

УДК 551.593

ЭКСПЕРИМЕНТ “УФ АТМОСФЕРА” (MINI-EUSO) – ШИРОКОУГОЛЬНЫЙ ЛИНЗОВЫЙ ТЕЛЕСКОП НА БОРТУ МКС

© 2021 г. П. А. Климов* от имени коллаборации JEM-EUSO

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
“Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова”,
Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына, Москва, Россия

*E-mail: pavel.klimov@gmail.com

Поступила в редакцию 19.10.2020 г.

После доработки 19.11.2020 г.

Принята к публикации 28.12.2020 г.

В 2019 г. на борт международной космической станции был доставлен детектор Mini-EUSO в рамках космического эксперимента “УФ атмосфера”. Прибор разработан и изготовлен международной коллаборацией JEM-EUSO и является полноценным прототипом флуоресцентного орбитального детектора космических лучей предельно высоких энергий K-EUSO. За год работы аппаратуры на МКС было проведено 26 сеансов эксперимента. Проведена регистрация медленных вариаций УФ свечения: облачного покрова и антропогенных источников, молниевых разрядов и транзиентных высоко атмосферных явлений грозового происхождения, метеоров. Зарегистрирован ряд необычных УФ вспышек длительностью около 150 мкс, природа которых не ясна на данный момент.

DOI: 10.31857/S0367676521040177

ВВЕДЕНИЕ

Международная коллаборация JEM-EUSO реализует программу по созданию орбитальной обсерватории космических лучей предельно высоких энергий (КЛ ПВЭ, $E > 50 \text{ ЭэВ} = 5 \cdot 10^{19} \text{ эВ}$) [1]. Регистрация частиц происходит посредством измерения флуоресцентного свечения широкого атмосферного ливня (ШАЛ) широкоугольным телескопом с большой площадью входного окна, расположенном на искусственном спутнике Земли [2]. Ввиду сложной методики эксперимента и особенностей измерений в условиях сильно переменного УФ фона разработка ведется поэтапно, путем создания и испытания целого ряда прототипов [3–5].

Для измерения УФ фона ночной атмосферы и отработки технологии создания оптической системы, электроники детектора и проверки их работоспособности в условиях космического полета, в 2014 г. был предложен уменьшенный вариант линзового телескопа “УФ атмосфера” (Mini-EUSO). Научная аппаратура “УФ атмосфера” разработана и изготовлена в рамках Соглашения между Госкорпорацией по космической деятельности Роскосмос и Итальянским космическим агентством. 27 августа 2019 г. детектор был доставлен на борт МКС, а первый сеанс работы состоялся 7 октября 2019 г.

В данной статье приведено краткое описание аппаратуры и примеры первых измерений квазистационарного УФ свечения и быстрых (транзиентных) событий.

ОПИСАНИЕ НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ

Эксперимент проводится с помощью широкоугольного детектора (телескопа), установленного через переходное кольцо (адаптер) на иллюминатор № 9 Служебного модуля Российского сегмента МКС. Данный иллюминатор прозрачен в ближнем УФ диапазоне и позволяет проводить наблюдения в надир.

Уникальность прибора “УФ атмосфера” заключается в том, что он одновременно обладает и широким полем зрения ($\pm 20^\circ$), и высокой чувствительностью (площадь входного окна 490 см^2), и высоким временным разрешением (2.5 мкс). В блоке цифровой обработки данных детектора реализована трехуровневая триггерная система, позволяющая параллельно записывать в течение каждых 5-ти секунд наблюдений до 4-х событий с временным разрешением 2.5 мкс и 4-х событий с разрешением 320 мкс, а также вести непрерывную запись в режиме мониторинга с разрешением 40 мс. Первые два режима позволяют отбирать события разной длительности, а третий – регистри-

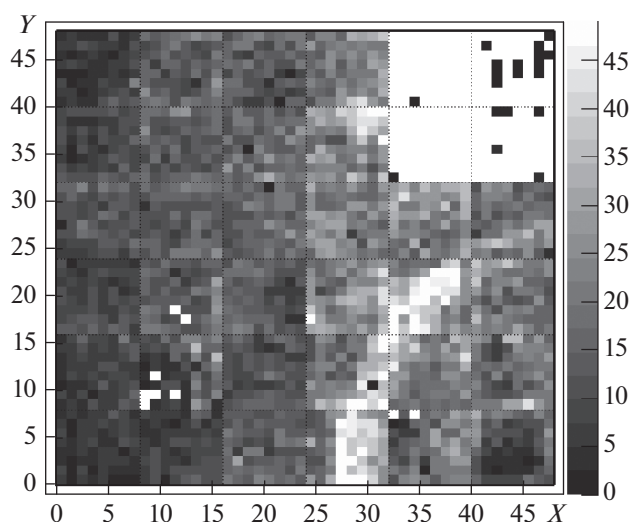


Рис. 1. Транзиентное явление типа “эльф”, зарегистрированное детектором “УФ атмосфера” 5 декабря 2019 г. В одной ячейке детектора (4 МАФЭУ справа сверху сработала защита от мощной засветки).

ровать относительно медленные вариации УФ свечения на протяжении всей траектории движения МКС. Диапазон длин волн, в которых проходят измерения — 300–400 нм, что соответствует области флуоресцентного свечения молекулярного азота. Оптическая схема представляет собой двухлинзовую систему с эффективным фокусным расстоянием 25 см. Обе линзы изготовлены из УФ прозрачного пластика ПММА и выполнены в виде линз Френеля для обеспечения компактности аппаратуры. Матрица фотоприемника представлена 36-ю многоанодными фотоэлектронными умножителями (МАФЭУ) фирмы Hamamatsu. Всего в матрице 2304 регистрирующих канала. МАФЭУ работают в режиме счета фотонов, оцифровка сигнала происходит с помощью специализированных микросхем SPACIROC-3. Пространственное разрешение на поверхности Земли составляет порядка 5 км.

Подробное описание аппаратуры, наземного тестирования и программного обеспечения приведено в [6–8].

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

За первый год работы на борту МКС было проведено 26 сеансов космического эксперимента. Длительность каждого сеанса составляет около 8 часов. Экспозиция детектора определяется только ночной частью траектории МКС, так как на дневной части орбиты происходит автоматическое снятие высокого напряжения с МАФЭУ.

События, зарегистрированные прибором “УФ атмосфера”, можно различить по временным и

пространственным особенностям сигнала. Основные типы наблюдаемых событий, следующие:

1) Квазистационарное свечение поверхности Земли и других, покоящихся относительно нее, светящихся объектов в атмосфере. Это, в первую очередь, районы активной антропогенной деятельности, а также рассеяние света звезд и Луны облаками. Видимое движение данных объектов происходит со скоростью орбитального движения МКС (т.е. ~ 7 км/с). Светящийся объект виден в течение 40 секунд, пока не покинет поле зрения прибора. Свечение городов хорошо идентифицируется по наличию в модуляции сигнала на промышленной частоте 100 Гц (или 120 Гц в зависимости от региона наблюдения).

2) Молнии и высоко атмосферные транзиентные явления — это быстрые процессы в нижней и верхней атмосфере, связанные с грозовой активностью. Причиной возникновения транзиентных свечений в верхней атмосфере являются молниевые разряды облако-земля или между облаками. Отклик атмосферы на эти разряды происходит на высотах порядка 80 км: либо в виде светящегося расширяющегося кольца — так называемого “эльфа”, либо диффузного свечения (гало), либо в виде сложных структур стримерного разряда — “спрайтов”. Пример регистрации события типа “эльф” приведен на рис. 1. Видно яркое расширяющееся во времени со скоростью близкой к скорости света кольцо.

3) За время работы детектора зарегистрировано порядка 1000 медленных треков микрометеоров. Они могут иметь довольно разнообразные формы кривой свечения и амплитуды сигналов, в зависимости от скорости, направления движения и массы. Регистрация треков метеоров производится в режиме с временным разрешением 40 мс.

4) Одним из наиболее частых явлений, вызывающих срабатывание триггерной системы — непосредственное попадание заряженных частиц в детектор, вызывающее черенковское и флуоресцентное свечение в стеклянных частях фотоприемника. Они наблюдаются как яркие и мгновенные (2–3 такта измерения) треки. Аналогичные вспышки наблюдались в детекторе “ТУС” [9].

Интересно отметить, что иногда происходит регистрация вспышек вдали от грозовых областей и антропогенных источников. Длительность сигнала составляет порядка 100–200 мкс, в пространственная форма сигнала говорит о локализации объекта в одном или нескольких соседних пикселях. Пример такого события приведен на рис. 2. Слева показана карта каналов. Яркое пятно с центром в пикселе (31, 36) — интересующее событие, правее — побережье Шри-Ланки. Справа — временной профиль события. Предваритель-

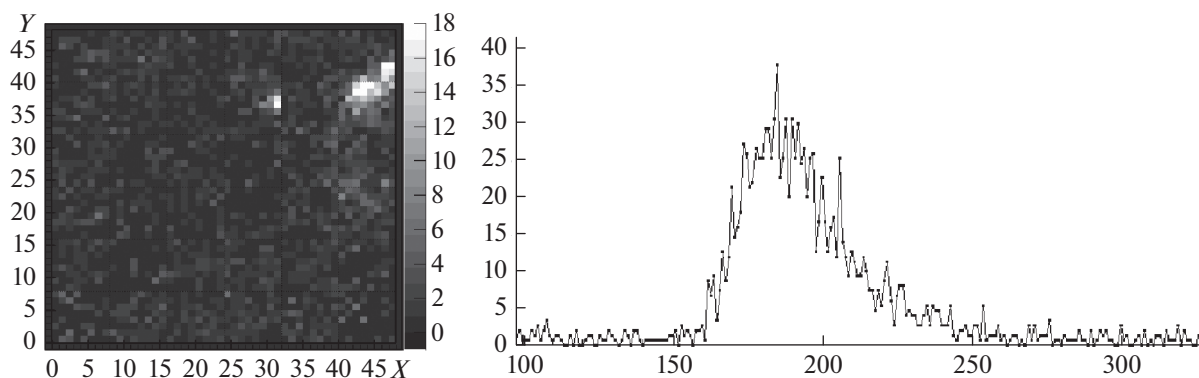


Рис. 2. Слева: карта каналов необычного внегрозового события, зарегистрированного 31.03.2020 в 18:32 UTC. Событие с центром в пикселе (31, 36), яркая область справа – побережье Шри-Ланки. Справа – осциллограмма самого яркого канала.

ный анализ временного смещения пиков сигнала в соседних пикселях говорит о концентрическом расширении области свечения с релятивистской скоростью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С октября 2019 г. на борту МКС работает научная аппаратура “УФ атмосфера”, подготовленная коллаборацией JEM-EUSO в рамках реализации программы по созданию орбитального детектора космических лучей предельно высоких энергий. Проведено 26 сеансов эксперимента. Показана надежность работы аппаратуры и эффективность регистрации явлений разнообразного типа, что является важным шагом при разработке детектора КЛ ПВЭ следующего поколения (проекты K-EUSO, EUSO-SPB2, РОЕММА).

Работа выполнена при финансовой поддержке ГК Роскосмос и при участии коллаборации JEM-EUSO. Статья подготовлена по материалам исследований, выполненных в КЭ “УФ атмосфера” на российском сегменте МКС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ricci M. // J. Phys. Conf. Ser. 2016. V. 718. Art. No. 052034.
2. Benson R., Linsley J. // Bull. Amer. Astron. Soc. 1980. V. 12. P. 818.
3. Abdellaoui G., Abe S., Adams J.H. et al. // Astropart. Phys. 2018. V. 102. P. 98.
4. Wiencke L., Olinto A. // Proc. ICRC2017. 2017. V. 301. Art. No. 1097.
5. Klimov P.A., Panasyuk M.I., Khrenov B.A. et al. // Space Sci. Rev. 2017. V. 212. No. 3–4. P. 1687.
6. Capel F., Belov A., Casolino M., Klimov P. // Adv. Space Res. 2018. V. 62. No. 10. P. 2954.
7. Belov A., Bertaina M., Capel F. et al. // Adv. Space Res. 2018. V. 62. No. 10. P. 2966.
8. Capel F., Belov A., Cambie G. et al. // J. Astron. Telesc. Instrum. Syst. 2019. V. 5. No. 4. P. 1.
9. Климов П.А., Зотов М.Ю., Чирская Н.П. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2017. Т. 81. № 4. С. 442; Klimov P.A., Zotov M.Yu., Chirsckaya N.P. et al. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2017. V. 81. No. 4. P. 407.

UV atmosphere (MINI-EUSO) – wide field of view telescope on board ISS

P. A. Klimov* on behalf of the JEM-EUSO Collaboration

Lomonosov Moscow State University, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Moscow, 119991 Russia

*e-mail: pavel.klimov@gmail.com

In 2019, the Mini-EUSO detector was delivered on board the International Space Station as part of the UV Atmosphere space experiment. The device was designed and manufactured by the international JEM-EUSO collaboration and is a prototype of the K-EUSO fluorescent orbital ultra-high energy cosmic ray detector. During the year of operation of the equipment on the ISS, 26 sessions of the experiment were carried out. The registration of slow variations of UV luminescence: cloud cover and anthropogenic sources, lightning discharges and transient high atmospheric phenomena of thunderstorm origin and meteors was carried out. A number of unusual UV flashes with a duration of about 150 μ s were recorded, the nature of which is not clear at the moment.