

УДК 537.591.15

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В АНТАРКТИДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИВЯЗНЫХ АЭРОСТАТОВ

Р. А. Антонов¹, С. И. Никольский, М. И. Панасюк¹, Т. И. Сысоева, С. П. Черников

Излагается программа исследований по фундаментальной физике, планируемая на ближайшие антарктические экспедиции; представлены характеристики воздухоплавательных средств, обеспечивающих проведение физических исследований; изложена суть нового метода изучения космических частиц предельно высоких энергий, заключающегося в регистрации световых пятен-вспышек, образуемых на снежной поверхности потоком черенковского света, который генерируется электронами ШАЛ космического излучения.

Уникальные природно-климатические условия Антарктиды дают возможность эффективного проведения ряда научных экспериментов. В данной работе представлены исследования, планируемые в 47 и 48 антарктических экспедициях по фундаментальной физике в 2002 году на станции Новолазаревская. Утверждена программа исследований на 2002 – 2003 годы, состоящая из четырех основных направлений.

1. Изучение космических лучей предельно высоких энергий (свыше 10^{20} эВ). Поток таких частиц очень мал. Планируется использовать новый, оригинальный метод, основанный на идее, выдвинутой академиком А. Е. Чудаковым – регистрировать с большой высоты в ночное время световые пятна-вспышки, образуемые на покрытой снегом поверхности Земли потоком черенковского света, который генерируется электронами широких атмосферных ливней космического излучения.

¹НИИЯФ МГУ.

2. Исследование спектров нейтронов от солнечных космических лучей спектрометром ГРАНАТ, позволяющим одновременно определять:

энергетический спектр нейтронов с энергией $0.8 - 50 \text{ МэВ}$;

энергетический спектр гамма-квантов с энергией $0.02 - 20 \text{ МэВ}$;

интегральный поток заряженных частиц (в том числе и протонов с энергией больше 10 МэВ).

Прототип такого прибора ГРАНАТ-С работал на орбитальной станции "Мир".

3. Определение опасности радиационного поражения экипажей и пассажиров, высотных самолетов.

Работы, перечисленные в п.п. 2 и 3, проводятся в основном в период полярного дня.

4. Исследование процессов в озоновом слое атмосферы Земли.

Работы проводятся круглогодично.

Для подъема научной аппаратуры в Антарктиде на первом этапе работ будут использоваться привязные аэростаты (ПА) двух типов. Привязной аэростатный комплекс ПАК-60, предназначен для подъема небольших грузов. Он включает в себя пленочный аэростат объемом около 60 м^3 , стальной привязной трос диаметром 1.6 мм и ручную лебедку для подъема – спуска аэростата и корректирования высоты наблюдений. Масса аэростата – 18 кг , погонная масса троса – 12.3 г/м , длина троса – 1200 м . Аэростат позволяет обеспечить подъем полезного груза массой до $15 - 20 \text{ кг}$ на максимальную высоту 1 км .

Возможна длительная (в течение нескольких суток) стоянка аэростата на любой промежуточной высоте.

Подъем контейнера с научной аппаратурой массой $80 - 90 \text{ кг}$ предполагается осуществлять на специально разрабатываемом аэростате с объемом оболочки $250 - 300 \text{ м}^3$. В качестве привязного троса будет использован синтетический канат, имеющий длину 1500 м и погонную массу 10 г/м . Создаваемый аэростат обеспечит возможность подъема груза $80 - 90 \text{ кг}$ на рабочую высоту $1 - 1.2 \text{ км}$ и будет качественно отличаться от существующих в настоящее время. При его разработке использованы новые конструктивные решения, позволяющие значительно улучшить аэродинамические характеристики аэростата и устойчивость работы на заданной высоте. Для изготовления оболочки ПА применяются новые материалы, благодаря которым появилась возможность существенно упростить технологию сборки и повысить качество изготовления аэростата, а следовательно, и его надежность.

Подъем и спуск привязных аэростатов может осуществляться при скорости ветра у поверхности земли до 10 м/с; допустимая скорость ветра на рабочей высоте – не менее 20 м/с.

Одним из экспериментов 48-й антарктической экспедиции на станции Новолазаревская планируется изучение первичного космического излучения предельно высоких энергий с использованием нового, ранее в мировой практике не применявшегося, метода, предложенного академиком А. Е. Чудаковым [1]. В условиях Антарктиды этот метод может оказаться особенно эффективным.

Основные сведения об энергетическом спектре и ядерном составе космических лучей в области энергий свыше $10^{15} - 10^{16}$ эВ получаются путем регистрации широких атмосферных ливней (ШАЛ), образующихся в результате взаимодействия первичных частиц с ядрами атомов воздуха. Одним из калориметрических методов определения энергии первичной частицы является измерение интенсивности черенковского света, генерируемого частицами ШАЛ в атмосфере. Полный поток черенковского света ШАЛ дает сведения о суммарной энергии, растроченной потоком электронов на ионизацию атмосферы, составляющей значительную и вполне определенную долю энергии первичных протонов и ядер космического излучения, а регистрация формы пространственного распределения черенковского света дает сведения о глубине максимума развития ШАЛ в атмосфере.

В предлагаемом варианте эксперимент выглядит следующим образом. Компактная установка поднимается в ночное время на большую высоту над покрытой снегом поверхностью Земли и регистрирует освещенность черенковским светом заснеженной поверхности. Величина обозреваемой площади зависит от высоты подъема установки и может достигать 1000 км^2 при высоте подъема 30 – 40 км. Этот фактор является существенным ввиду малости потока регистрируемых частиц. Первые измерения с использованием подобной методики были проведены на Тянь-Шаньской высокогорной станции ФИАН, Тянь-Шаньской обсерватории ГАИШ [2] и на Вольской экспедиционной базе ФИАН [3] (эксперимент СФЕРА).

Основные трудности при проведении измерений черенковского света ШАЛ связаны с требованиями высокой прозрачности атмосферы и отсутствием облачности. Антарктида является идеальным местом для проведения подобных измерений. Длительный период полярной ночи, полное отсутствие загрязненности атмосферы аэрозолями, большие площади, покрытые снегом, весьма ограниченная облачность в зимний период, приемлемые ветровые и температурные условия в районе Российской станции Новолазарев-

ская. Учитывая это, ФИАН совместно с НИИЯФ МГУ планирует проведение подобных измерений на станции Новолазаревская, начиная с 48-й Российской Антарктической Экспедиции (РАЭ).

Имеющиеся в рассматриваемой области экспериментальные данные об энергетическом спектре получены в предположении, что характер взаимодействия частиц в области ультравысоких и предельно высоких энергий не отличается существенным образом от изученного в экспериментах на ускорителях. К тому же, в больших наземных установках ШАЛ расстояния между пунктами регистрации вынужденно делаются большими, так что центральная часть ливней не регистрируется. На Тянь-Шаньской установке, которая могла хорошо регистрировать плотность потока ливневых частиц вблизи оси, получены данные, свидетельствующие о том, что значительная доля ливней имеет очень узкое пространственное распределение ("молодые ливни", обусловленные прохождением первичных протонов в глубину атмосферы). На основе этих данных был получен спектр числа электронов с изломом в области энергий $\sim 10^{17}$ эВ [4]. Измеряемый наземными установками спектр может быть искажен, например, если в значительной доле взаимодействий, начиная с какой-то высокой энергии, существенно увеличивается множественность рождения адронов. В планируемой начальной серии измерений установка будет подниматься с помощью привязного аэростата на высоту 0.5 – 1.2 км. Величина энергетического порога в случае использования создаваемой в настоящее время установки СФЕРА-2 составит $\sim 10^{15}$ эВ при высоте подъема 0.5 км и $\sim 10^{16}$ эВ – при высоте 3 км. Число событий, которое может быть зарегистрировано за время 20-ти суточной экспозиции (500 часов), приведено в таблице.

$E, \text{эВ}$	10^{15}	10^{16}	10^{17}	10^{18}
$N(> E), \text{ при } H = 0.5 \text{ км}$	10^5	$2 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^2$	2
$N(> E), \text{ при } H = 1 \text{ км}$	$4 \cdot 10^6$	$8 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^2$	8
$N(> E), \text{ при } H = 3 \text{ км}$	–	$8 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^3$	80

В первых экспериментах особое внимание будет уделено изучению распределения черенковского света на разных расстояниях от оси ливня, а также изучению ливней, приходящих под различными зенитными углами и проходящих через различную толщину атмосферы. В этой серии измерений могут быть получены данные в области энергий космического излучения $10^{15} - 10^{18}$ эВ. В планируемом эксперименте при подъеме установки СФЕРА-2 на один километр величина поверхности, чувствительной к

регистрации черенковского света, составит 1 км^2 при разрешении освещенности снежной поверхности $100 \times 100 \text{ м}^2$ и, соответственно, ~ 100 разрешаемых участков освещенной поверхности. Такая установка может измерять пространственное распределение черенковского света в индивидуальных ливнях в широком интервале расстояний от оси ливня. Ранее подобных измерений в мировой практике не проводилось.

Данная работа поддержана грантом РФФИ 01-02-16080.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Чудakov А. Е. Экспериментальные методы исследования космических лучей сверхвысоких энергий. Материалы Всесоюзного симпозиума – Якутск, 1972, с. 69.
- [2] Антонов Р. А., Петрова Е. А., Федоров А. Н. Вестник МГУ, сер. 3, физика, астрономия, **36**, N 4, 102 (1955).
- [3] Antonov R. A., Chernov D. V., Korosteleva E. E., et al. Proc. 27th ICRC, Hamburg, **1**, 59 (2001).
- [4] Вильданова Л. И., Дятлов П. А., Нестерова Н. М. и др. Известия РАН, сер. Физ., **58**, N 12, 79 (1994).

Поступила в редакцию 17 января 2002 г.