanian, V.Sahakian *Astroparticle Physics* 21 (2004) 149-161
28. A. Akhperjanian, A. Atoyán, J. Patera, V. Sahakian *NATO Science Series, Series III: Computer and System Sciences, Vol. 198* (2005) 404-416
29. A. Atoyán, J. Patera, V. Sahakian and A. Akhperjanian *Astroparticle Physics* 23 (2005) 79-95
30. V. Sahakian, A. Akhperjanian *Astroparticle Physics* 26 (2006) 257-268