

## «Ресурс-П» №2: не уступая зарубежным аналогам

**26** декабря в 21:55:50.141 ДМВ (18:55:50 UTC) с пусковой установки №6 площадки 31 космодрома Байконур стартовые расчеты предприятий Роскосмоса осуществили пуск РН «Союз-2.1Б» (14А14-1Б №Л15000-009) с космическим аппаратом дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) «Ресурс-П» (47КС) №2.

Выведение прошло успешно. В 22:05 ДМВ спутник был отделен на целевой околополярной орбите с параметрами:

- наклонение – 97,28°;
- высота в перигее – 195,3 км;
- высота в апогее – 478,7 км;
- период обращения – 90,99 мин.

В каталоге Стратегического командования США «Ресурс-П» №2 получил номер 40360 и международное обозначение 2014-087A.

В соответствии с программой полета 29 и 31 декабря на 37-м и 69-м витках соответственно были проведены коррекции с целью перевода КА на рабочую орбиту. Первый маневр был начат 29 декабря в 05:13:13. Бортовая двигательная установка КА выдала за 99,8 сек приращение скорости 49,1 м/с, в результате чего спутник перешел на орбиту высотой 344,9×499,4 км. Второй импульс был выдан 31 декабря в 06:54:37 за 74,1 сек. Спутник получил приращение скорости 37,1 м/с и оказался на рабочей солнечно-синхронной орбите с параметрами:

- наклонение – 97,29°;
- высота в перигее – 466,3 км;
- высота в апогее – 500,4 км;
- период обращения – 93,99 мин;
- местное время прохождения нисходящего узла – 11:50.

С 4 января 2015 г. началось тестирование целевой аппаратуры нового КА. 5 января были получены первые снимки высокодетальной аппаратуры «Геотон-Л» в панхроматическом и мультиспектральном режимах, а также широкозахватной аппаратуры высокого разрешения. Состоялось включение научной аппаратуры «Нуклон», и первые измерения были переданы заказчику – НИИ ядерной физики МГУ. Специалисты протестировали также бортовой радиокомплекс аппаратуры идентификации судов (БРКАИС) разработки ОАО «Российские космические системы».

Летно-конструкторские испытания КА «Ресурс-П» №2 продолжатся до апреля 2015 г.

### Оперативное высокодетальное наблюдение в интересах развития

Космический аппарат «Ресурс-П» №2 входит в состав оперативного космического комплекса высокодетального широкополосного гиперспектрального оптико-электронного наблюдения земной поверхности, создаваемого ОАО «Ракетно-космический центр «Прогресс» по заказу Роскосмоса в рамках Федеральной космической программы.

Комплекс предназначен для получения высокоинформативных изображений земной поверхности в различных диапазонах спектра электромагнитного излучения в масштабе времени, близком к реальному, и оперативной передачи полученных данных по радиоканалу на наземный комплекс планирования, приема, обработки и распространения информации для решения широкого спектра целевых задач в интересах заказчиков (Минприроды России, МЧС России, Россельхоза, Росрыболовства, Росгидромета и др.).

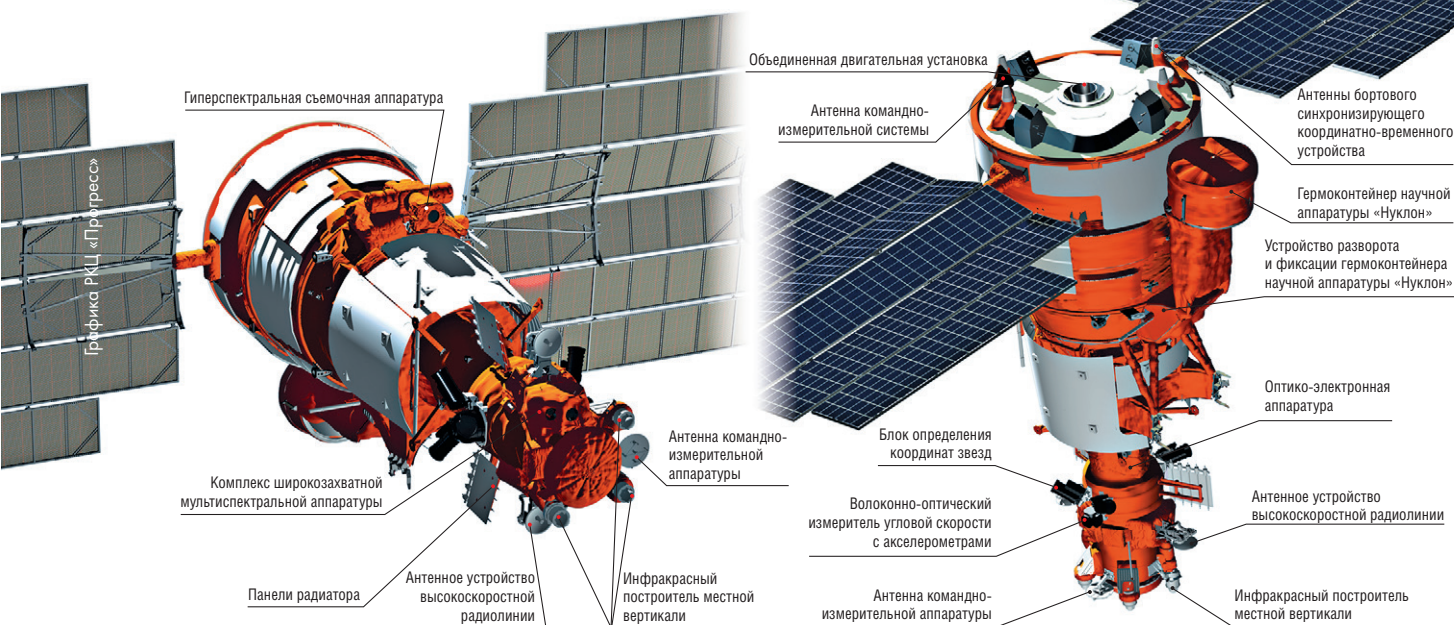
Аппараты «Ресурс-П» являются продолжением развития отечественных средств дистанционного зондирования высокого разрешения, используемых в интересах социально-экономического развития России, и должны прийти на смену КА «Ресурс-ДК».

При формировании облика космического комплекса «Ресурс-П» использовались эффективные технические решения, наработанные при создании «Ресурса-ДК» №1. Вместе с тем «Ресурс-П» по целому ряду характеристик превосходит своего предшественника.

«Ресурс-П» №1, запущенный 25 июня 2013 г., к концу декабря 2014 г. обеспечил съемку порядка 34 млн км<sup>2</sup> поверхности Земли в панхроматическом режиме. Аппарат активно эксплуатируется: 18 различных российских ведомств используют данные, получаемые со спутника.

За время полета «Ресурс-П» №1 дважды проводил коррекции орбиты, чтобы компенсировать ее «проседание» из-за торможения в верхних слоях атмосферы. Первая коррекция состоялась 21 апреля, а вторая – 21 декабря 2014 г. Запущенный сразу после этого «Ресурс-П» №2 переведен на рабочую орбиту с такой же высотой и периодом обращения, как у предшественника. Взаимное положение плоскостей орбит и двух аппаратов на орбитах подобраны так, что второй «Ресурс-П» идет с отставанием на полвитка, а его витки в проекции на земную поверхность ложатся посередине между витками первого. Таким образом, 31 декабря 2014 г. была успешно сформирована система из двух КА, работающих по единой программе.

Космическая система «Ресурс-П» при функционировании двух КА в высокодетальном режиме сможет обеспечивать среднюю производительность съемки:



◆ при одном пункте приема информации (г. Москва) – 160 тыс км<sup>2</sup> в сутки;

◆ при двух территориально разнесенных пунктах приема информации – 320 тыс км<sup>2</sup> в сутки.

Периодичность наблюдения любого района двумя КА «Ресурс-П» составит не более двух суток.

Управление аппаратами «Ресурс-П» осуществляет ЦУП ЦНИИмаш. Оператор космического комплекса – Научный центр оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ) ОАО «Российские космические системы».

Запуск следующего спутника в орбитальной группировке оптико-электронных аппаратов ДЗЗ – КА «Ресурс-П» № 3 – запланирован на 2015 г.

Необходимость создания новой гражданской системы ДЗЗ с оперативной доставкой информации была очевидна уже во время запусков спутников «Монитор-Э» (НК № 10, 2005) и «Ресурс-ДК» № 1 (НК № 8, 2006). Первоначальная концепция многоцелевого спутника прорабатывалась РНИИ КП в качестве головной организации и ГКНПЦ имени М. В. Хруничева и «ЦСКБ-Прогресс» как подрядчиками. В феврале 2007 г. на ее базе Роскосмос объявил конкурс на эскизный проект космического комплекса с КА «Ресурс-П». Однако он был признан несостоявшимся, так как в оговоренную сумму 1100 млн руб не уложился ни один из претендентов (НПО имени С. А. Лавочкина и РНИИ КП).

Как следствие, концепция была пересмотрена с сокращением состава целевой аппаратуры и приближением характеристик к уже работающему «Ресурс-ДК». В мае 2007 г. новый конкурс на эскизное проектирование системы высокодетального, детального широкополосного и гиперспектрального оптико-электронного наблюдения земной поверхности с бюджетом 1503 млн руб выиграло самарское «ЦСКБ-Прогресс» (ныне РКЦ «Прогресс»).

Этап изготовления первого КА был профинансирован по итогам тендера, объявленного в феврале 2009 г. с бюджетом 2338 млн руб. В ноябре 2010 г. состоялся конкурс по изготовлению второго спутника системы с бюджетом 4728.2 млн руб, а в мае 2012 г. – третьего КА с бюджетом 3446.2 млн руб. Победителем этих конкурсов также стало «ЦСКБ-Прогресс».

### Винючник торжества «Ресурс-П» №2

Новый спутник выполнен на той же платформе, что и его предшественник, созданный на основе «Ресурса-ДК», но имеет больший расчетный срок активного существования (пять лет вместо трех). Компоновка КА – «вертикальная» (оптическая ось параллельна продольной оси аппарата и направлена в надир); в верхней части находится ОДУ на ЖРД с вытеснительной подачей компонентов из сферических топливных баков при помощи сжатого газа, в нижней – комплекс целевой аппаратуры, построители местной вертикали и антенны командно-измерительной системы и высокоскоростной радиодлинии. Система электропитания оснащена двумя разворачиваемыми ориентируемыми СБ и буферными аккумуляторными батареями.

Максимальная длина КА – 7930 мм, максимальный диаметр корпуса – 2720 мм, размах панелей СБ – 5003 мм, их ширина – 4500 мм. Массы новых «Ресурсов» близки к массе «Ресурса-ДК» и зависят главным образом от количества дополнительных полезных нагрузок. Минимальная масса оказалась у «Ресурса-П» № 1 – 5691 кг. «Ресурс-П» № 2 значительно тяжелее – 6392 кг, в то время как масса «Ресурса-ДК» составляла 6670 кг.

Набор целевой аппаратуры «Ресурса-П» № 2 практически полностью идентичен установленному на первом аппарате серии.

Аппаратура высокого разрешения «Геотон-Л» разработки Красногорского завода имени С. А. Зверева позволяет проводить панхроматическую съемку земной поверхности с разрешением не хуже 1 м, а также делать спектрозональные снимки разрешением от 2 м до 3 м с высоты 475 км.

Максимальная протяженность территории земной поверхности, снятая за одно включение, может достигать 2000 км, а ширина снимаемой полосы составляет 38 км. По этому показателю «Ресурс-П» оставался лидером в классе гражданских спутников высокодетального наблюдения вплоть до запуска в августе 2004 г. китайского КА «Гаофэн-2», который обладает таким же пространственным разрешением при полосе шириной 45 км.

«Геотон-Л» оснащен широкопольным линзовым объективом Лыткаринского завода оптического стекла типа «Актиний-4А» с некоторыми доработками и обеспечивает формирование изображения в плоскости чувствительных элементов матрицы. Фокусное расстояние оптической системы – 4000 мм, диаметр входного зрачка – 500 мм, относительное отверстие 1:8, угол поля зрения – 5°12'.

ОЭП панхроматического канала используют фоточувствительные элементы размером 6х6 мм, мультиспектральных каналов – 18х18 мкм. Теоретическое разрешение (проекция пикселя) «Геотона-Л» с фокусным расстоянием 4000 мм при съемке с высоты 475 км составляет 0.71 м в панхроматическом канале и 2.1 м в мультиспектральных.

Система приема и преобразования информации (СППИ) «Сангур-1У» разработки НПП ОПТЭК (филиал РКЦ «Прогресс») осуществляет преобразование непрерывно движущегося изображения видимого диапазона, сформированного оптико-электронным комплексом, в цифровой электрический сигнал, обработку, сжатие и выдачу его в бортовую аппаратуру высокоскоростной радиодлинии. Быстродействие электроники СППИ рассчитано на работу спутника без тангажного замедления.

В состав СППИ входят три оптико-электронных преобразователя (ОЭП: панхроматический и два мультиспектральных), блок управления и источники вторичного питания для блоков ОЭП. Функции ОЭП включают пре-



Фото С. Сергеева

образование изображения в электрический сигнал, его усиление, аналого-цифровое преобразование (10 бит), сжатие и упаковку для передачи в бортовое запоминающее устройство через высокоскоростной интерфейс. Предусматривается возможность использования двух алгоритмов сжатия: адаптивной дифференциальной импульсно-кодовой модуляции ДИКМ и JPEG2000.

Наряду с ОЭА «Геотон-Л1» высокого разрешения, в состав целевой нагрузки введено съемочное оборудование еще двух типов:

Основные характеристики аппарата «Ресурс-П»	
Параметр	Значение
Масса	Около 5900 кг
Срок активного существования	5–7 лет
Ширина полосы захвата в надире	38 км
Ширина полосы обзора в надире	950 км
Периодичность наблюдения	3 сут
Максимальная длительность участка съемки	300 сек
<i>Пространственное разрешение при съемке в надире:</i>	
в панхроматическом диапазоне (проекция пикселя)	0.7–1.0 м
в узких спектральных диапазонах	2.0–3.0 м
Количество спектральных диапазонов	8
Спектральные диапазоны:	
панхроматический	0.58–0.80 мкм
узкие спектральные диапазоны	0.45–0.52; 0.52–0.60; 0.61–0.68; 0.67–0.70; 0.70–0.73; 0.72–0.80; 0.80–0.90 мкм
Средняя производительность в высокодетальном режиме съемки в панхроматическом диапазоне	0.08 млн км <sup>2</sup> в сутки
Оперативность передачи информации на пункт приема	От реального масштаба времени до 12 часов
Точность координатной привязки	5–15 м
Съемка площадок	Размером до 100×300 км
Стереосъемка маршрутов	Размером 115 км
<i>Гиперспектральная съемка:</i>	
спектральный диапазон	0.4–1.1 мкм
количество спектральных интервалов	96–255
разрешение на местности	25–30 м
ширина полосы захвата	25 км
ширина полосы обзора	950 км
<i>Широкозахватная мультиспектральная съемка (высокого/среднего разрешения):</i>	
Количество спектральных интервалов	5
Панхроматический спектральный диапазон	0.43–0.70 мкм
Узкие спектральные диапазоны	0.43–0.51; 0.51–0.58; 0.60–0.70; 0.70–0.80; 0.80–0.90 мкм
Разрешение на местности	12/60 м (панхроматический режим), 24/120 м (мультиспектральный режим)
Ширина полосы захвата	97/441 км
Ширина полосы обзора	1300 км



комплекс широкозахватной мультиспектральной аппаратуры (КШМСА) и гиперспектральной съемочной аппаратуры (ГСА) разработки Красногорского завода.

Комплекс широкозахватной мультиспектральной съемочной аппаратуры имеет две камеры – высокого и среднего разрешения. Ширина снимаемого участка Земли составляет:

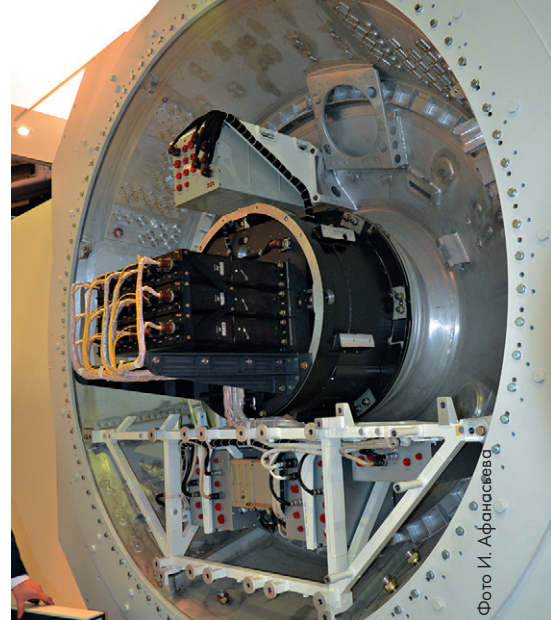
- ◆ для камеры ШМСА-ВР с разрешением 12 м – 97 км;
- ◆ для камеры КШМСА-СР с разрешением порядка 60 м – 441 км.

Инициатива создания КШМСА принадлежала РКЦ «Прогресс» с филиалом НПП ОПТЭК, и сегодня можно утверждать, что она оказалась оправданной. По результатам эксплуатации «Ресурса-П» №1 получены хорошие отзывы от эксплуатирующей организации о востребованности информации, в особенности с КШМСА высокого разрешения.

Характеристики камер определяются используемыми линейными фотоприемниками ПЗС с длиной строки 8160 и 4080 пикселей и специально разработанными Лыткаринским заводом оптического стекла телецентрическими объективами двух типов с различными фокусными расстояниями (200 и 40 мм). Каждая камера обеспечивает съемку в панхроматическом и пяти узких диапазонах.

Впервые в России на борту КА «Ресурс-П» №1 и №2 установлена гиперспектральная съемочная аппаратура ГСА. Ее особенность состоит в возможности одновременной съемки одного и того же участка земной поверхности в большом количестве узких спектральных диапазонов, охватывающих видимую и ближнюю часть инфракрасного спектра – от 0.4 до 1.1 мкм. ГСА имеет 96 спектральных каналов при спектральном разрешении от 5 до 10 нм. Ширина полосы захвата (в надире) – 25 км, пространственное разрешение (в надире) – 25 м, отношение сигнал/шум при значении сигнала, близком к сигналу насыщения, не менее 200, разрядность представления информации – 14 бит.

Аппаратура строится на базе светосильного зеркального объектива, диспергирующей системы и высокоскоростных фотоприемных матриц. Аппаратура управления ГСА и фотоприемные устройства созданы в



▲ Фотоприемная аппаратура «Геотона-Л1»

НПП ОПТЭК, фотоприемные кадровые ПЗС «Кадр-РП» разработаны в НПП ЭЛАР специально для «Ресурса-П».

В результате гиперспектральной съемки формируется многомерное пространственно-спектральное изображение, в котором каждый элементарный участок изображения (пиксел) характеризуется собственным спектром. Такое изображение называют «кубом» информации: два измерения характеризуют пространственное положение точек местности на плоскости, а третье – их спектральные свойства.

Получение гиперспектральных данных открывает совершенно новые возможности для решения задач в разных областях хозяйственной деятельности, в особенности для мониторинга природной среды и сельскохозяйственных угодий, экологического контроля, ресурсно-сырьевого картографирования.

### Настоящее и будущее орбитального комплекса

По утверждению генерального директора Ракетно-космического центра «Прогресс» А. Н. Кирилина, «Ресурс-П» «не уступает по качеству информации, получаемой с высокодетальной аппаратуры, американским или французским аналогам – Ikonos 2 (США) и Pleiades (Франция). Сравнительная оценка панхроматических снимков, полученных с этих аппаратов, подтверждает отсутствие существенных различий в их изобразительных и информативных свойствах».

В то же время КА «Ресурс-П» имеет ряд преимуществ. Одно из них – возможность комплексного наблюдения поверхности Земли за счет установки на борту нескольких видов оптико-электронной аппаратуры и их одновременной работы. Применение технологий комплексирования позволяет получить изображение земной поверхности, сочетающее все уникальные свойства, присущие снимкам различных видов установленной на КА аппаратуры. Можно сказать, «Ресурс-П» фактически сочетает в себе функции четырех разных спутников.

Эффективность использования аппарата увеличивается за счет разнообразных режимов съемки. «Ресурс-П» может вести съемку точечных объектов и маршрутов протяженностью до 2000 км, снимать на одном витке площади размером до 100×300 км, вести сте-

реосъемку (в том числе на одном витке), может снимать сложные маршруты, например изломанную береговую линию.

Космическая система, состоящая из двух аппаратов, позволит решать задачи, недоступные одиночному объекту. Во-первых, объем информации, получаемой из космоса, возрастет соответственно в два раза. Во-вторых, повысится оперативность съемки.

«При работе на орбите одного аппарата «Ресурс-П» снять, например, Москву или любой другой город получится один раз в три дня, – поясняет А. Н. Кирилин. – И это не значит, что Москву можно снять при нулевом положении КА по углу крена, то есть с лучшим разрешением и наименьшими геометрическими искажениями снимка».

В большинстве случаев съемку приходится вести с отворотом по крену. «Ресурс-П» может вести съемку вплоть до разворота по крену на 45°. Этим углом определяется полосу возможного обзора, в которой может идти съемка. Из-за увеличения дальности до снимаемого объекта при приближении к границе полосы обзора разрешение на снимке будет хуже, чем если бы съемка велась прямо под собой, в надире. То есть при работе одного аппарата страдает не только периодичность наблюдения, но и качество съемки.

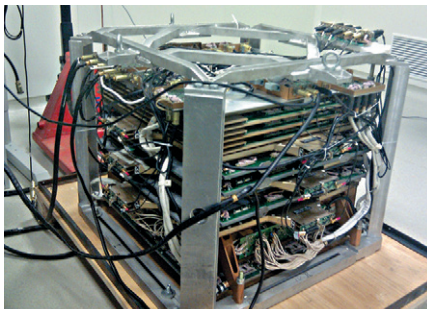
При работе космической системы в составе двух-трех КА частота съемки определенного места на земной поверхности соответственно увеличивается, и любой объект на земной поверхности может сниматься каждый день. Но и при таком числе аппаратов не удастся избежать отклонений по углу крена. Поэтому желание иметь больше спутников на орбите совершенно оправданно: ведь с увеличением размерности группировки КА можно с большей эффективностью решать задачи потребителей.

«Если говорить о предельном сочетании характеристик при решении задач ДЗЗ, то сейчас в мире некоторые разработчики провозглашают лозунг: одна Земля – одни сутки – один метр! Пожалуй, это задача на ближайшее будущее», – полагает А. Н. Кирилин.

Не забывают разработчики аппарата и о необходимости обеспечения оперативности доведения информации до потребителей: заложена техническая возможность обслуживать каждым КА до 20 пунктов приема. С увеличением количества аппаратов нагрузка на НЦ ОМЗ, оператора самарских спутников, существенно возрастет. На территории России в рамках работ по созданию Единой территориально-распределенной системы оснащаются пункты приема информации из космоса, в том числе в Москве, Новосибирске, Красноярске и Хабаровске.

### На службе науке

Попутная научная аппаратура «Нуклон», разработанная и созданная в НИИЯФ МГУ в кооперации с российскими организациями, предназначена для исследования нашей Галактики, ее объектов, поисков странной и темной материи путем регистрации и изучения галактических космических лучей. Они представляют собой интенсивный поток адронной компоненты (от протонов до самых тяжелых ядер по таблице Менделеева), а также меньший по интенсивности поток электронов и позитронов.



▲ Детектор «Нуклон»

Зная основные характеристики галактических космических лучей – распределение частиц по типам и энергиям (энергетические спектры) – и учитывая астрономические данные в разных диапазонах и современные представления о свойствах элементарных частиц, можно построить модель нашей Галактики для изучения ее объектов, в частности нейтронных звезд и сверхновых. С помощью этой модели осуществляется и целенаправленный поиск антиматерии, странной и темной материи.

Точные характеристики галактических космических лучей можно получить только над атмосферой Земли, именно поэтому эксперимент «Нуклон» ставят на орбите. Аппаратура «Нуклон» устанавливается на борту «Ресурса-П» №2 в виде моноблока на штанге. Потребляемая мощность прибора – 160 Вт. Телеметрия – не менее 10 Гбайт в сутки.

Чтобы научную аппаратуру установили на спутник, ученым нужно было вписать ее в жесткие требования по массе – не более 300 кг (360 кг с гермоконтейнером) – и при этом сохранить чувствительность к частицам высоких энергий. Но для их регистрации требуется очень тяжелый прибор – ионизационный калориметр. Изобретенный в НИИЯФ МГУ в 1950-х годах, до недавнего времени этот прибор являлся единственным недорогим и надежным спектрометром энергии первичной частицы за пределами атмосферы, правда, с существенным недостатком – потребностью большого количества плотного вещества.

Разработчики эксперимента «Нуклон», ученые НИИЯФ МГУ, смогли решить эту проблему, сочетая очень тонкий ионизационный калориметр (микроккалориметр) с кинематическим методом KLEM (Kinematic Lightweight Energy Meter). Суть метода: частица, входя в плотное вещество, дает каскад вторичных частиц, и по их среднему углу разлета определяется энергия первичной частицы. Это позволит обнаруживать частицы с энергиями от 100 ГэВ до 1 ПэВ.

В состав научной аппаратуры «Нуклон» входят четыре основные системы:

- ◆ система измерения заряда первичной частицы (или фиксации его отсутствия) – четыре слоя падовых кремниевых детекторов;
- ◆ спектрометр KLEM – графитовая мишень и шесть тонких (~2 мм) слоев вольфрама, над каждым из которых расположен слой микростриповых (шаг стрипа ~0.5 мм) кремниевых детекторов;
- ◆ сцинтилляционная система быстрого триггера, предназначенная для выделения «интересного» события из фона, – шесть слоев сцинтилляторов;

### Странная материя

Обычная материя, из которой состоят звезды, планеты и люди, имеет строгую субатомную конфигурацию. Протоны и нейтроны, составляющие ядра атомов, включают в себя по три кварка разных «ароматов»: два верхних u-кварка и один нижний d-кварк в случае протона и два нижних и один верхний в случае нейтрона.

Тем не менее теория допускает, что некоторые частицы материи могут состоять и из кварков других ароматов. Еще в 1970-х годах ученые предположили, что во Вселенной существуют частицы гипотетической странной материи, и состоящие из нее объекты назвали «странными каплями», или стрпельками.

В ядрах атомов странной материи должно быть примерно равное число верхних, нижних и странных ароматов. Хотя обычно странные частицы с участием s-кварка быстро распадаются, ядро большой массы с s-кварками может оказаться стабильным. Согласно гипотезе, странная материя должна быть массивнее обычной. Кроме того, встретив обычную материю, она может конвертировать ее в странную.

Настоящей странной материи пока никто не видел. Однако, как дали понять представители CERN'a в апреле 2014 г., ученые уже смогли получить в лабораторном эксперименте элементарную частицу, состоящую из четырех кварков.

◆ вольфрамово-кремниевый микрокалориметр, предназначенный для полетной калибровки спектрометра KLEM и выделения электромагнитной компоненты (высокоэнергичных фотонов и электронов) из состава космических лучей – шесть 8-миллиметровых слоев вольфрама, над каждым из которых расположен слой микростриповых (шаг стрипа – 1.0 мм) кремниевых детекторов.

Несмотря на скромные габариты, массу и энергопотребление, эксперимент «Нуклон» увеличит общемировую статистику, собранную за предыдущие 50 лет исследований, как минимум в два раза. При этом речь идет о качественно новом материале: впервые будет исследован беспрецедентно широкий энергетический диапазон космических лучей в четыре порядка по единой методике в ходе долговременного, не менее пяти лет, орбитального эксперимента.

Подготовлено с использованием материалов ОАО РКЦ «Прогресс» и НИИЯФ МГУ



Фото С. Кузьмина