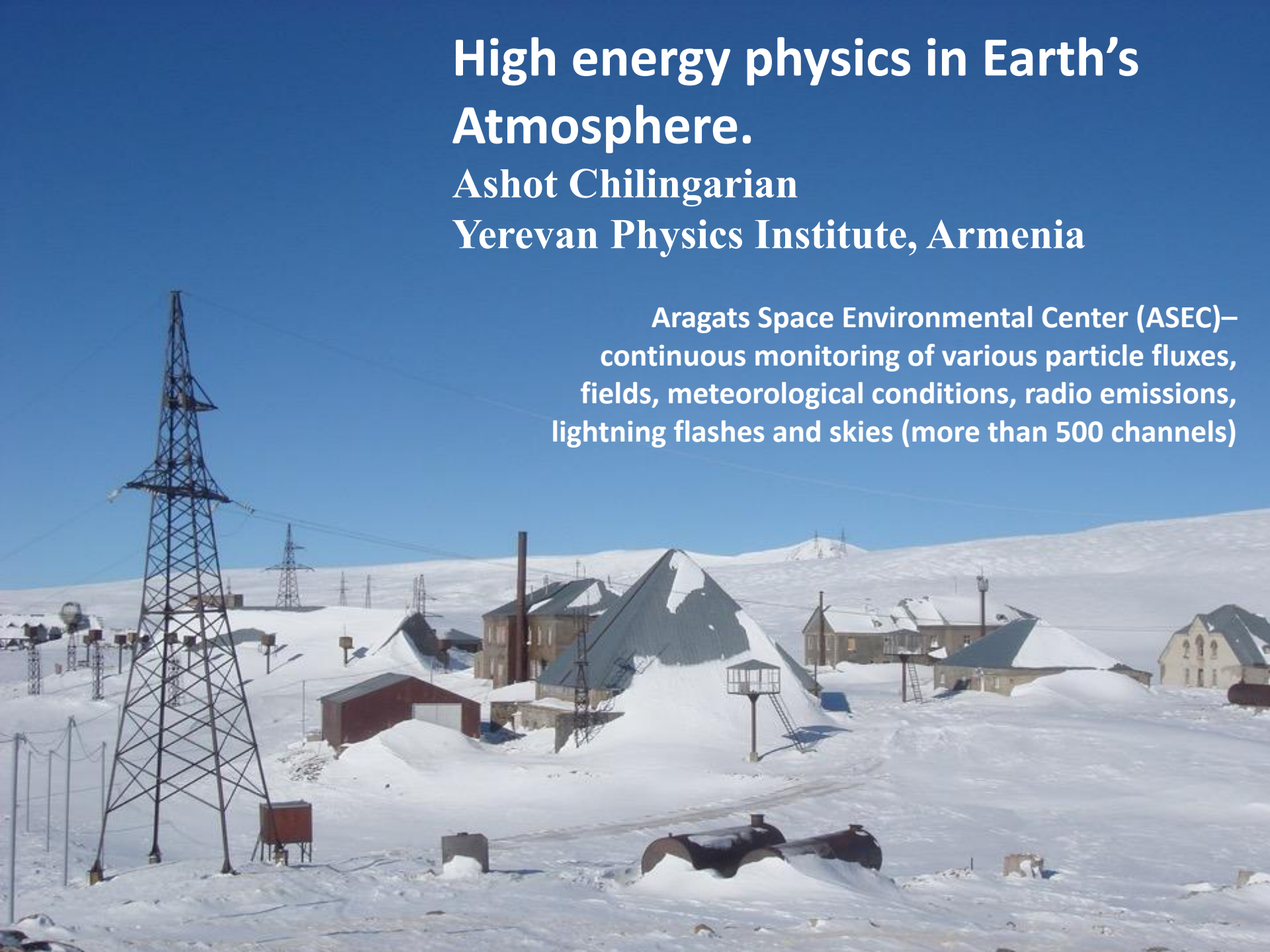
High energy physics in Earth's Atmosphere.

Ashot Chilingarian
Yerevan Physics Institute, Armenia

Aragats Space Environmental Center (ASEC)– continuous monitoring of various particle fluxes, fields, meteorological conditions, radio emissions, lightning flashes and skies (more than 500 channels)



MAKET experimental hall under snow, April.
Surrounded by scintillators of MAKET-ANI surface array, which for the first time measured energy spectra of light and heavy nuclei separately

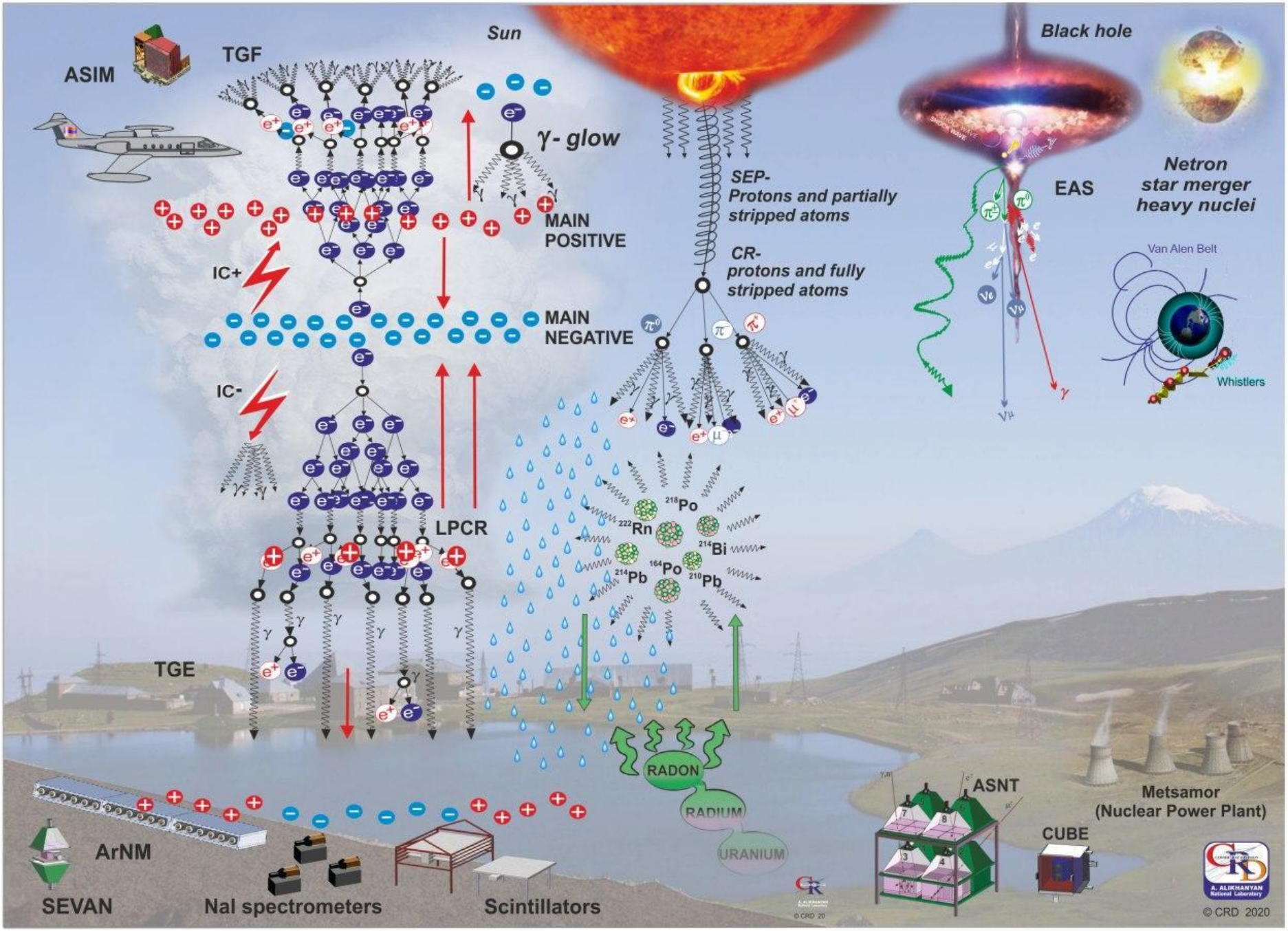
Физика высоких энергий в атмосфере Земли

За более чем столетнюю историю исследования космических лучей был создан инструментарий, используемый в астрофизике высоких энергий, в физике элементарных частиц, и сейчас – в геофизике.

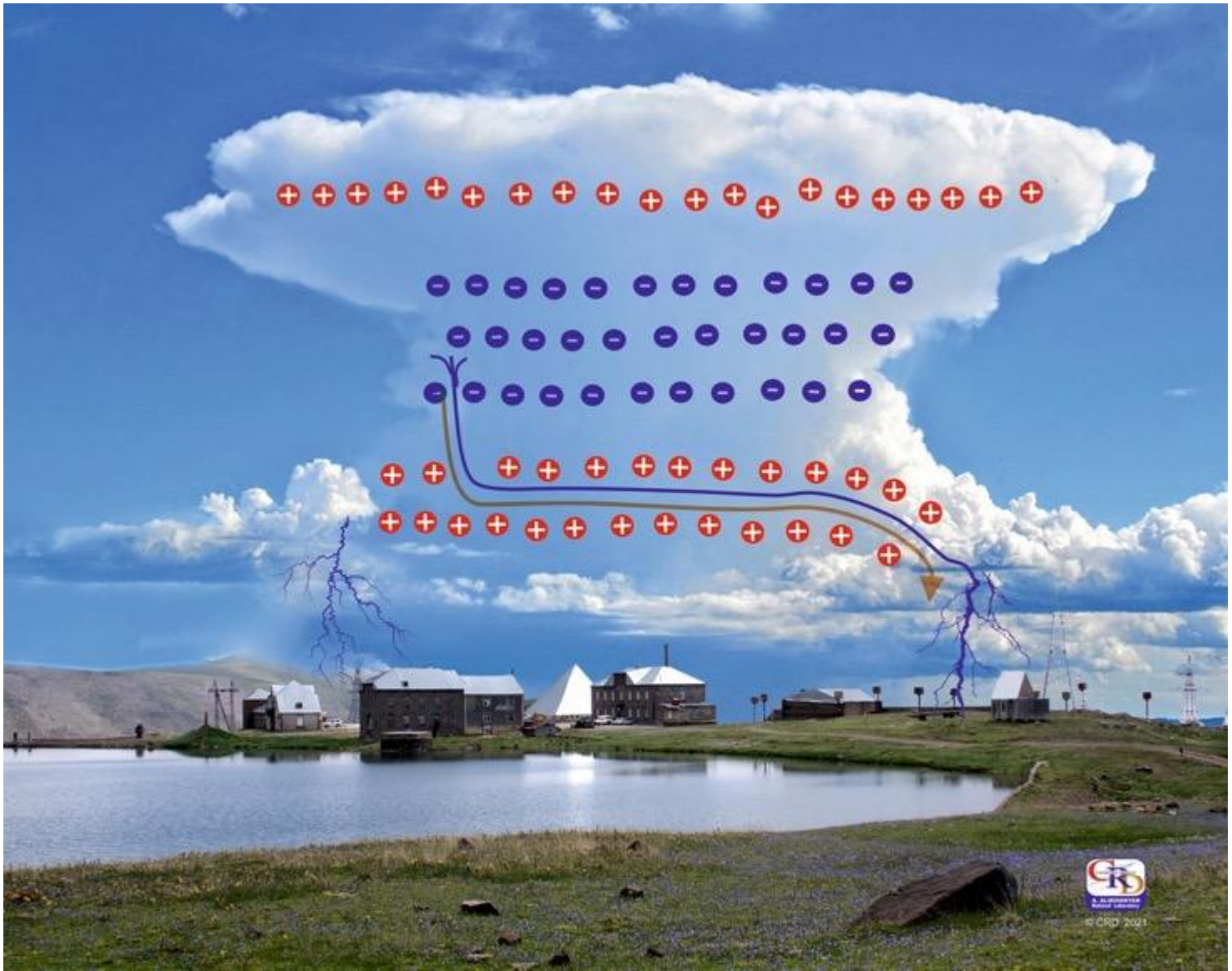
Не останавливаясь на блестящих достижениях в первых двух областях, позволивших создать самосогласованную картину возникновения Вселенной и материи, остановимся на третьей, сравнительно новой области.

Я имею ввиду прежде всего модуляционные эффекты, связанные с прохождением космических лучей через грозовую атмосферу и влияние электрических полей грозовых облаков на естественный фон гамма-радиации. Исследование взаимосвязи между потоками элементарных частиц, разрядами молний и возмущениями атмосферного электрического поля привело к открытию ряда физических явлений, имеющих как фундаментальный, так и прикладной характер.

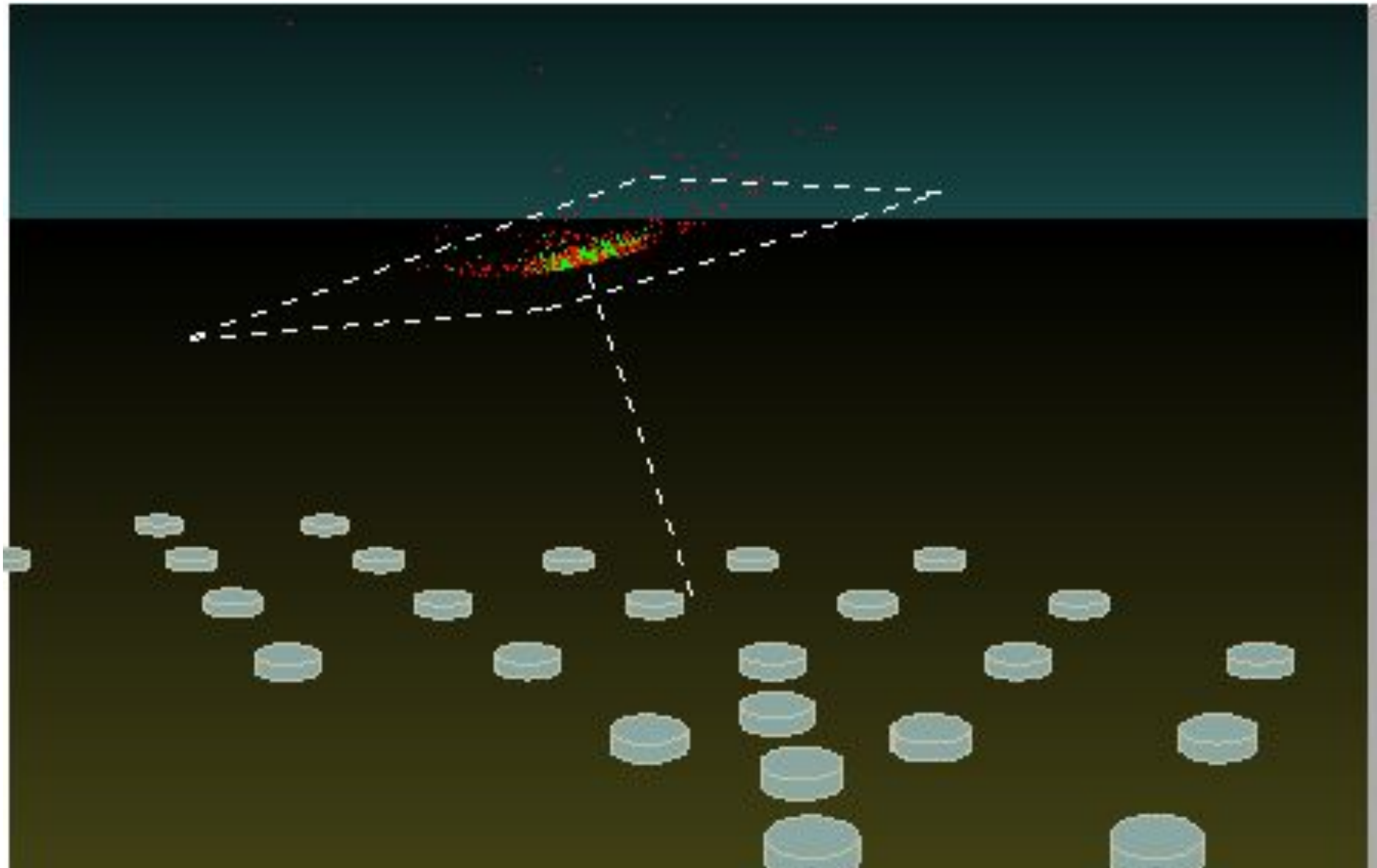
В докладе будет рассказано о прогрессе физики высоких энергий в атмосфере, достигнутом с помощью методов физики элементарных частиц и ядерной спектроскопии.


ASIM
TGF
Sun
Black hole
γ- glow
MAIN POSITIVE
IC+
MAIN NEGATIVE
IC-
LPCR
TGE
SEP-
Protons and partially stripped atoms
CR-
protons and fully stripped atoms
EAS
Netron star merger heavy nuclei
Van Alen Belt
Whistlers
218Po
222Rn
214Bi
214Pb
164Po
210Pb
RADON
RADIUM
URANIUM
ASNT
CUBE
Metsamor (Nuclear Power Plant)
ArNM
SEVAN
NaI spectrometers
Scintillators
© CRD 2020

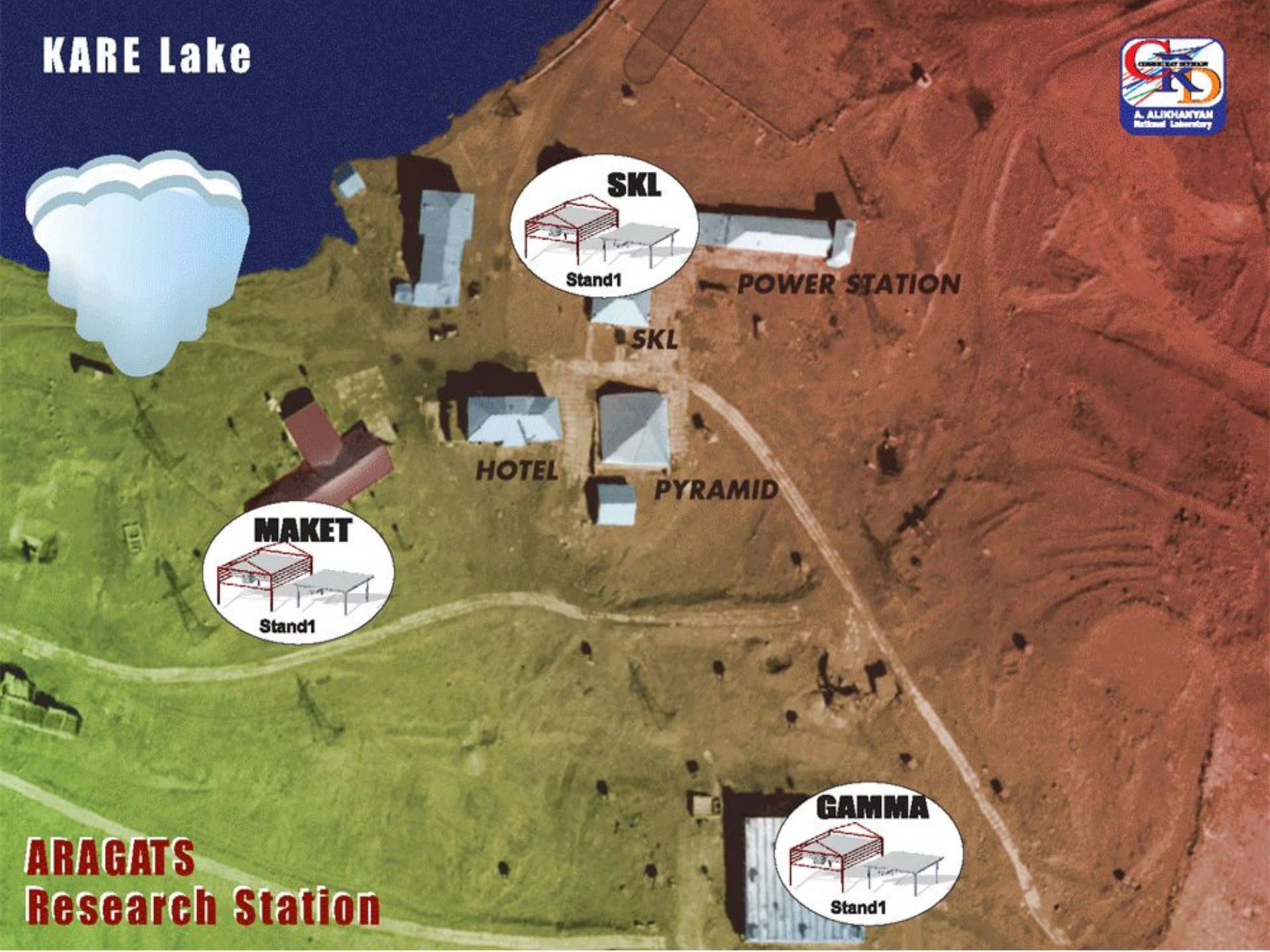
Tripole model



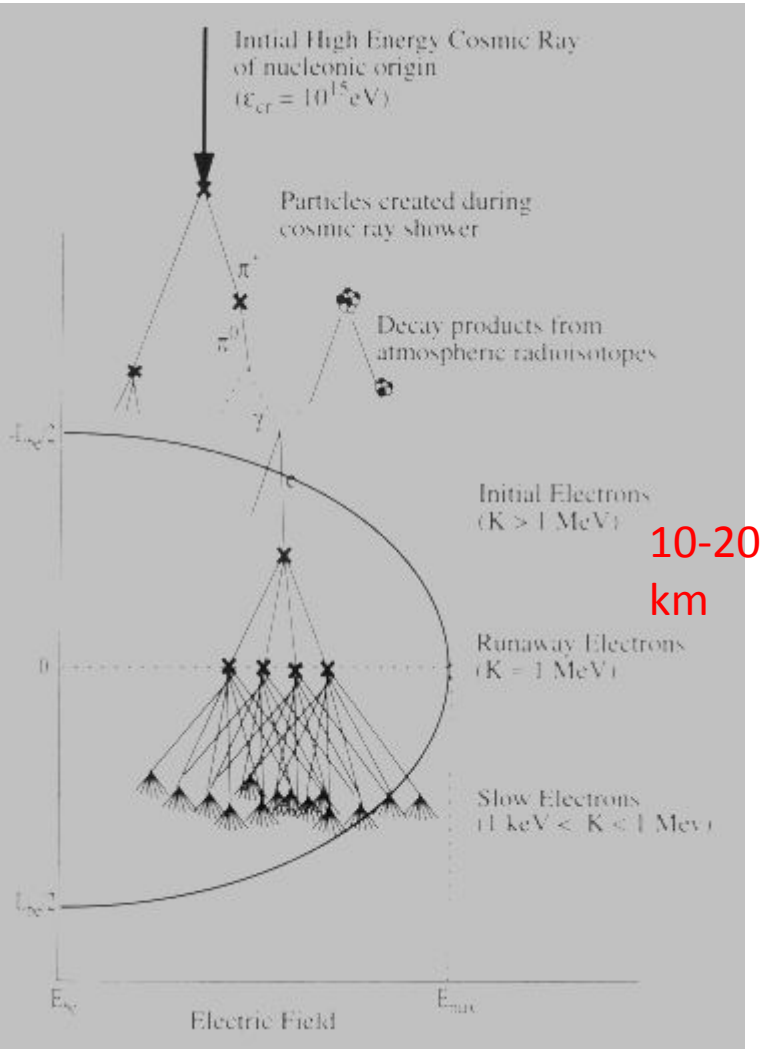
Particle bursts: EAS cores (energies > 10^{16} eV) occasionally hitting surface arrays



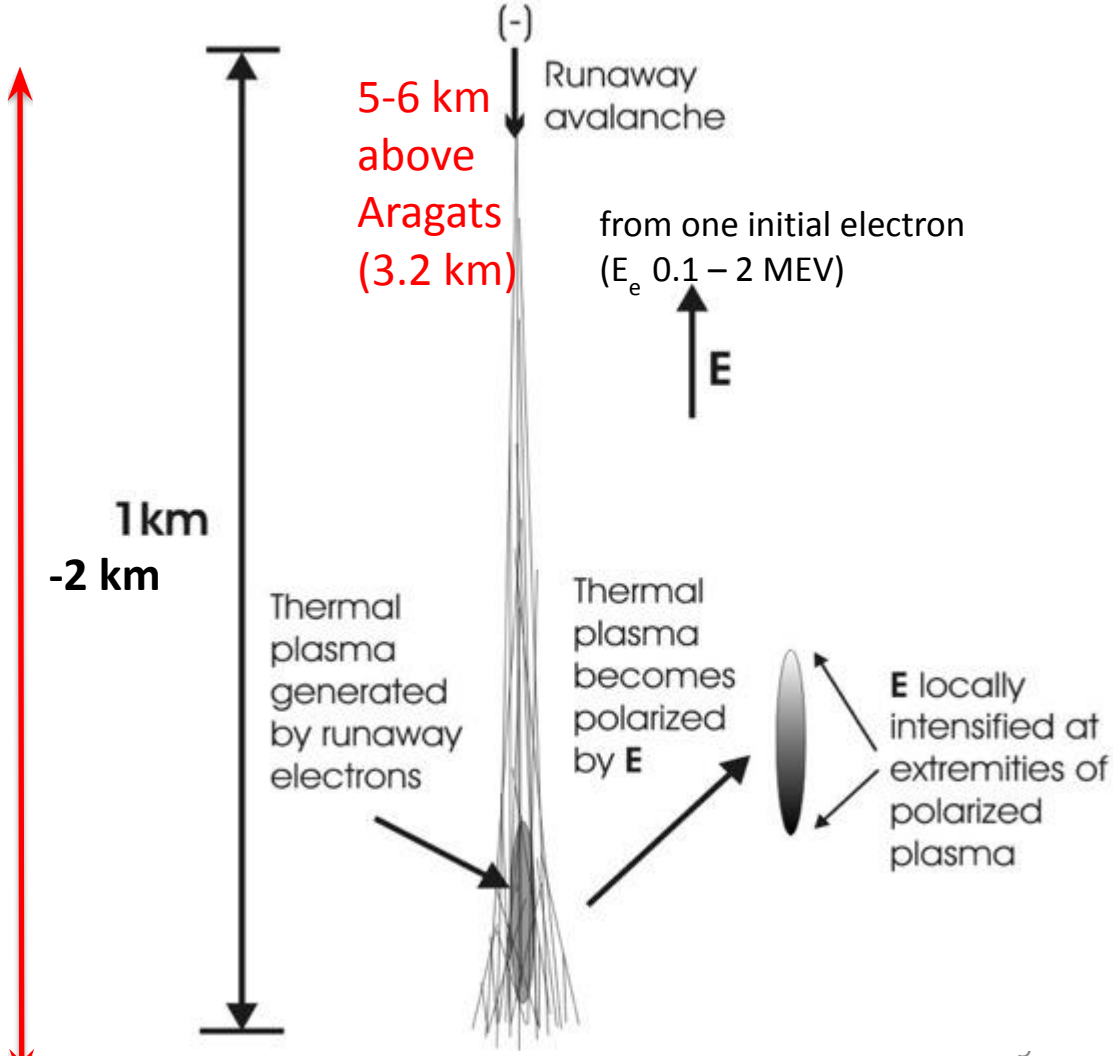
TGFs – RREAs in upper dipole – most energetic gamma rays from microbursts (individual RREAs) reach orbiting gamma observatories: electron avalanches open path for lightning flashes , sprites and other optical phenomena

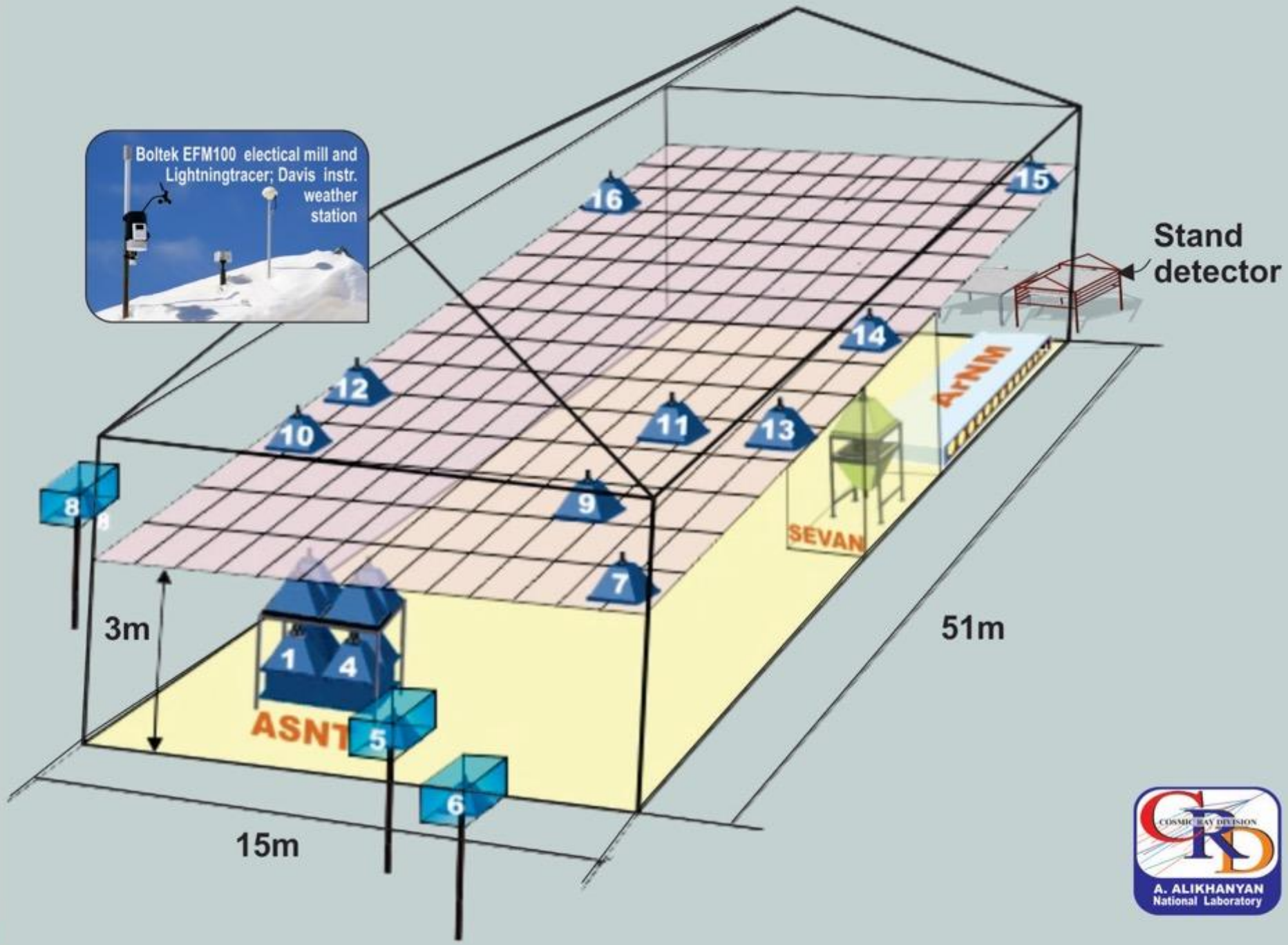

KARE Lake
SKL
Stand1
POWER STATION
SKL
HOTEL
PYRAMID
MAKET
Stand1
GAMMA
Stand1
ARAGATS
Research Station

Synergy of Atmospheric physics and Cosmic Ray physics

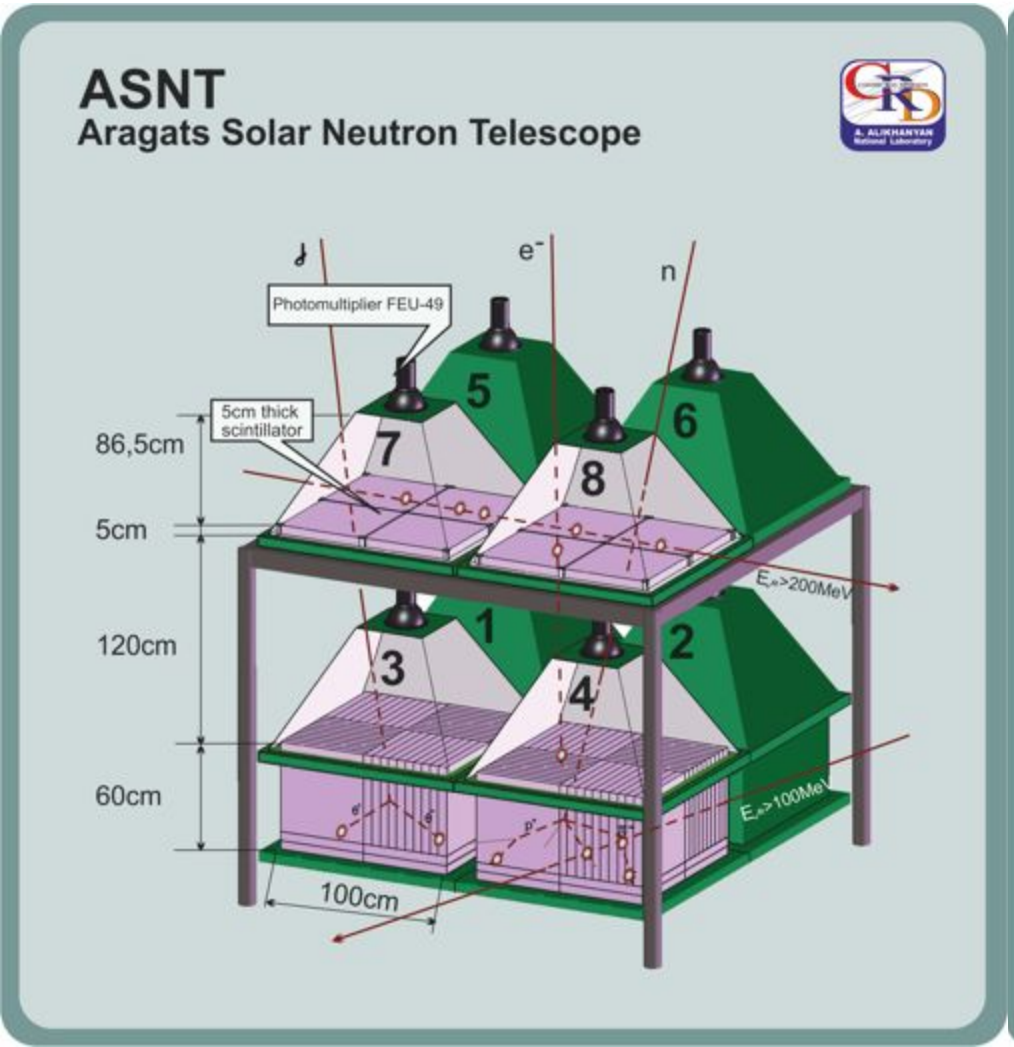


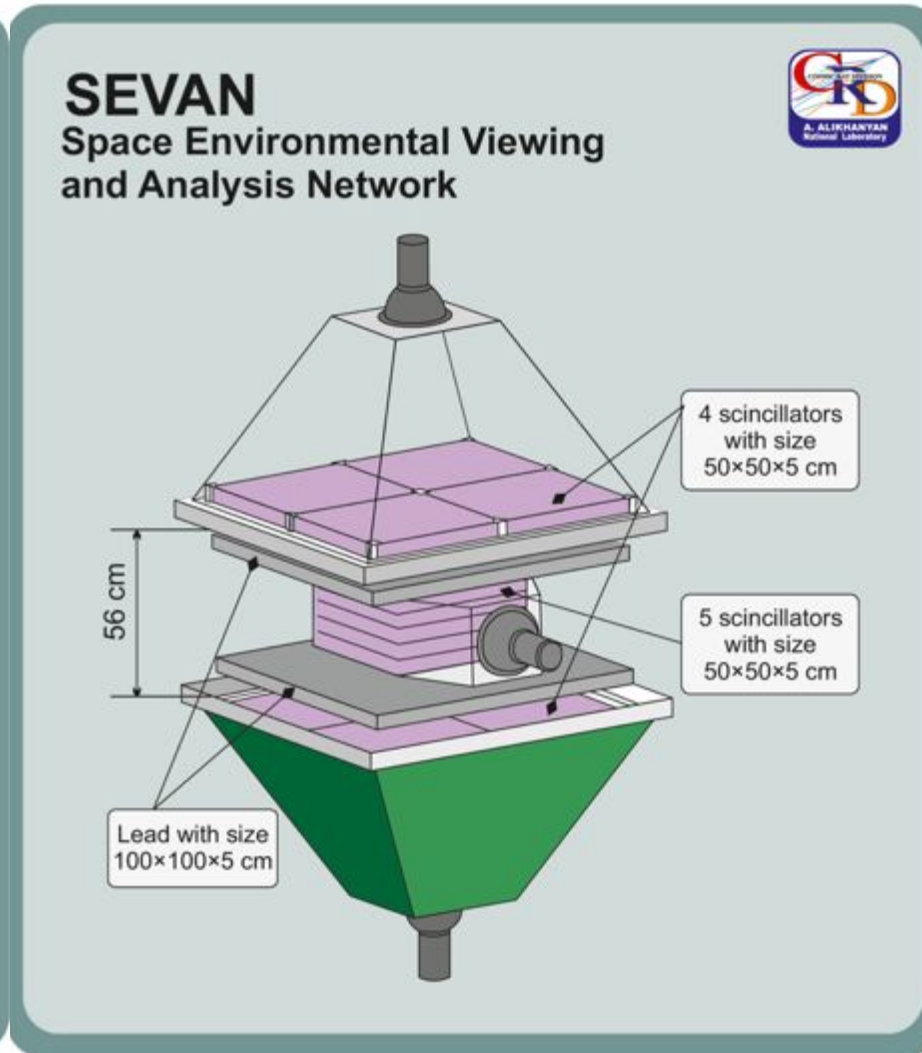
10-20 km

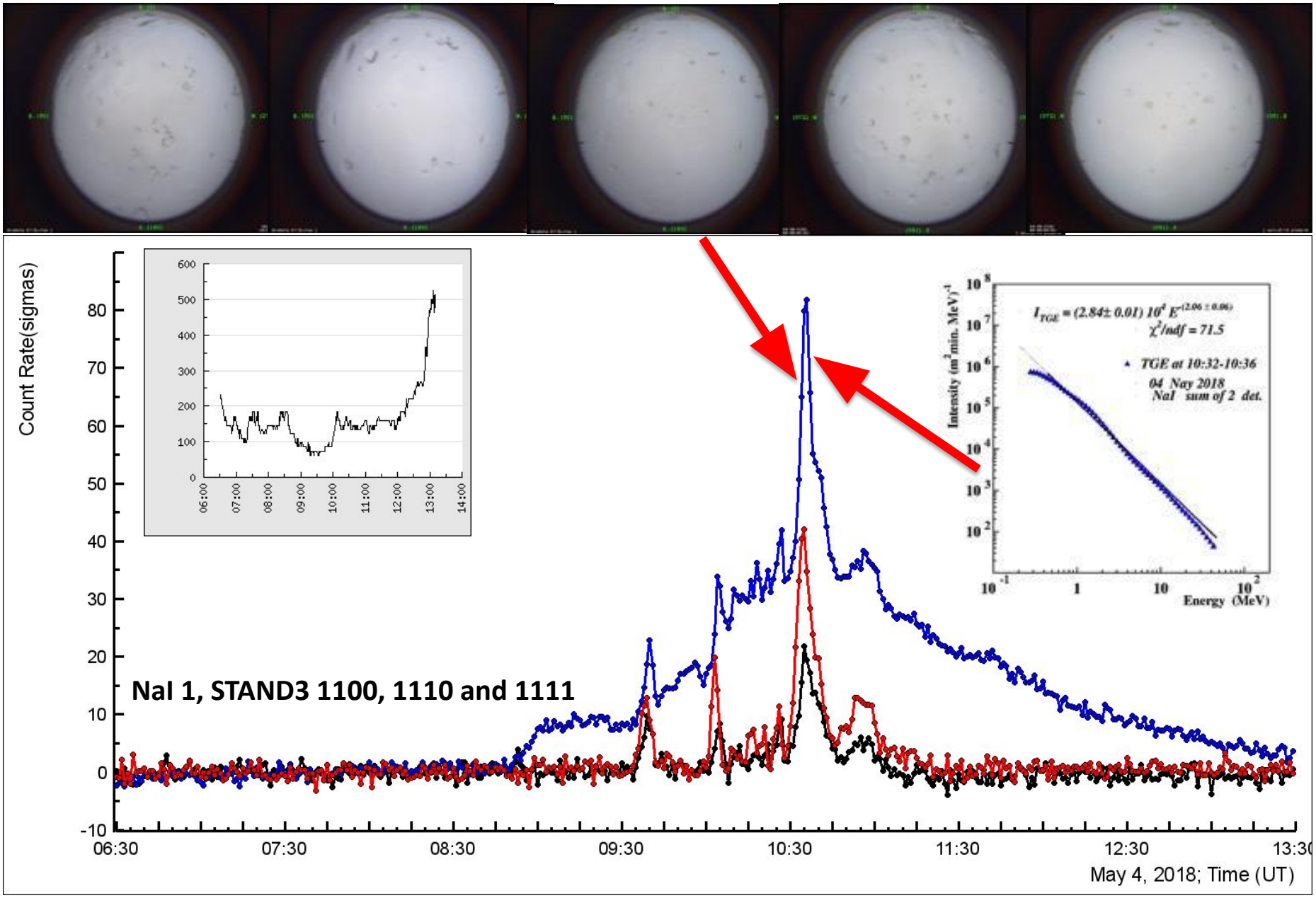



Boltek EFM100 electical mill and Lightningtracer; Davis instr. weather station
Stand detector
16
15
14
12
10
11
13
9
8
8
7
1
4
5
6
ASNT
SEVAN
ArNM
3m
51m
15m
COSMIC RAY DIVISION
A. ALIKHANYAN National Laboratory

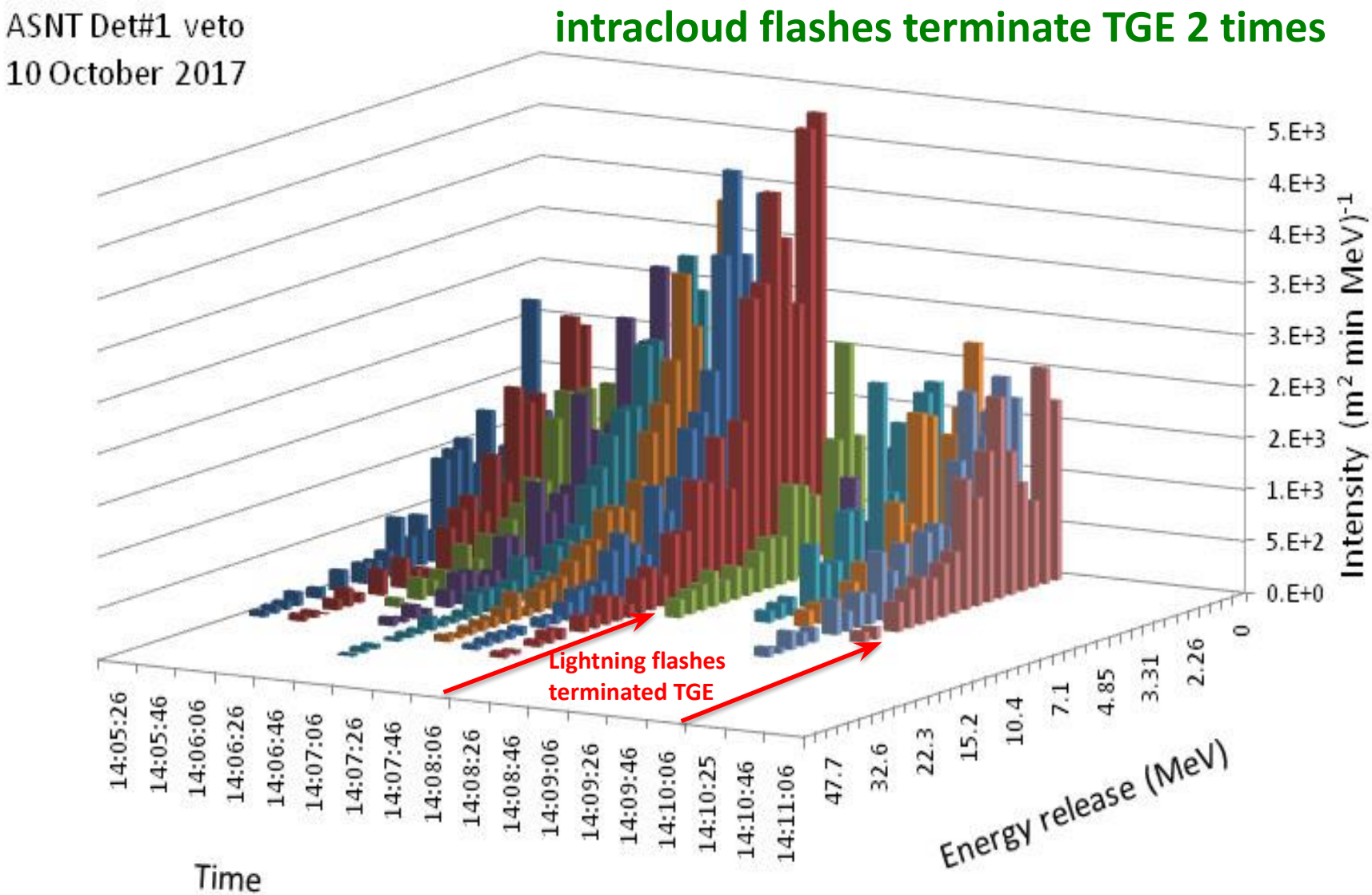
Scientific Instrumentation: neutral and charge fluxes, energy spectra



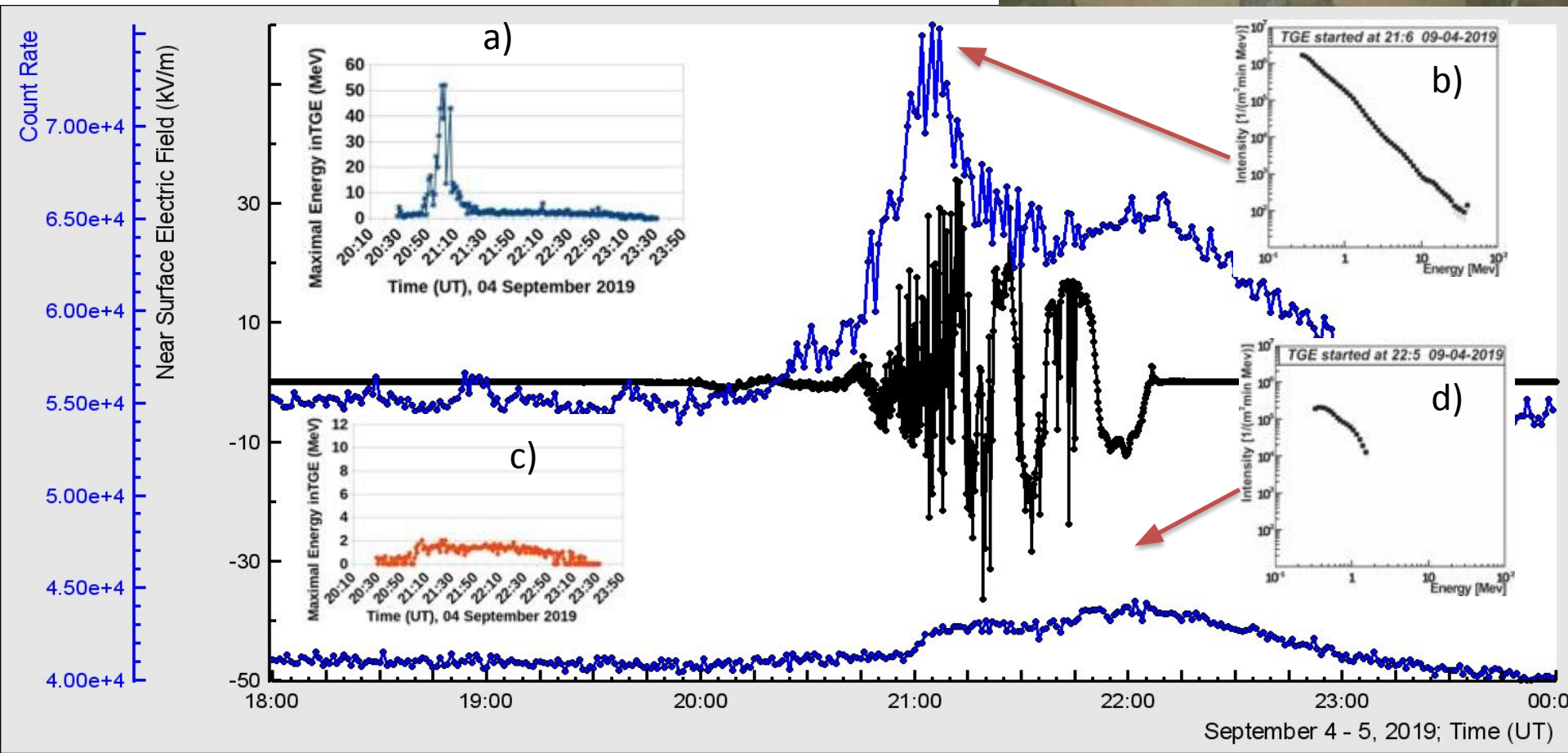



Count Rate(sigmas)
NaI 1, STAND3 1100, 1110 and 1111
06:30
07:30
08:30
09:30
10:30
11:30
12:30
May 4, 2018; Time (UT)
$I_{TGE} = (2.84 \pm 0.01)\ 10^4\ E^{-(2.06 \pm 0.06)}$
$\chi^2/ndf = 71.5$
TGE at 10:32-10:36
04 May 2018
NaI sum of 2 det.
Intensity (m^{2}min. MeV)$^{-1}$
Energy (MeV)

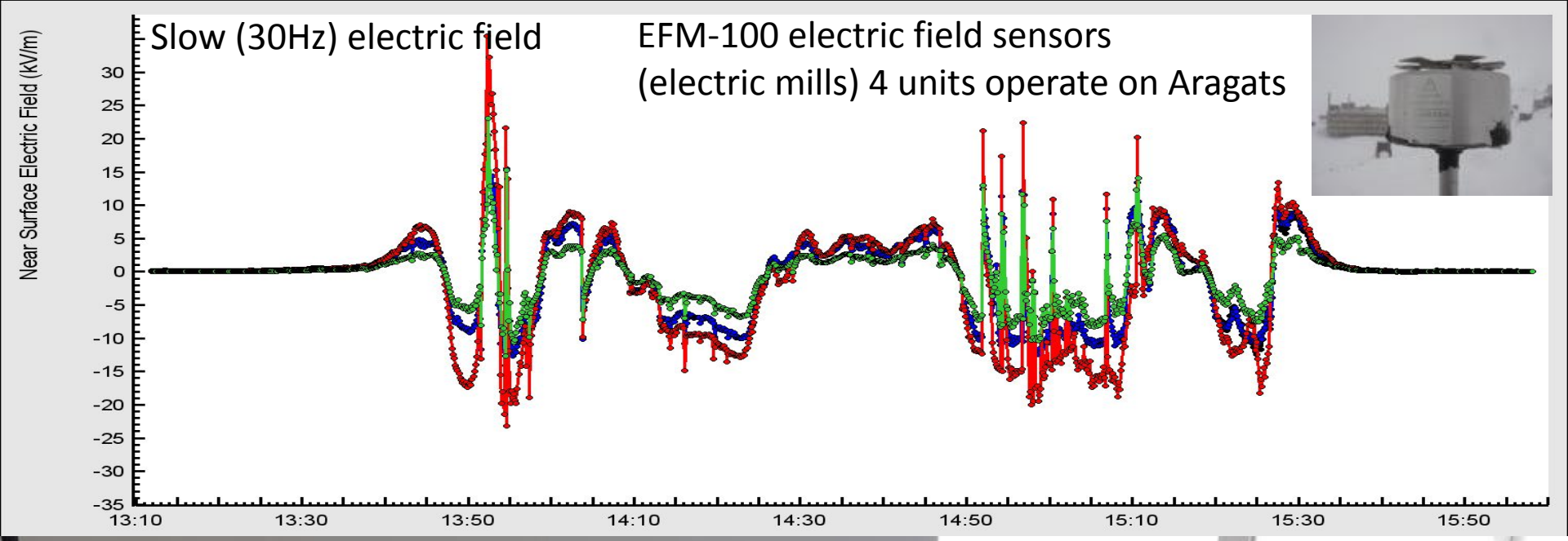
10-sec histograms of energy releases in 60 thick scintillator. Normal polarity intracloud flashes terminate TGE 2 times



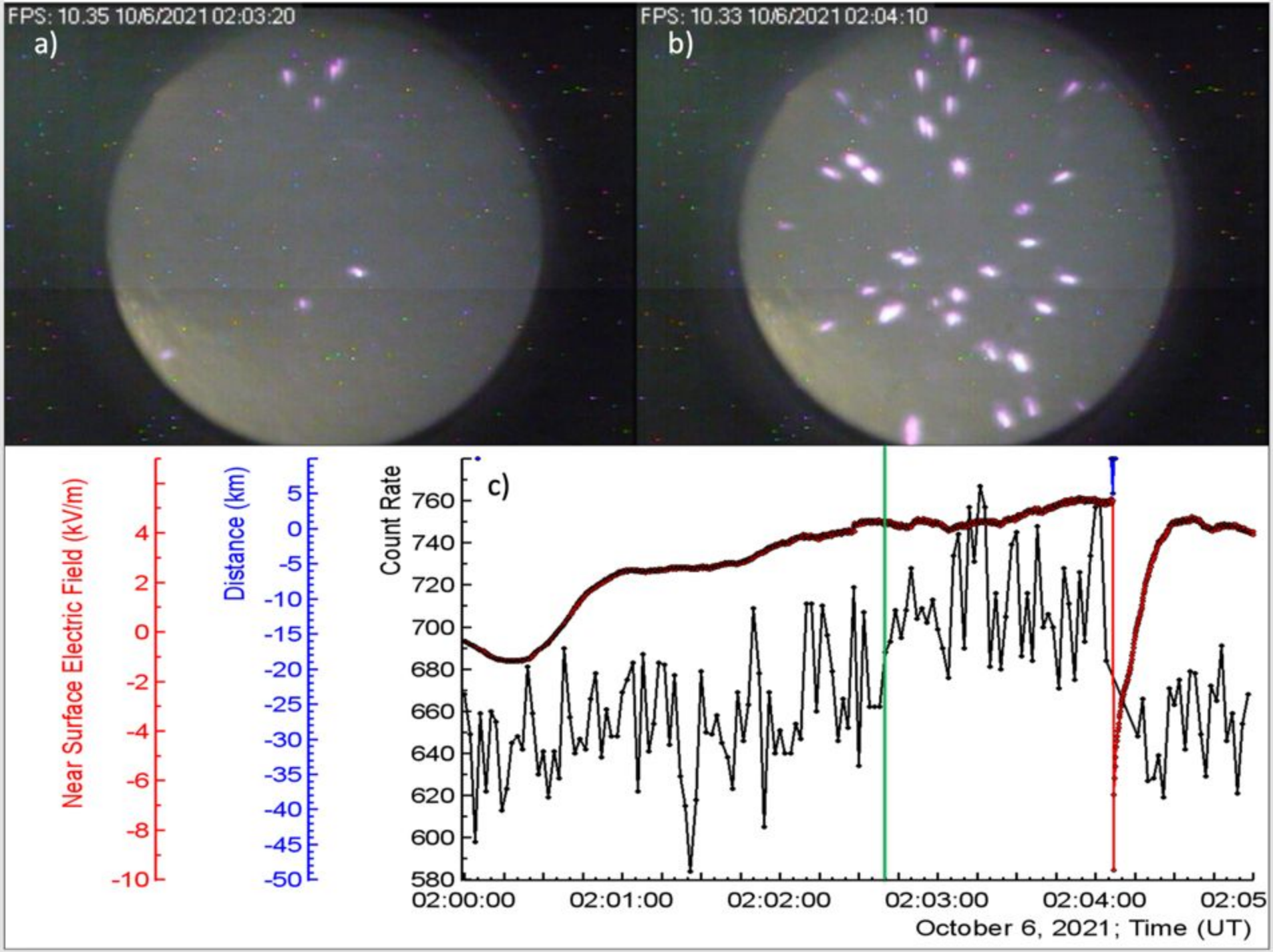
Comparison of TGE registered by NAI 1 (energy spectrum at 15:56 prolonged up to 10 MeV) and 4 (under lead filter, energy spectrum on 15:56 prolonged up to 1.2 MeV)



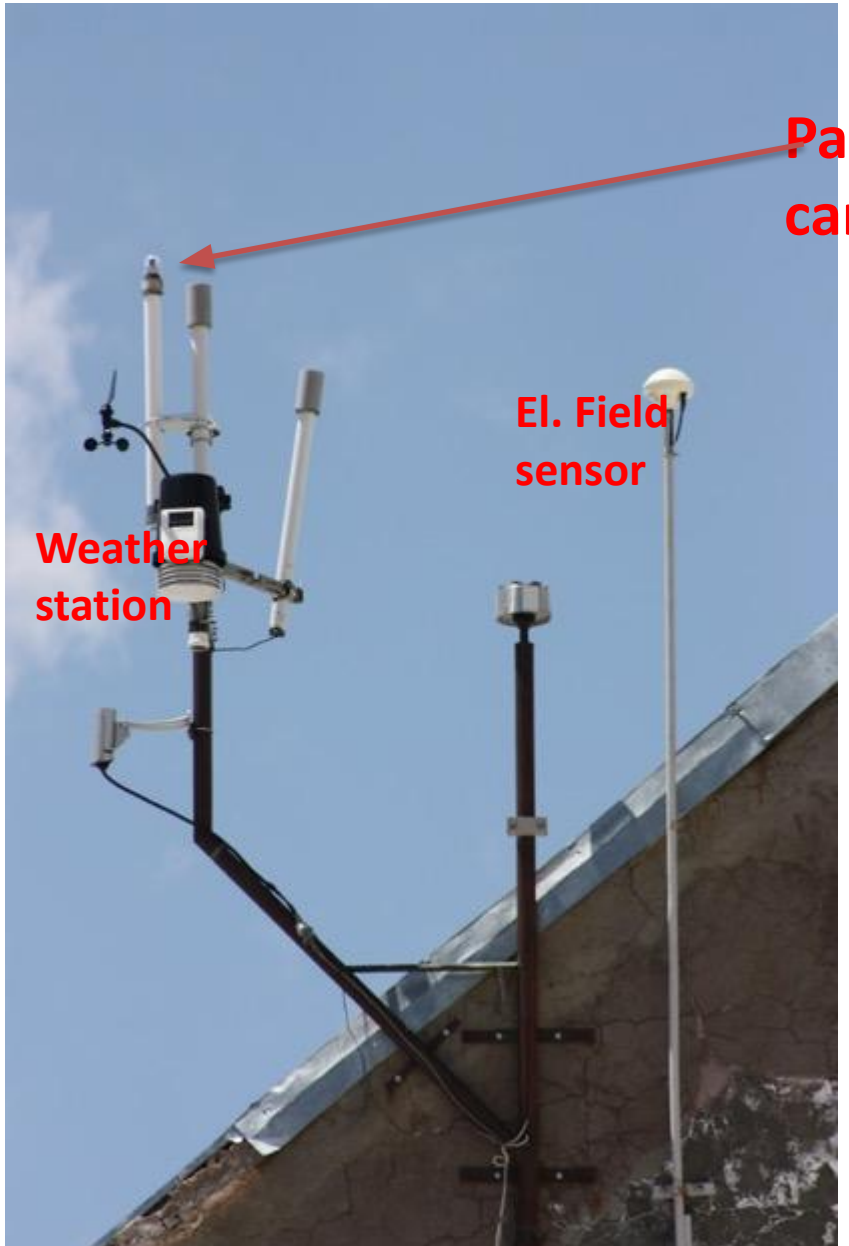
2015/06/03 15:40:03
Aradats CAMERA 1


Slow (30Hz) electric field
EFM-100 electric field sensors
(electric mills) 4 units operate on Aragats
Near Surface Electric Field (kV/m)
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
13:10
13:30
13:50
14:10
14:30
14:50
15:10
15:30
15:50

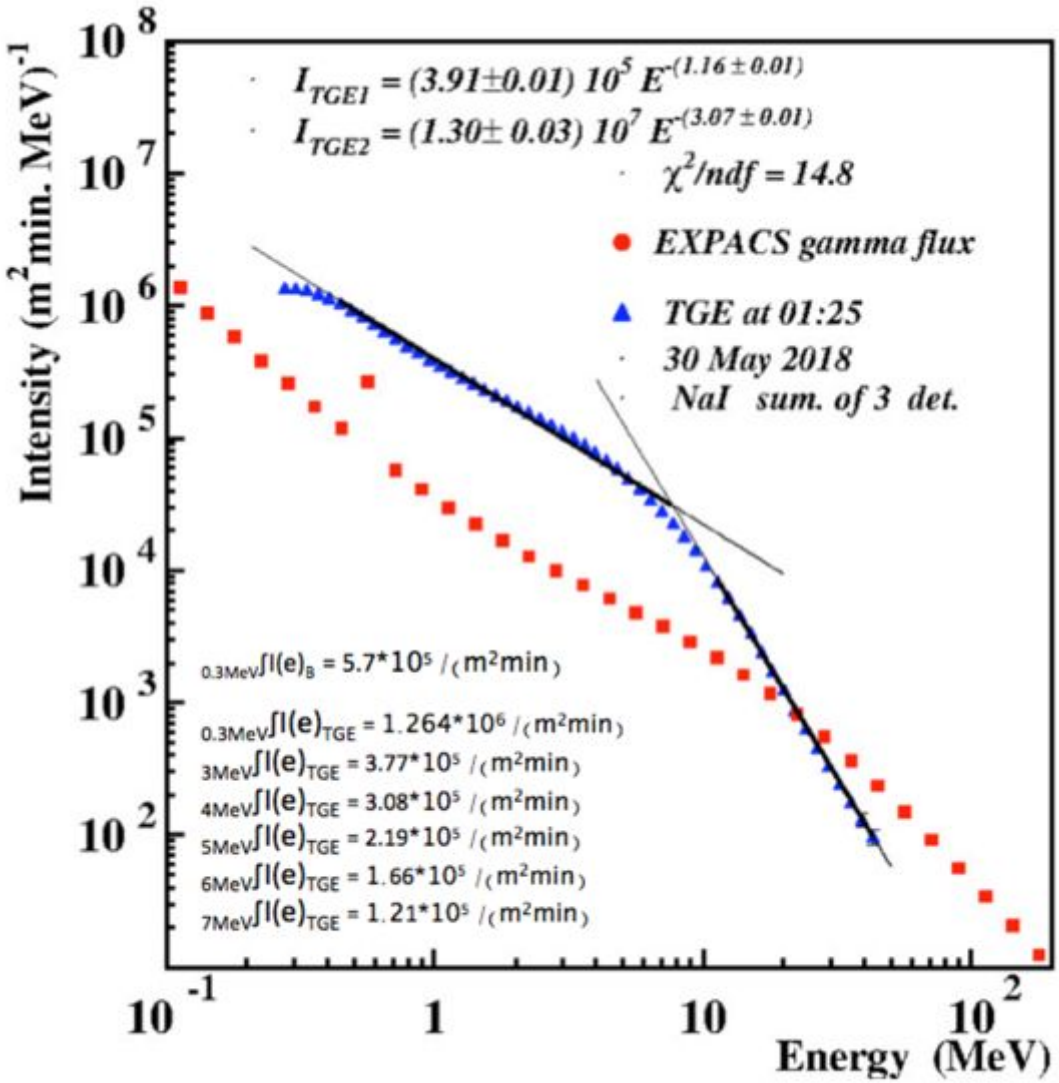
Fast (GHz) electric field
MOXA


FPS: 10.35 10/6/2021 02:03:20
a)
FPS: 10.33 10/6/2021 02:04:10
b)
c)
Near Surface Electric Field (kV/m)
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
Distance (km)
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
-45
-50
Count Rate
760
740
720
700
680
660
640
620
600
580
02:00:00
02:01:00
02:02:00
02:03:00
02:04:00
02:05
October 6, 2021; Time (UT)

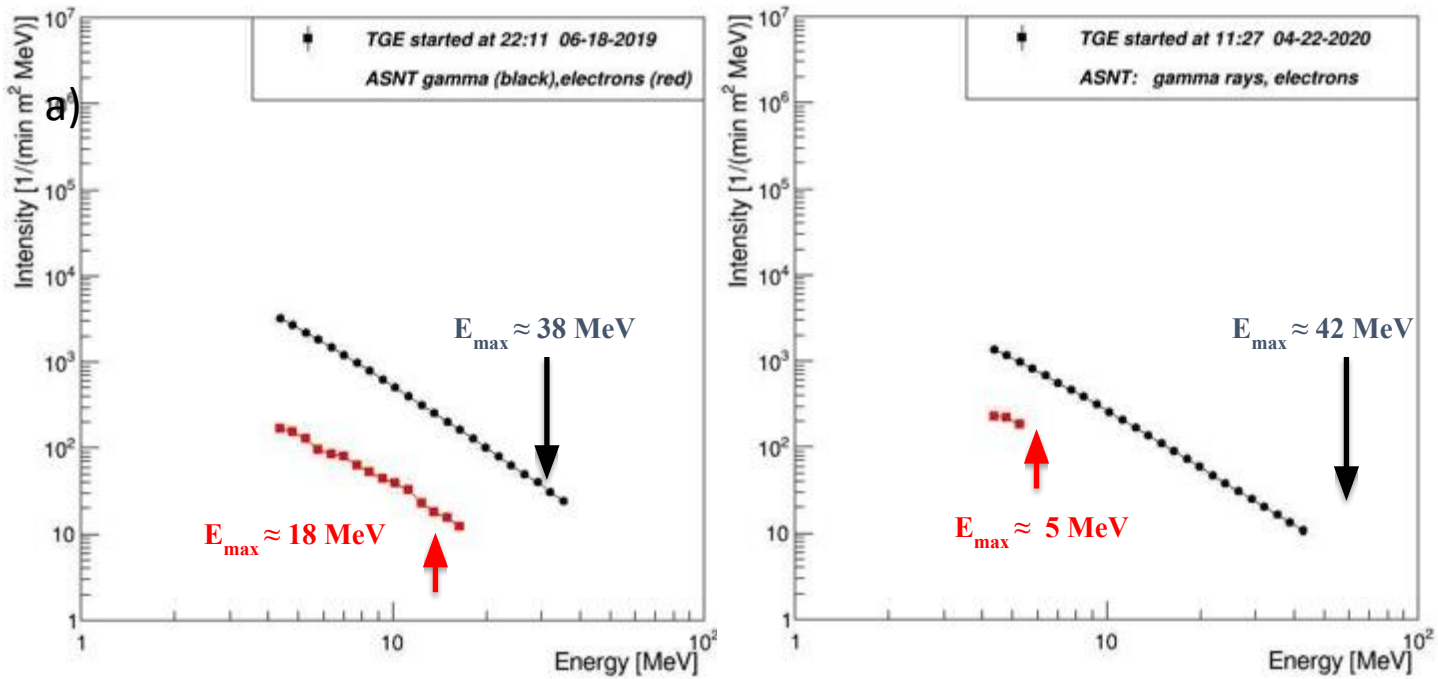
New lab installed on Aragats for synchronous monitoring of skies, NS electric field, meteo parameters, and particle fluxes



Proceeding from the gamma ray spectrum observed on 30 May 2018 we estimate that 10^{18} gamma rays each second bombarded the globe



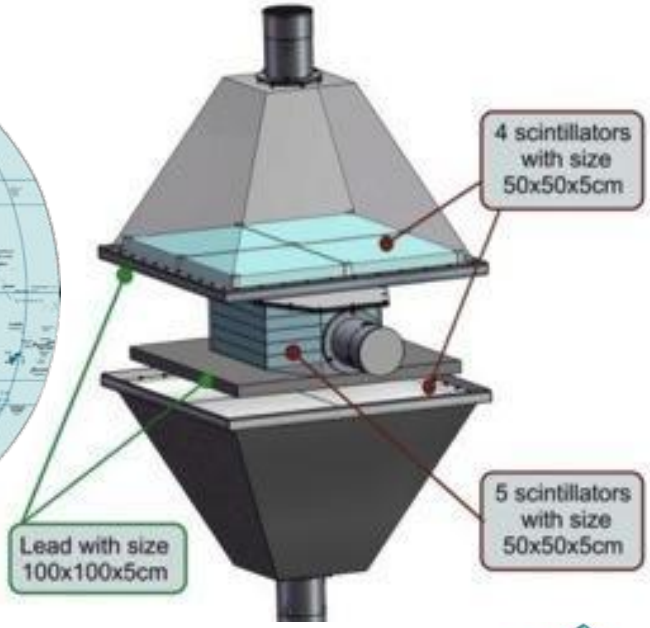
The differential energy spectra of two TGE events of 2020 measured by ASNT spectrometer: NS electric field can reach strength of 200 kV/m at 100 m above ground!



On 22 April the positive near-surface electric field lasting 4 minutes indicates the positive charge above, i.e., a mature LPCR that screened the negative charge of the MN layer. Proceeding from the very low maximum energy of the electron energy spectrum (7 MeV) compared with 40 MeV maximum energy of the gamma-ray flux) we conclude that electric field extends 100 m "deeper" than on 22 April, and electron flux attenuates much less than on 22 April.

Space Environmental Viewing and Analysis Network (SEVAN)

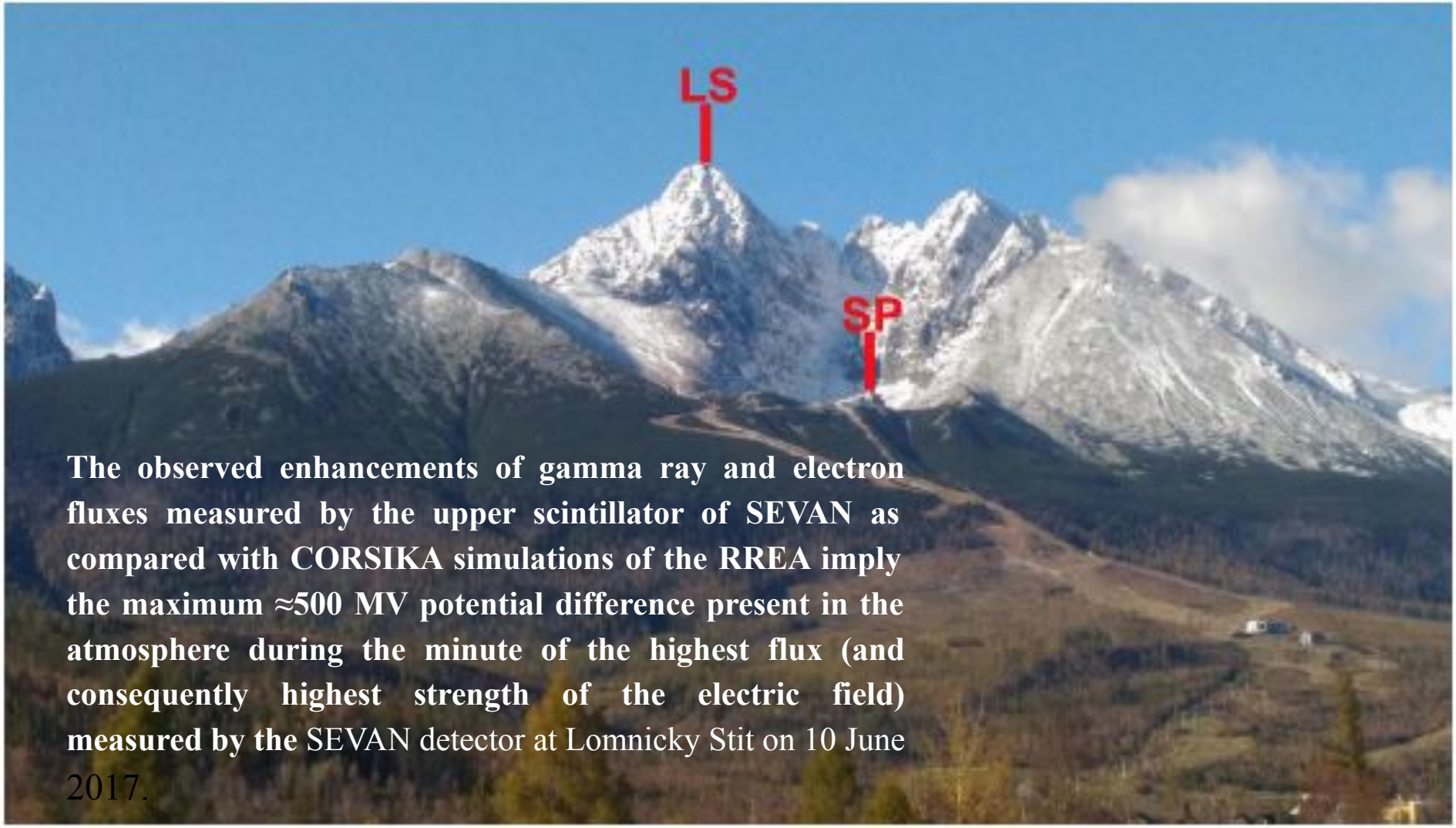
A network of middle to low latitude particle detectors called SEVAN (Space Environmental Viewing and Analysis Network) was accomplished in the framework of the International Heliophysical Year (IHY-2007), to improve fundamental research of the Solar accelerators and Space Weather conditions. The program of high-energy atmospheric physics with SEVAN network started in 2010.



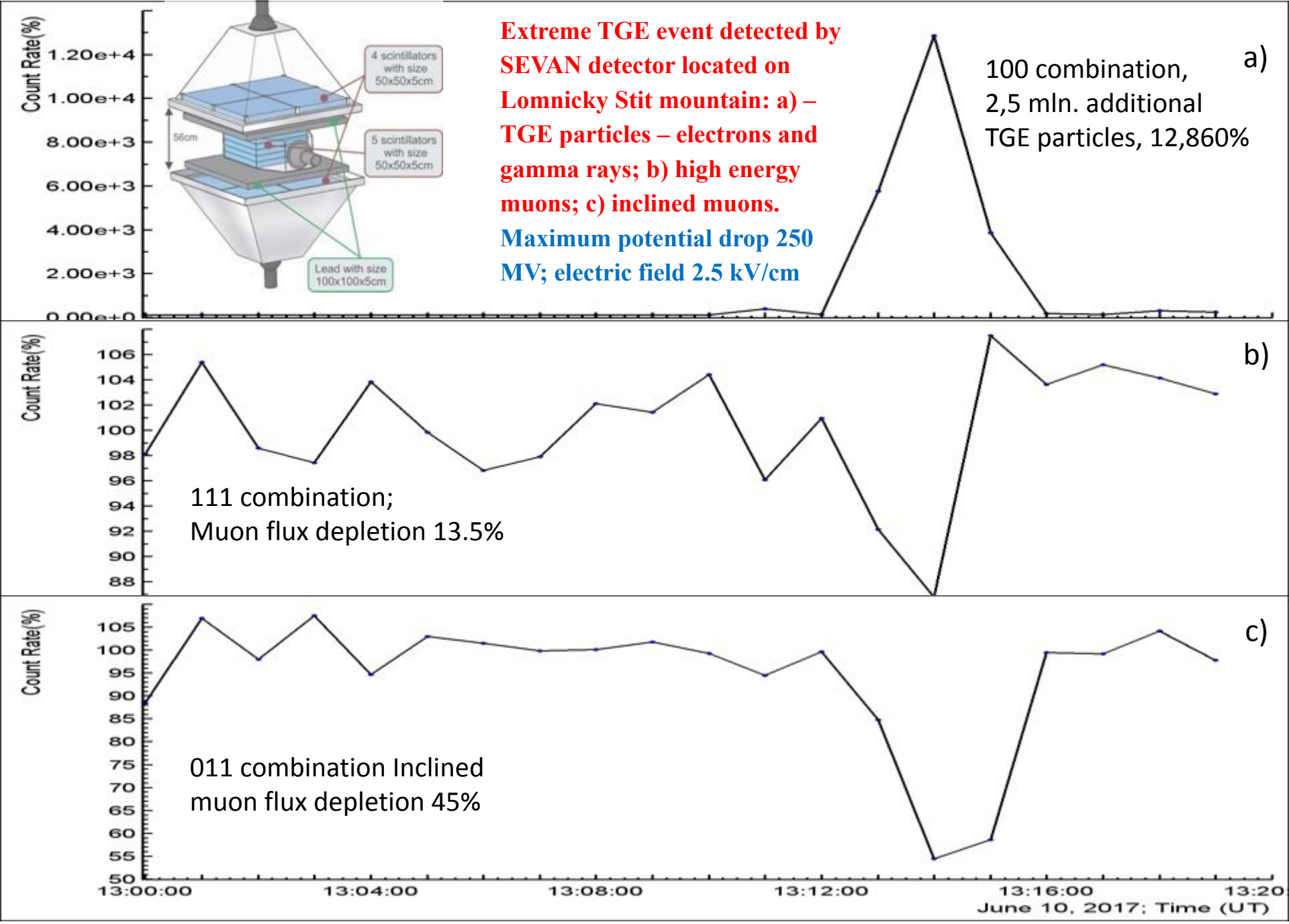
COSMIC RAY DIVISION
Alikhanyan Physics Institute,
Alikhanyan Brothers 2,
Yerevan 375036, Armenia

Installation of SEVAN module at entrance of DESY (Zeuthen)

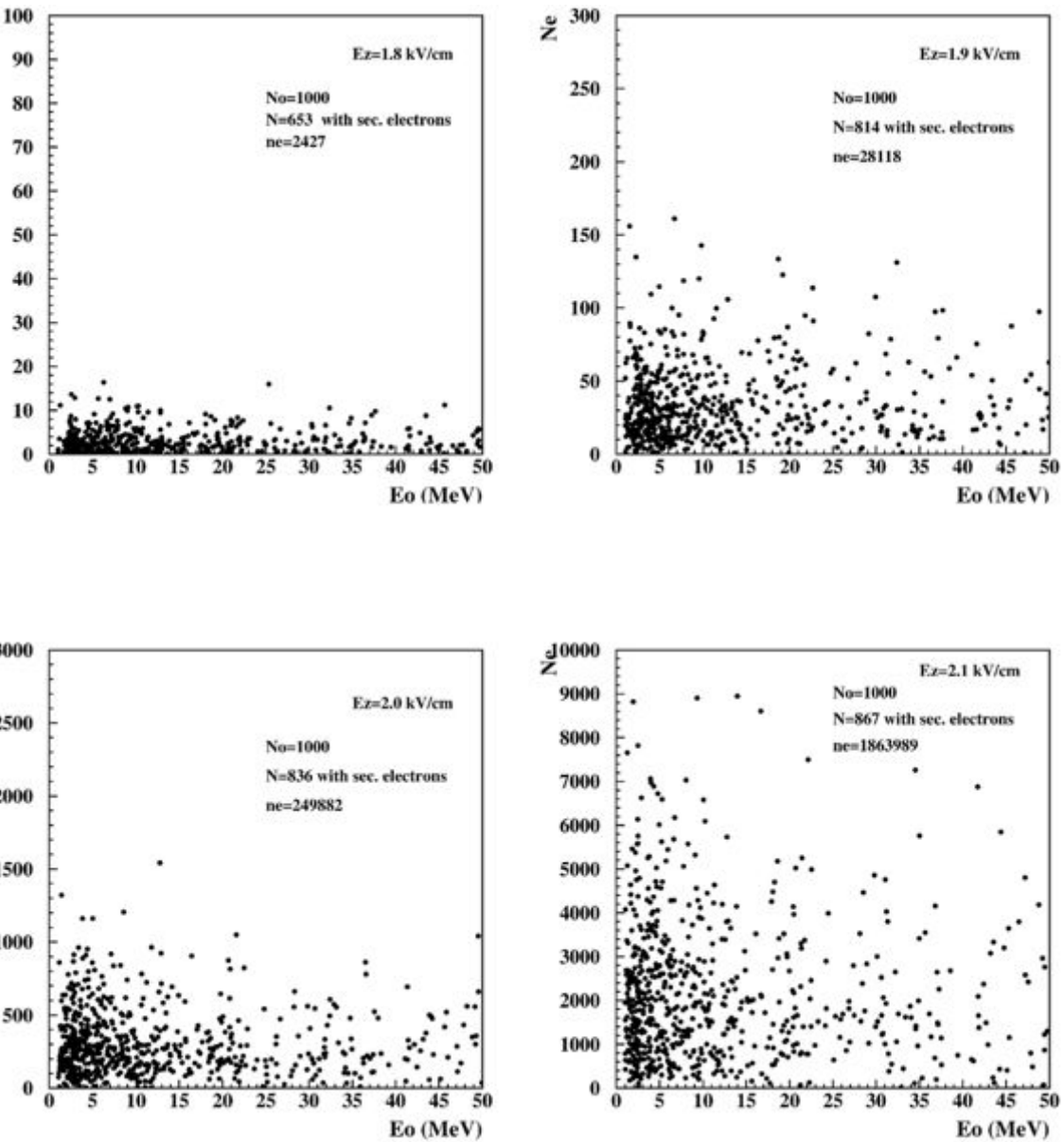
Lomnický Štít (LS) 49.1952 N 20.2131 E 2634 m



The observed enhancements of gamma ray and electron fluxes measured by the upper scintillator of SEVAN as compared with CORSIKA simulations of the RREA imply the maximum ≈500 MV potential difference present in the atmosphere during the minute of the highest flux (and consequently highest strength of the electric field) measured by the SEVAN detector at Lomnicky Stit on 10 June 2017.

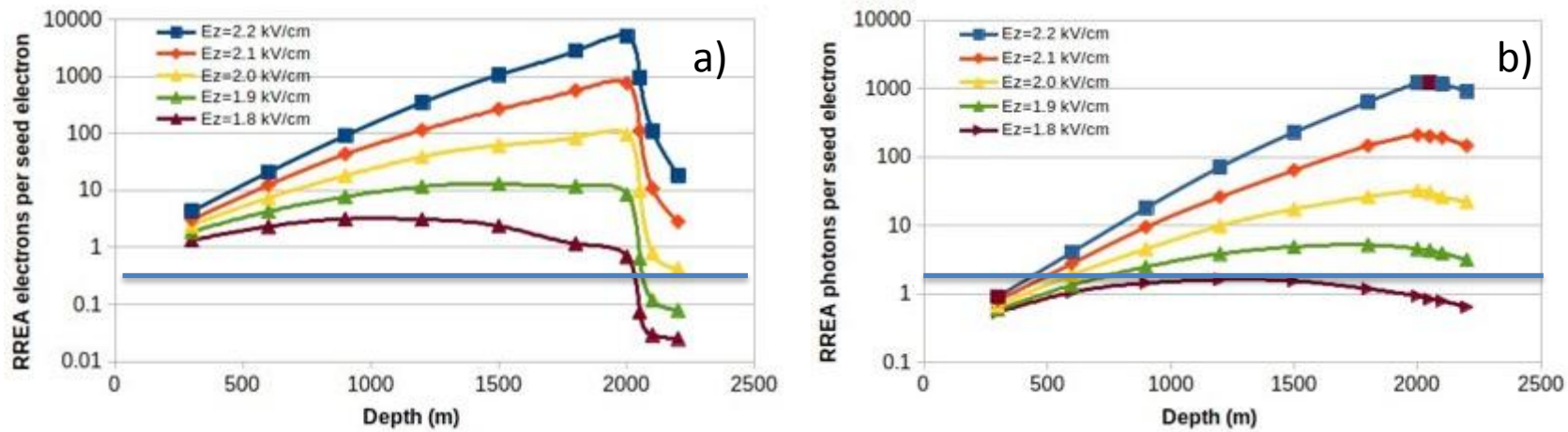

Extreme TGE event detected by SEVAN detector located on Lomnicky Stit mountain: a) – TGE particles – electrons and gamma rays; b) high energy muons; c) inclined muons.
Maximum potential drop 250 MV; electric field 2.5 kV/cm
a)
100 combination, 2,5 mln. additional TGE particles, 12,860%
b)
111 combination; Muon flux depletion 13.5%
c)
011 combination Inclined muon flux depletion 45%
Count Rate(%)
4 scintillators with size 50x50x5cm
5 scintillators with size 50x50x5cm
Lead with size 100x100x5cm
56cm
13:00:00
13:04:00
13:08:00
13:12:00
13:16:00
13:20
June 10, 2017; Time (UT)

CORSIKA code version 7.7400, which takes into account the effect of the electric field on the transport of particles.



The energy spectrum of seed electrons was adopted from the EXPACS WEB calculator in the energy range 1-300 MeV. The number of seed electrons from the ambient population of secondary cosmic rays was obtained from the same calculator, to be 42,000 on the height 5400 above Aragats with energies lareger than 1 MeV.

Comparing measured TGE intensities with CORSIKA simulations



Avalanche started at 5400 m a.s.l. (0 depth), that is 2200 m above the Aragats station. The number of avalanche particles is calculated each 300 m. After exiting from the electric field propagation of avalanche particles is followed additionally 200 m before reaching the station. By blue line, we show the electron and gamma ray number per seed electron for the TGE that occurred on 14 June 2020.

Атмосферное электричество: ускорители электронов, воздействие на климат и на технологии

- Новое направление исследований атмосферных электрических полей связано с потоками частиц, проходящих через грозы и регистрируемых на поверхности Земли спектрометрами частиц, т.е. мы используем потоки частиц для скрининга грозовой атмосферы (подобно рентгеновскому скринингу). Новый подход дает очень интересные результаты, иногда противоречащие общепринятым знаниям о вертикальном профиле атмосферного электрического поля, однако подкрепленные точными методами физики частиц и устоявшимися теориями электромагнитных взаимодействий.
- Многие виды элементарных частиц рождаются в земной атмосфере высокоэнергетическими протонами и ядрами, ускоренными в экзотических галактических источниках. Во время грозы, в дополнение к этому более или менее постоянному потоку, электроны и гамма-лучи производятся самым мощным естественным ускорителем электронов, работающим в электризующейся атмосфере. Огромные потоки электронов и гамма-излучения могут превышать фон до 100 раз и оказывать пока еще не оцененное влияние на климат. В определенный момент времени во всем мире действуют более 2 000 гроз, которые производят около 100 вспышек в секунду. Общая поверхность грозовой атмосферы в каждый момент времени может быть оценена как ≈ 200 000 км^2, и, по нашим оценкам, ≈ $1{,}3*10^{18}$ гамма-лучей с энергией выше 100 кэВ попадают на поверхность Земли каждую секунду. Долгосрочное воздействие этого излучения на человека должно быть тщательно изучено.
- Высокая напряженность приповерхностного электрического поля, достигающая 200 кВ/м, была установлена путем изучения энергетических спектров электронов и гамма-лучей лавин частиц, инициированных ускорителем электронов, работающим в грозовой атмосфере. Во многих центрах мира регистрируются дополнительные потоки гамма-излучения, мы на Арагаце с помощью сложных спектрометров можем также регистрировать электроны и восстанавливать их энергетические спектры. Это позволяет нам с точностью ≈50 м оценить, когда сильное ускоряющее поле заканчивается и электроны выходят из него и очень быстро теряют энергию на ионизацию и исчезают. Если мы измеряем поток электронов, то из этого в конечном итоге следует, что поле заканчивается на высоте не более 100 м над землей. В связи с

Conclusion

Физика высоких энергий в атмосфере (ФВЭА) в настоящее время достигла зрелого состояния. Результаты, полученные в этой относительно новой области исследований, показывают, что космические лучи являются вестниками, несущими информацию не только о крупнейших ускорителях во Вселенной, но и информацию о заряженной структуре облаков и изменении климата. Последнее выявляется путем мониторинга модуляции потоков интенсивности различных видов вторичных космических лучей атмосферным электрическим полем.