

ПРИРОДА

№ 12 - 1999 г.

Ю. В. Галактионов, С. Тинг, Н. А. Черноплеков

Поиски антивещества в космосе: эксперимент АМС

© Природа

*Использование или распространение этого материала
в коммерческих целях
возможно лишь с разрешения редакции*



Образовательный сетевой выпуск
VIVOS VOCO! - ЗОВУ ЖИВЫХ!
<http://www.accessnet.ru/vivovoco>

Поиски антивещества в космосе: эксперимент АМС

Ю. В. Галактионов, С. Тинг, Н. А. Черноплеков

Юрий Вячеславович Галактионов, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией сверхвысоких энергий Института теоретической и экспериментальной физики, соруководитель астрофизической группы коллаборации АМС. Занимается исследованиями в области физики высоких энергий.

Самуэль Тинг, профессор, заведующий лабораторией физики высоких энергий Массачусетского технологического института, руководитель международной коллаборации АМС, лауреат Нобелевской премии 1976 г. Область научных интересов — фундаментальные проблемы физики элементарных частиц.

Николай Алексеевич Черноплеков, профессор, член-корреспондент РАН, директор Института сверхпроводимости и физики твердого тела Российского научного центра «Курчатовский институт», координатор коллаборации АМС по России, лауреат двух Государственных премий (1966 и 1986). Занимается исследованием вещества с помощью ядерных излучений и вопросами практического применения сверхпроводимости.

ИСЛЕДОВАНИЯ, о которых пойдет речь, находятся на стыке физики элементарных частиц и астрофизики. Сейчас они особенно актуальны, поскольку экспериментальная физика достигла уровня, когда теоретические представления о рождении Вселенной могут быть подвергнуты экспериментальной проверке. Действовали ли те же фундаментальные закономерности, что справедливы в настоящее время в нашей области Вселенной (законы взаимодействия частиц, законы симметрии), и на сравнительно ранней стадии образования видимой Вселенной, сразу после Большого

взрыва? И вообще — объясняются ли данные астрофизических наблюдений на основе фундаментальных законов, действующих в микромире? Мы рассчитываем, что знаем об этих законах достаточно, чтобы задавать природе разумные вопросы и получать на них ответы с помощью эксперимента. Цель, естественно, двойная: узнать больше об элементарных частицах и о происхождении Вселенной.

Неудивительно поэтому, что программа исследований, предложенная в 1994 г. («Эксперимент АМС»),³ по проведению эксперимента из области физики элементарных частиц в космосе на строящейся Международной космической станции «Альфа» была сразу поддержана как

НАСА, так и Министерством энергетики США, финансирующим обычно исследования в физике элементарных частиц, главным образом на ускорителях. Кроме США проект АМС поддержал целый ряд стран, в том числе Россия – один из главных партнеров в создании станции «Альфа». В эксперименте участвуют также физики из различных университетов Швейцарии, Германии, Италии, Финляндии, Тайваня, Китая, Испании, Франции, Португалии. В России эта программа получила официальную поддержку Президиума РАН и одобрение Министерства науки и технологий.

Эксперимент АМС нацелен на исследование скрытого вещества и антивещества в околоземном пространстве с борта космической станции. Для этого создана уникальная детектирующая система – магнитный спектрометр «Альфа» (Alpha Magnetic Spectrometer), давший имя проекту – АМС. По инициативе НАСА в 1998 г. проведены тестовые измерения в космосе: детектор АМС был установлен на космическом челноке «Дискавери» и испытан в течение 10 дней в условиях реального космического полета. Испытания прошли вполне успешно, и полученная в полете информация – около 100 млн событий – в настоящее время обрабатывается: уже есть первые интересные результаты¹.

Мы поговорим об одной из главных физических задач проекта – поиске антивещества во Вселенной путем регистрации антиядер в космических лучах.

АСИММЕТРИЯ БАРИОНОВ

Наблюдение красного смещения в спектрах излучения далеких галактик и появившиеся в 20-е годы достаточно надежные измерения расстояний до них привели к возникновению фридмановской картины «разбегающихся галактик» – расширяющейся Вселенной и, в конечном итоге, к космологии Большого взрыва. Еще два экспериментальных факта подтверждают эти теоретические построения: спектр реликтового излучения и относительная распространенность легких элементов.

В процессе расширения и, соответственно, остывания Вселенной наступает момент, когда ошестое тепловое излучение практически перестает взаимодействовать с веществом, поскольку с образованием нейтральных атомов исчезают свободные электроны. Спектр таких фотонов, называемых реликтовыми, – это спектр излучения черного тела с температурой, соответствующей моменту разделения излучения и вещества, но подвергшийся красному смещению за время расширения Вселенной (расчет дает температуру ~5 K). Измерения этого спектра проводились в течение многих лет несколькими методами, и результаты (упомянутая температура = 2.73 ± 0.01 K) блестяще подтверждают теорию Большого взрыва.

Другим успехом теории стало предсказание относительной распространенности (по сравнению с водородом) легких элементов: гелия-4, гелия-3, дейтерия и лития-7, основной источник которых – ядерные реакции, происходившие в эпоху ранней Вселенной, до образования звезд. Теория предсказывает, что ${}^4\text{He}$ должно быть 25%, ${}^3\text{He}$ – 10^{-5} , дейтерия – 10^{-4} и лития 10^{-9} , что очень близко к наблюдаемым в природе величинам.

Однако у теории Большого взрыва есть не только успехи, но и проблемы. Одна из них, теорией до сих пор не решенная, – проблема асимметрии барионов. В первые мгновения после Большого взрыва все частицы ведут себя как безмассовые, сильные взаимодействия не отличаются от электрослабых, физическая эволюция идет по законам Великого объединения. Вселенная пока полностью симметрична: число частиц и античастиц одинаково. Далее, по мере расширения, температура падает, и, когда энергия частиц становится меньше примерно 10^{14} ГэВ, сильные взаимодействия отделяются от слабых, возникают «хорошие» квантовые числа: сохраняющиеся барионный и лептонный заряды. Образовавшиеся барионы и антибарионы интенсивно аннигилируют, и нужно найти механизм, в результате действия которого в окружающей нас Вселенной мы наблюдаем только барионы (вещество) и не наблюдаем антибарионы (антивещество). Почему часть барионов каким-то образом пережила период аннигиляции, заканчивающийся при температуре примерно 20 МэВ, а антиба-

¹ Collaboration АМС // Phys.Rev.Lett.B. 1999. V.461. P.387.

рионы не сохранились, по крайней мере в части Вселенной, доступной сейчас для наблюдений?

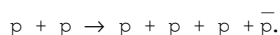
Логически существуют три возможности возникновения барионной асимметрии:

– асимметрия присутствует в механизме Большого взрыва в качестве начальных условий. Эта возможность в сущности ничего не объясняет и только переводит проблему в другую плоскость.

– асимметрия существует локально, в целом же Вселенная симметрична, но вещество отделено от антивещества слишком большими для современных наблюдений расстояниями.

– асимметрия возникает динамически в процессе расширения Вселенной на уровне взаимодействий элементарных частиц. В самих взаимодействиях, несмотря на симметрию относительно замены частицы на античастицу (СРТ-теорема), возникает механизм, обеспечивающий выживание барионов.

Пока мы не наблюдаем в космосе никаких античастиц, кроме антипротонов, происхождение которых явно вторично: они рождаются в результате взаимодействия протонов достаточно высокой энергии



По известным спектрам космических протонов можно оценить число таким образом появляющихся антипротонов: оно согласуется с количеством реально регистрируемых \bar{p} . Для антиядер, например антигелия, похожего механизма образования нет, и обнаружение антигелия означало бы, что области антивещества (антизвезды) существуют. Если допустить, что на значительных расстояниях от нас такие области есть, то эти расстояния должны быть более примерно 10 Мпк, в противном случае мы бы видели потоки гамма-квантов, возникающих при аннигиляции пар $p-\bar{p}$ на границе вещества и антивещества с последующим распадом родившихся нейтральных π -мезонов. Если же вещество отделено от антивещества областями «пустого» пространства, мы бы заметили нерегулярности в спектре реликтового излучения из-за возникшей неоднородности. Изме-

ренная неоднородность пространственного распределения реликтового излучения не превышает 10^{-5} , и это означает, что пустоты должны быть меньше примерно 15 Мпк. Правда, этот вывод зависит от ряда предположений о характере флуктуаций реликтового излучения. Нужны более чувствительные измерения как по аннигиляционным гамма-квантам, так и по поиску антиядер.

ДИНАМИЧЕСКОЕ СОЗДАНИЕ АСИММЕТРИИ

А.Д.Сахаров еще в 1967 г. сформулировал необходимые условия, которым должны удовлетворять фундаментальные взаимодействия, чтобы в процессе расширения Вселенной стало принципиально возможным возникновение барионной асимметрии².

1. Барионный заряд не должен быть строго сохраняющимся: должны, хотя и очень редко, наблюдаться переходы барионов в небарионы, т.е. лептоны, мезоны и т.п. На самом деле, сам факт того, что мы не наблюдаем антибарионы (если, конечно, это не локальное явление), служит прямым и в настоящее время единственным доказательством несохранения барионного заряда. И наоборот, при строгом сохранении барионного заряда нельзя ожидать возникновения избытка барионов.

2. Частицы и античастицы должны взаимодействовать по-разному: должна нарушаться зарядовая (С) четность, т.е. взаимодействия неинвариантны по отношению к замене частицы на античастицу (к замене зарядов на противоположные); должна также нарушаться и комбинированная (СР) четность – взаимодействия неинвариантны по отношению к замене частицы на античастицу с одновременным отражением пространственных координат. Иначе барионный заряд системы строго равен нулю. В отличие от нарушения барионного заряда, в природе есть и случаи С- и СР-нарушений, не связанные с асимметрией барионов, но из моделей, построенных для их объяснения, асимметрия не следует.

² Сахаров А.Д. // Письма в ЖЭТФ. 1967. Т.5. Вып.1. С.32.

3. Вселенная должна была пройти через термодинамически неравновесное состояние, поскольку термодинамическое равновесие восстанавливает барионную симметрию. Само расширение Вселенной естественно нарушает термодинамическое равновесие, нужно только убедиться в том, что расширение происходит достаточно быстро и равновесие не успевает на каждом этапе восстанавливаться, по крайней мере до момента прекращения аннигиляций. В этом случае возникшая в период ранней Вселенной барионная асимметрия имеет шанс сохраниться до наших дней.

В стандартной схеме динамического возникновения барионной асимметрии³ рассматриваются гипотетические очень тяжелые частицы X ($M_X > 10^{14}$ ГэВ), при распаде которых барионный заряд не сохраняется. При температурах $T > M_X$ устанавливается термодинамическое равновесие:

$$n_X = n_{\bar{X}} \cong n_\gamma$$

(здесь n_X , $n_{\bar{X}}$ и n_γ — концентрации X -частиц, их античастиц и фотонов).

Когда температура опускается ниже M_X , возможны два варианта. Если скорость распада частиц X велика по сравнению со скоростью расширения Вселенной, равновесие поддерживается и барионная асимметрия не возникает. Если же скорость их распада мала, равновесие нарушается и X -мезоны, не успев распасться, остаются столь же многочисленными, как и фотоны. Распады начинают играть роль позже, когда температура опускается значительно ниже и скорость расширения Вселенной становится сравнимой со скоростью распада X -мезонов. К этому времени рождение последних давно прекратилось из-за низкой температуры. Предположим, что X -мезон с барионным зарядом B_X распадается по двум каналам с относительными вероятностями r и $(1-r)$ и с суммарными барионными зарядами продуктов B_1 и B_2 :

$$B_X = rB_1 + (1-r)B_2.$$

Аналогично для античастиц будем иметь:

$$B_{\bar{X}} = -rB_{\bar{1}} - (1-r)B_{\bar{2}}.$$

И в итоге распад пары $X\bar{X}$ приведет к возникновению избытка барионного заряда:

$$\epsilon = B_X + B_{\bar{X}} = (r - \bar{r})(B_1 - B_2).$$

В последнем равенстве сразу видны условия Сахарова: если сохраняется барионный заряд, то $B_1 = B_2$, а если сохраняется CP, то $r = \bar{r}$ — и в том, и в другом случае асимметрия исчезает. Степень нарушения CP имеет здесь фундаментальное значение: чем она меньше, тем тяжелее должны быть X -мезоны.

Эта простая схема используется в двух наиболее популярных в настоящее время моделях возникновения асимметрии барионов: модели, основанной на концепции Великого объединения, и модели, базирующейся на теории электрослабых взаимодействий. И для одной, и для другой объяснить отсутствие антивещества не просто, требуется вводить многочисленные новые гипотезы, которые не имеют никаких поддерживающих экспериментальных фактов.

С другой стороны, идея о симметрии Вселенной, т.е. о наличии антивещества и его пространственной изоляции от вещества, также встречается со значительными трудностями. Сейчас уже создано несколько теоретических построений, сохраняющих симметрию Вселенной.

Считается, что размер видимой Вселенной ~ 1000 Мпк, Вселенная содержит $\sim 10^8$ скоплений галактик, каждое скопление имеет характерный размер 10–20 Мпк и в свою очередь содержит многие сотни галактик. Наблюдения показывают, что трудно себе представить присутствие сразу вещества и антивещества в пределах одного скопления, однако можно попытаться построить модель, в которой среди множества скоплений галактик имеются и состоящие из антивещества. Другая популярная модель — «островная» Вселенная — предполагает разделенные большими расстояниями (~ 100 Мпк) острова вещества или антивещества размерами того же порядка, плавающие в море

³ Dolgov A.D. Baryogenesis, 30 years after (25th ITEP Winter School). М., 1997.

невидимой материи. Еще в одной гипотезе Вселенная состоит из чередующихся слоев вещества и антивещества: модификация этой модели — Вселенная из ячеек вещества и антивещества с характерным размером ячейки около 100 Мпк. Есть еще несколько аналогичных построений.

Повторим еще раз: хотя все подобные теоретические построения в принципе не исключены, они пока не имеют и намека на поддержку прямыми или даже косвенными данными. Итак, проблема антивещества во Вселенной явно нуждается в систематических экспериментальных исследованиях.

КАК ИЩУТ АНТИВЕЩЕСТВО

Наличие антивещества во Вселенной можно было бы заметить по двум проявлениям. Во-первых, если бы обнаружилась нерегулярность в спектре гамма-квантов в области энергий в несколько МэВ, вызванная процессами барионной аннигиляции. (Речь идет о гамма-квантах от распада π -мезонов, возникших при аннигиляции барион-антибарионных пар. Такую нерегулярность однажды зарегистрировали, однако в дальнейшем эти измерения подтверждения не получили.) Во-вторых, если бы нашлись антиядра в космических лучах.

Эти два способа поиска антивещества не эквивалентны. Гамма-кванты аннигиляции могут быть, в принципе, обнаружены на любом расстоянии от их источника, однако они порождаются не только аннигиляцией барионов, и нерегулярность в спектре может быть замечена только при достаточном превышении аннигиляционного сигнала над фоном. При этом интерпретация нерегулярности оказывается неоднозначной, не исключены похожие нерегулярности другой природы. Например, их могут вызывать взрывные явления в ядрах галактик, подобные недавно обнаруженному сильному источнику гамма-квантов, порожденных электрон-позитронной аннигиляцией.

Наоборот, наблюдение антиядер гелия или более тяжелых элементов было бы однозначным свидетельством существования антивещества. Есть здесь, однако, другая трудность: антиядра могут отклоняться магнитными полями (если

последние достаточно велики) в межгалактическом пространстве, в пространстве между скоплениями галактик или между «суперкластерами» — скоплениями скоплений. К сожалению, современные средства определения магнитных полей имеют недостаточную чувствительность. Мы можем оценивать магнитные поля внутри галактик или внутри некоторых, немногих, скоплений галактик (например, в скоплении Кома), где индукция превышает 10^{-7} Гс. Для межгалактических полей можно говорить только о верхнем пределе в 10^{-9} Гс, а относительно полей в обширных (сотни Мпк) пустотах между скоплениями галактик можно только предполагать, исходя из косвенных соображений, что они меньше, чем 10^{-12} – 10^{-14} Гс. Поэтому интерпретация отрицательного результата эксперимента по поиску антиядер зависит от наших знаний о магнитных полях Вселенной. В худшем случае мы сможем говорить об отсутствии антивещества в пределах нескольких сотен Мпк, в лучшем — в пределах нескольких тысяч, т.е. до видимого горизонта Вселенной. Положительный же результат, как мы уже отмечали, интерпретируется однозначно.

Экспериментальные исследования по поиску антиматерии ведутся с середины 70-х годов. Основной объем информации поступает с установок, запускаемых на воздушных шарах или смонтированных на спутниках.

На рис.1 суммированы данные измерений ненаправленного спектра внегалактических гамма-квантов за примерно пятнадцатилетний период. Показаны данные с различных спутников, причем наиболее надежны — недавние измерения на установках COMPTEL (Compton Electrons) и EGRET (Energetic γ -Ray Experiment Telescope), вот уже несколько лет работающих на борту спутниковой Комптоновской обсерватории. Никаких подозрительных нерегулярностей в спектре не наблюдается. Кроме того, как видно из рис.1, форма спектра в интересующей нас области в районе нескольких МэВ оказывается достаточно сложной, что, конечно, сильно затрудняет выделение слабого аннигиляционного сигнала.

Рис.2 подводит предварительный итог поиску ядер антигелия. Поиски антигелия и других антиядер велись главным образом с

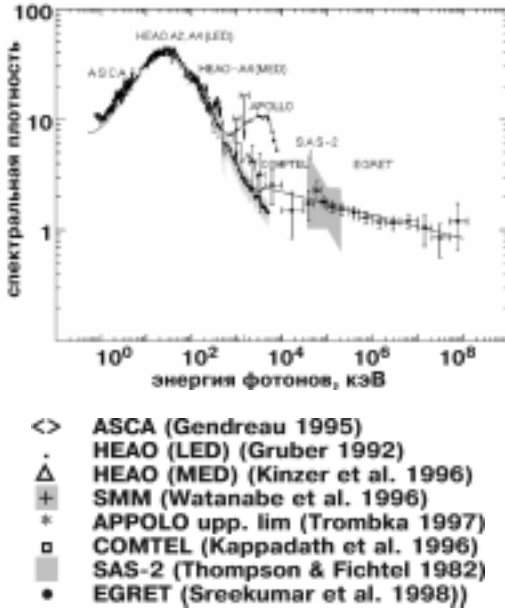


Рис.1. Спектр внегалактических гамма-квантов. (По данным перечисленных экспериментов.)

воздушных шаров. Напомним, что для регистрации частиц в космосе используются традиционные спектрометрические методы, адаптированные к условиям полетов. Как обычно, определяются импульс и знак заряда частицы — по виду траектории частицы в магнитном поле (частицы с разным знаком отклоняются в разные стороны, так что частицу легко отличить от античастицы). Одновременно измеряется скорость — по времени пролета определенного расстояния, а комбинация импульса и скорости позволяет найти массу частицы и отделить, например, ядро гелия от протона.

Наиболее точные данные получены в эксперименте BESS (Balloon Born Solenoidal Spectrometer), в котором для определения импульса частиц использовался сверхпроводящий магнит с размещенным в нем проволочным трековым детектором⁴. Скорость частиц измерялась

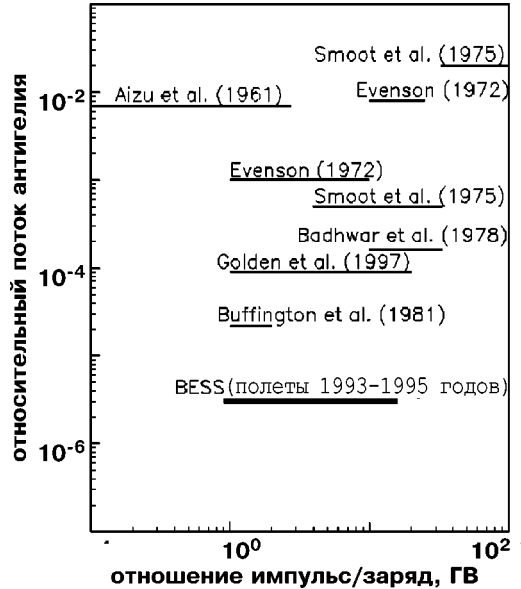


Рис.2. Результаты поисков ядер антигелия в экспериментах на воздушных шарах. Горизонтальные отрезки указывают значения верхних пределов для отношения потоков He/He в зависимости от импульса частицы, приведенного к заряду.

временяпролетным годоскопом, а при больших скоростях, когда работа времяпролетного детектора затруднена, электроны и тяжелые частицы различались пороговым черенковским счетчиком. Заряд частицы находился по ионизационным потерям в сцинтилляционных счетчиках и трековом детекторе. Проведено уже четыре полета с установкой BESS, антиядер не наблюдалось, и после полета 1997 г. верхний предел отношения потоков He/He составляет $1.7 \cdot 10^{-6}$. Кроме того, в установке BESS зарегистрировано более 400 антипротонов, что намного больше, чем наблюдалось ранее.

Нужно отметить, что у экспериментов, проводимых на воздушных шарах, есть существенный недостаток — их кратковременность. Продолжительность экспозиции ограничивается всего 1–2 сут. Этот недостаток должен быть преодолен в новом эксперименте АМС, готовящемся к постановке на Международной космической станции.

⁴ Saeki T. et al. // Phys. Lett. B. 1998. V.422. P.319.

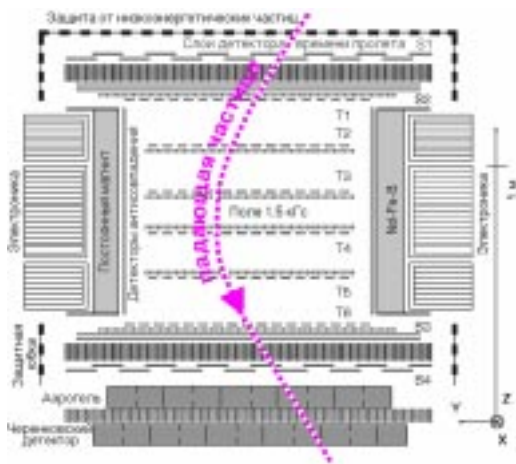


Рис. 3. Принципиальная схема детектора АМС. S1–S4 — элементы времяпролетного детектора; T1–T6 — кремниевые пластины трекового детектора.

АМС: ОТ ПРОШЛОГО К БУДУЩЕМУ

Детектор АМС — это магнитный спектрометр, предназначенный для работы в околоземном космическом пространстве. Он ориентирован на исследование космического излучения с целью в первую очередь поиска антивещества (антиядер). Предполагается и выполнение нескольких других задач на стыке физики элементарных частиц с астрофизикой: поиск невидимой материи (если она состоит из таких частиц, как нейтрино или нейтралино), измерение элементного состава космических лучей, изучение распределения излучения в околоземном пространстве и некоторые другие. Во время первого тестового полета на «Дискавери» в июне 1998 г. детектор работал на почти круговой орбите на расстоянии 400 км от Земли с наклоном плоскости орбиты в 51.8° (орбита космической станции «Мир»). В 2002 г. детектор установят на Международной космической станции «Альфа», где он и будет эксплуатироваться в течение по крайней мере трех лет.

Детектор устроен так (рис.3). Анализирующим элементом спектрометра служит постоянный магнит. Использование современного магнитного материала (NdFeB) позволило получить достаточно однородное магнитное поле с индукцией

около 0.15 Т в большом объеме. Магнит имеет форму цилиндра длиной 80 см и внутренним диаметром 116 см; весит около 2 т. Магнитное поле направлено перпендикулярно оси цилиндра, обеспечивая эффективное отклонение частиц, летящих вдоль его оси.

Определение кривизны треков и соответственно величины импульса и знака заряда частицы производится кремниевыми детекторами, расположенными в шесть слоев. Детекторы обеспечивают микронную точность измерения координат, позволяя в то же время определить заряд частиц по величине ионизационных потерь. На входе и выходе из магнита частица пересекает сцинтилляционные годоскопические счетчики времяпролетной системы с базой около 1 м. Типичная точность измерения времени пролета 10^{-10} с. При скоростях, слишком высоких для применения времяпролетной техники, частицы идентифицируются черенковским счетчиком с радиатором из азрогеля, пористого вещества, с показателем преломления 1.035. Внутренняя поверхность магнита закрыта «вето»-счетчиком для защиты от фона, возникающего от взаимодействий частиц в веществе магнита. Тонкий экран сверху и боковой («юбка») снизу защищают установку от воздействия радиационных поясов Земли — электронов малых энергий.

Детектор не имеет никакой кожушки и работает в вакууме космического пространства. Все элементы при изготовлении и сборке были подвергнуты тщательным испытаниям на термовакuumном стенде: оказалось, что условия высокого вакуума и изменения температуры в широких пределах не ухудшают характеристики спектрометра. Успешные испытания детектора на вибростенде гарантировали устойчивость конструкции к сильным вибрациям во время работы ракетных двигателей космического челнока. На рис.4 зафиксирован один из моментов тщательной предполетной проверки АМС.

Во время десятидневного полета было зарегистрировано около ста миллионов событий прохождения космических частиц через установку. Значительную часть этого времени, однако, космический челнок был состыкован с российской станцией «Мир». В этот период ориентация

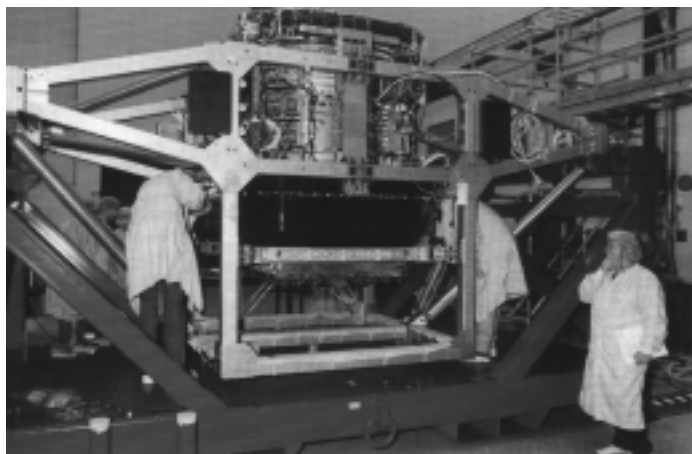


Рис.4. Предполетные испытания АМС в космическом центре им. Д.Ф.Кеннеди.

детектора часто была неподходящей для работы АМС, например, детектор «смотрел» в сторону Земли. Кроме того, в поле зрения АМС попадали части станции «Мир», и взаимодействие космических лучей с материалом этих частей вызывало дополнительный нежелательный фон. Таким образом, полезная экспозиция, когда в поле зрения АМС был только далекий космос, составила 4–5 сут. Детектор снабжен большим количеством датчиков температуры и магнитного поля. Постоянное отслеживание показаний датчиков во время полета позволило выбрать оптимальный температурный режим работы, при этом установленные на АМС нагревательные элементы практически не использовались, так как температура оказалась достаточно (иногда слишком) высокой, и температурный режим регулировался изменением ориентации челнока по отношению к Солнцу. Компьютерные программы, работающие в режиме реального времени, позволяли следить за работой всех систем спектрометра. На рис.5 для примера показана картинка одного из событий, как оно наблюдалось во время полета. Трек, восстановленный по координатам пролета плоскостей кремниевых детекторов, в совокупности с найденной скоростью показывает, что в данном событии зарегистрирован антипротон.

Рис.6 показывает предполагаемый общий вид станции «Альфа» с детектором АМС, установленным на предназначенном для него месте.

Конфигурация АМС для работы на станции «Альфа» будет несколько отличаться от прошедшей полетные испытания на «Дискавери». В АМС будут введены дополнительные системы идентификации частиц:

– электромагнитный калориметр, обеспечивающий идентификацию электронов и позитронов вплоть до энергий в сотни ГэВ. Добавление калориметра, помимо расширения интервала энергий, доступного для измерений, позволяет искать невидимое вещество, если это веще-

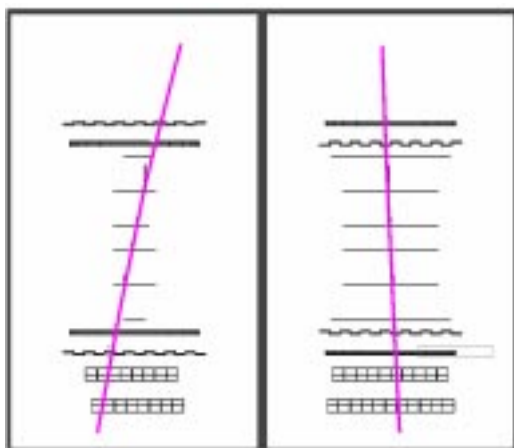
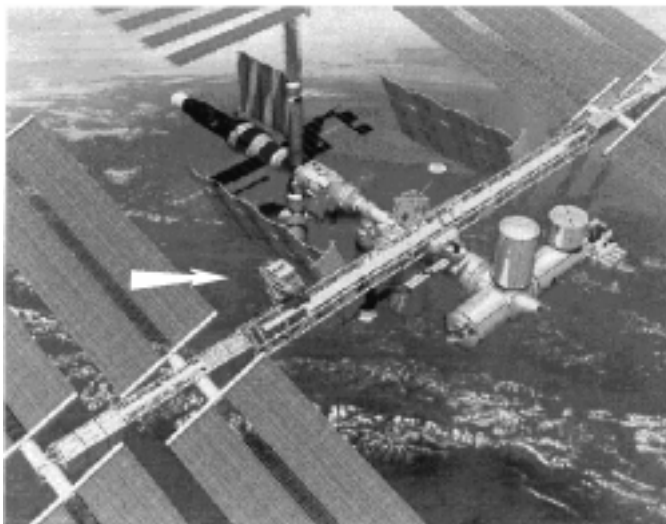


Рис.5. Две проекции трека антипротона в детекторе АМС.

Рис. 6. Так будет выглядеть космическая станция «Альфа» с детектором АМС.



ство состоит из частиц типа нейтралино — гипотетической тяжелой стабильной частицы, аналога нейтрино⁵;

- детектор переходного излучения, предназначенный для распознавания электронов, антипротонов и антиядер, и, что не менее важно, для визуализации события;

- черенковский счетчик для различения протонов и ядер, с одной стороны, и более легких частиц — с другой.

Эти новые системы особенно важны в случае обнаружения событий с подозрением на антивещество. Поскольку число таких событий будет наверняка измеряться лишь единицами, важно быть уверенным, что все возможные источники фона исключены. Для этого нужно иметь независимые способы идентификации частиц.

Длительная экспозиция спектрометра АМС на космической станции позволит

провести прецизионные, хорошо статистически обеспеченные измерения первичного спектра космических частиц. Эти измерения, как ожидается, увеличат чувствительность детектирования антивещества примерно в 10 тыс. раз по сравнению с существующим уровнем: в случае если мы не увидим антиядер, можно будет с вероятностью в 10^4 раз большей, чем сегодня, утверждать, что вкраплений антивещества в пределах видимой Вселенной нет.

Одновременно большая статистика в измерениях спектров позитронов и антипротонов даст возможность выяснить, являются ли суперсимметричные частицы, например нейтралино, заметной частью невидимой материи.

Много новой информации, как ожидается, получат и традиционные области физики космических лучей. Это — установление элементного состава космических лучей и измерение их энергетических спектров, выяснение изотопного состава, в частности — содержания редких изотопов (например, ^{10}Be), что важно для определения возраста космических лучей.

⁵ Подробнее о частицах-суперпартнерах см.: Казаков Д.И. Ждем новых открытий в физике элементарных частиц // Природа. 1999. №9. С.14.