

УДК 524.1

## ОБСЕРВАТОРИЯ ЛУЧЕЙ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ. ТЕКУЩИЙ СТАТУС

© 2019 г. Д. М. Подорожный<sup>1, \*</sup>, Д. Е. Карманов<sup>1</sup>, А. Д. Панов<sup>1</sup>,  
Л. Г. Ткачев<sup>2</sup>, А. Н. Турундаевский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>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  
<sup>2</sup>Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

\*E-mail: [dmp@eas.sinp.msu.ru](mailto:dmp@eas.sinp.msu.ru)

Поступила в редакцию 15.09.2018 г.

После доработки 06.11.2018 г.

Принята к публикации 28.01.2019 г.

Определены цели и научные задачи космического эксперимента “Обсерватория лучей высоких энергий”. Представлен проектный облик научной аппаратуры, характерной особенностью которой является ее беспрецедентно высокий геометрический фактор ( $\sim 20 \text{ м}^2 \cdot \text{ср}$ ) и достаточно высокая точность в измерениях. Технические характеристики аппаратуры позволяют прецизионно исследовать космические лучи в широком энергетическом диапазоне, включая совершенно неисследованную область энергий  $10^{15} - 10^{16}$  эВ. Определен текущий статус космического эксперимента.

DOI: 10.1134/S0367676519050302

### ВВЕДЕНИЕ

За последние два десятилетия были осуществлены несколько успешных миссий [1–8] по исследованию энергетических спектров и химического состава космических лучей (КЛ). В энергетической области до  $\sim 5 \times 10^{13}$  эВ собран достаточно обеспеченный статистический материал по обильным ядрам. Обнаружены ряд особенностей в энергетических спектрах разных компонентов КЛ. Это усилило интерес по исследованию прямыми методами КЛ с максимально возможным продвижением в область высоких энергий. В настоящее время одновременно на околоземной орбите осуществляются четыре космических проекта с близкими целями: НУКЛОН [9], CALET [10], DAMPE [11], ISS-CREAM [12]. При успешной реализации этих проектов можно ожидать, что приблизительно к 2020 г. будет получен статистически обеспеченный материал вплоть до энергий  $\sim 5 \times 10^{14}$  эВ [13, 14]. Однако область сверхвысоких энергий  $10^{15} - 10^{16}$  эВ (область “колена”) остается недоступна как для действующих, так и планируемых миссий. Область “колена” в энергетическом спектре КЛ является критической для изучения процессов их ускорения и распространения, поэтому необходим новый, “прорывной” эксперимент – Обсерватория Лучей Высоких Энергий (ОЛВЭ), основным требованием к которому является радикальное повышение его светосилы.

### 1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ОЛВЭ

1. Определение химического состава КЛ с элементарным разрешением зарядов области “колена Христиансена–Куликова” (энергия  $\sim 3 \times 10^{15}$  эВ).
2. Исследование обильных КЛ в области за “коленом”, вплоть до  $10^{16}$  эВ.
3. Прецизионное определение состава КЛ в диапазоне энергий  $10^{12} - 10^{15}$  (высокая статистика и разрешение энергии), в том числе для редких вторичных ядер.
4. Изучение анизотропии КЛ с превышением статистики более чем на два порядка.
5. Исследование электронного спектра в диапазоне энергий до десятков ТэВ.
5. Изучение ядер за пиком железа, включая сверхтяжелые экзотические ядра.
6. Измерение диффузного спектра гамма-излучения в широком диапазоне энергий с разрешением сверхвысокой энергии (до 0.1–0.2% при энергии вплоть до  $\sim 10$  ТэВ).
7. Поиск сильно взаимодействующей “странной” материи, либо поиск верхнего порога ее изобилия в Галактике.

### 2. ПРОЕКТНЫЙ ОБЛИК ОЛВЭ

Главный сдерживающий фактор по исследованию КЛ прямыми методами в высокой и сверх-

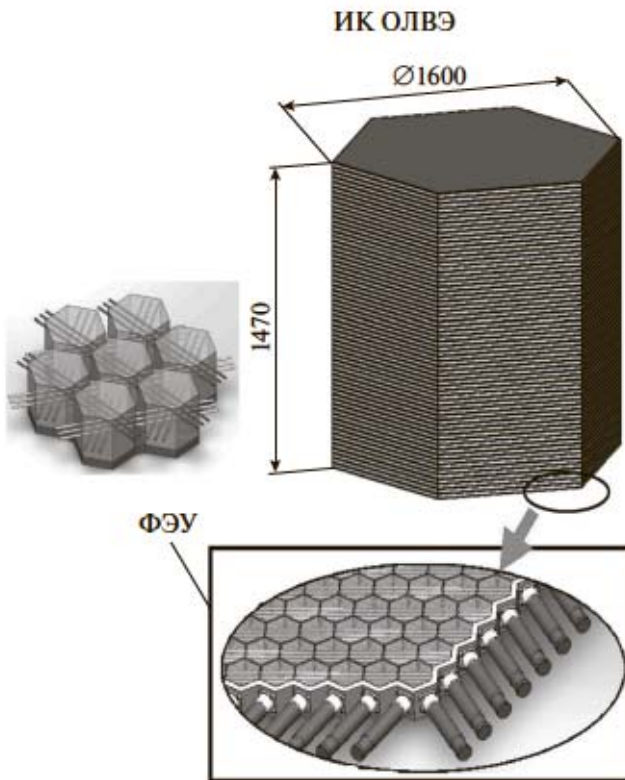


Рис. 1. Проектный облик ИК ОЛВЭ.

высокой области энергий определяется тем, что на сегодняшний день ионизационный калориметр (ИК) [15] остается единственной универсальной методикой для построения спектрометра энергий. Светосила и точность измерений ИК напрямую зависят от массы. Исходя из этого основным требованием в реализации ОЛВЭ служит использование предельно допустимой массы полезной нагрузки для существующих и проектируемых отечественных ракетносителей тяжелого класса – 12.5 т. После широкомасштабного моделирования для ИК ОЛВЭ массой 10 т. предлагается сцинтилляционно-вольфрамовый ИК 3D в виде призмы. Дополнительной функцией ИК служит использование всего объема сцинтилляторов (борированных) в качестве нейтронного детектора, что дает дополнительную возможность независимой регистрации энергии каскада и выделение каскадов от лептонной компоненты. Средняя энергетическая точность регистрации протонов при  $10^{15}$ – $10^{16}$  эВ не хуже 30%, для более низких энергий и ядер точность повышается в зависимости от типа ядра и энергетического диапазона. Для лептонной компоненты в области 0.1–10 ТэВ энергетическая точность лучше 1%. Угловое разрешение определяется по оси каскада в ИК и относительно невелико  $\sim 1^\circ$ . Поэтому ОЛВЭ не ставит перед собой задачи классического гамма-телеско-

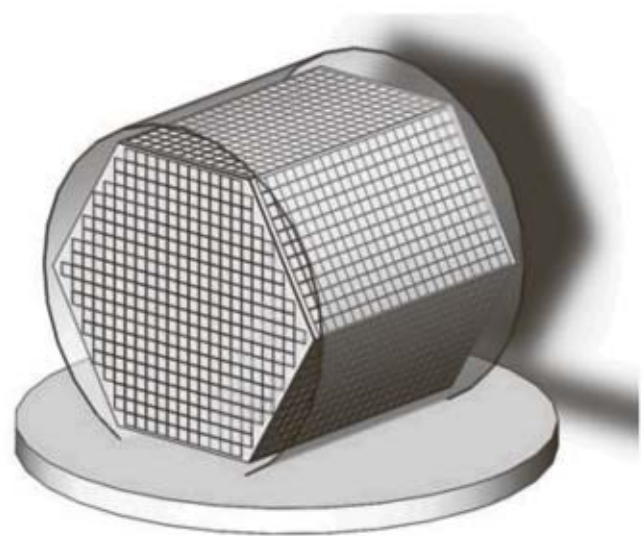


Рис. 2. Проектный облик зарядовой системы ОЛВЭ.

па, а будет нацелена на поиск линий в диффузном излучении.

ИК содержит 62 шестиугольных слоя, каждый из которых состоит из вольфрамового листа  $\sim 2$  мм и слоя сцинтиллятора из шестигранных призм высотой 2 мм диаметром 25 мм. Светосбор осуществляется по оптоволокну, проложенным в пазах призм в трех направлениях при углах  $0^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $120^\circ$ , и снимается ФЭУ, расположенными по краям плоскости (рис. 1). Вокруг ИК (рис. 2) размещена система измерения заряда, которая представляет собой четырехслойную кремниевую пядовую матрицу, аналогичную аппаратуре НУКЛОН [9]. Для повышения точности при сверхвысоких энергиях размер пада уменьшен до  $1 \text{ см}^2$ . Структура матрицы устойчива к воздействию обратного тока и дает разрешение не хуже 0.2 зарядовых единиц во всем диапазоне зарядов. Основные характеристики научной аппаратуры ОЛВЭ приведены в табл. 1.

### 3. ТЕКУЩИЙ СТАТУС

Проект ОЛВЭ поддержан Российской академией наук, Роскосмосом и включен в Федеральную космическую программу России. В 2018–2020 гг. проект находится на стадии НИР. С 2021 г. проект переходит в опытно-конструкторскую стадию развития. Планируемый запуск после 2025 г. не позднее 2030 г.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для продвижения на порядок по энергетической шкале в прямых исследованиях КЛ альтернатива ОЛВЭ в ближайшие десятилетия не планируется. При успешной реализации эксперимента объем информации будет превышать более

Таблица 1

Эффективный геометрический фактор	Протоны $\sim 12 \text{ м}^2 \text{ ср}$ ядра (в среднем) $\sim 16 \text{ м}^2 \text{ ср}$ $\gamma$ и $e^\pm \sim 20 \text{ м}^2 \text{ ср}$
Срок активного существования ОЛВЭ	>7 лет
Точность измерений энергии	Протоны <30% ядра $\sim 20\text{--}10\%$ $\gamma$ и $e^\pm$ <1%
Точность измерений заряда	$\sim 0.2 \text{ з.е.}$
Уровень режекции	Протоны к $\gamma$ и $e^\pm$ $10^5\text{--}10^6$ $\gamma$ к $e^\pm$ $> 10^3$
Общая масса ОЛВЭ	$\sim 12.5 \text{ т}$
Энергопотребление	<4.5 кВт
Габаритные размеры	В транспортном положении не выходят за габарит цилиндра $\varnothing 2.5 \text{ м}$ и $h = 2.5 \text{ м}$

чем на два порядка банк данных, собранный за почти 60 лет исследований в данной области естествознания, причем с радикально качественно улучшенными характеристиками, в первую очередь в части статистической обеспеченности экспериментального материала. Впервые в прямых измерениях КЛ с полным разрешением частиц по заряду будет исследована область энергий  $10^{15}\text{--}10^{16}$  эВ. Именно в этой области можно ожидать наиболее интересных открытий, несущих в себе информацию о наиболее катастрофических процессах в Галактике.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ahn H.S., Seo E.S., Ganel O. et al. // Adv. Space Res. 2006. V. 37. P. 1950.*
2. *Panov A.D., Adams J.H., Ahn H.S. et al. // Adv. Space Res. 2006. V. 37. P. 1944.*
3. *Yoon Y.S., Ahn H.S., Allison P.S. et al. // Astrophys. J. 2011. V. 728. P. 122.*
4. *Ahn H.S., Allison P.S., Bagliesi M.G. et al. // Astrophys. J. 2009. V. 707. P. 593.*
5. *Obermeier A., Ave M., Boyle P. et al. // Astrophys. J. 2011. V. 742. P. 14.*
6. *Aguilar M., Aisa D., Alpat B. et al. // Phys. Rev. Lett. 2015. V. 115. Art. no. 211101.*
7. *Aguilar M., Aisa D., Alpat B. et al. // Phys. Rev. Lett. 2015. V. 114. Art. no. 171103.*
8. *Ivanenko I.P., Shestoporov V.Ya., Chikova L.O. et al. // Proc. 23rd ICRC (Calgary, Canada). 1993. V. 2. P. 17.*
9. *Atkin E., Bulatov V., Dorokhov V. et al. // Nucl. Instr. Meth. Sec. A. 2015. V. 770. P. 189.*
10. *Brogi P., Marrocchesi P., Maestro P., Mori N. // Proc. 34th ICRC. 2015. Hague, Netherlands. PoS ICRC. 2016. P. 595.*
11. *Wu X., Ambrosi G., Asfandiyarov R. et al. // Proc. 34th ICRC. 2015. Hague, Netherlands. PoS ICRC. 2016. P. 1192.*
12. *Seo E.S. et al. // Adv. Space Res. 2014. V. 53. № 10. P. 1451.*
13. *Atkin E., Bulatov V., Dorokhov V. et al. // Astropart. Phys. 2017. V. 90. P. 69.*
14. *Atkin E., Bulatov V., Dorokhov V. et al. // JCAP. 2017. № 7. P. 20.*
15. *Григоров Н.Л., Мурзин В.С., Панопорт И.Д. // ЖЭТФ. 1958. Т. 34. С. 506.*