

# КРИВОЕ ЗЕРКАЛО МИРА

Хотя теоретически антивещество – точное отражение вещества, во Вселенной обнаружилась недостача

**С**уществование и противоборство вещества и антивеществом составляют великую тайну Вселенной, раскрытие которой удалось бы понять историю зарождения всего сущего. Поставив перед человеком немислимые объемы энергии, выделяемой при столкновении вещества с антивеществом, можно было бы добиться результатов, превосходящих провидения самых разудалых фантастов. Несколько килограммов антивещества хватило бы межзвездному кораблю на фотонной тяге, чтобы пересечь Галактику. Однако антивещество надо откуда-то взять, а его в окружающем нас космическом пространстве куда меньше, чем его зеркального отражения – обычного вещества. Учитывая, что в момент превращения энергии в массу возникает как частица, так и античастица, приходится попенять зеркалу

**АНТИМАТЕРИЯ** природы: оно загадочным образом скрывает от нас огромную часть мира – целую Антивселенную.

## Деньги природы

Знаменитая формула Альберта Эйнштейна  $E = mc^2$  (где  $E$  – это энергия,  $m$  – масса, а  $c$  – скорость света) объясняет, что масса и энергия взаимосвязаны.

Представим себе, что энергия – это деньги природы, которыми она расплачивается за все происходящее. И это платежное средство существует в виде двух валют с немислимым, но стабильным обменным курсом – введенной в квадрат скоростью света

(300 тыс. км/с). Так что, если обменять по этому курсу на энергию 1 кг металла, воды или хоть тополиного пуха, энергии высвободится почти столько же (25 млрд кВт/ч), сколько за год вырабатывает самая мощная российская АЭС – Балаковская.

В построенных учеными ускорителях можно разогнать до огромных энергий (то есть практически до скорости света) отдельные частицы – протоны (ядра атома водорода). И если частица с такой энергией врежется в преграду, энергия может превратиться в массу – другую валюту природных денег.

Но природа не позволяет энергии превращаться в произвольный вид вещества. Она предоставляет только определенные формы, соответствующие точно определенному количеству энергии, и придает веществу заданные качества. Так, на монетном дворе из металлического листа (в нашем случае это энергия) делают деньги только определенного достоинства: рубли, двух- или пятирублевки. Природа чеканит только определенные частицы – протоны, нейтроны, электроны – со стандартной массой, электрическим зарядом и способностью взаимодействовать с другими частицами. Но, штампуя монету, она получает еще и дырку в металле – “антимонету” (масса такая же, как у частиц, но заряд и некоторые другие характеристики противоположны).


Эксперименты показывают, что когда энергия превращается в массу, возникает пара частиц: частица и ее зеркальное отражение – античастица. Когда же они встречаются, энергия

высвобождается (они аннигилируют). Если вернуться к образу денег, встреча частицы с античастицей похожа на вкладывание монеты обратно в дырку. Возрождается лист металла, то есть энергия.

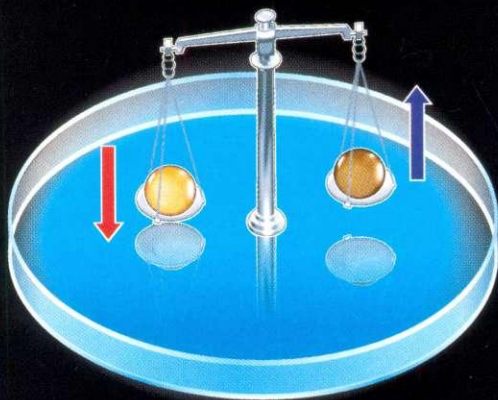
## Материальное неравенство

Античастиц в нашей части Вселенной меньше, чем частиц. Получается, что положительные ядра и отрицательные электроны чем-то лучше своих гипотетических антисобратьев. А ведь, по мнению ученых, 15 млрд лет назад, во время породившего Вселенную Большого взрыва должно было родиться одинаковое количество вещества и антивещества.

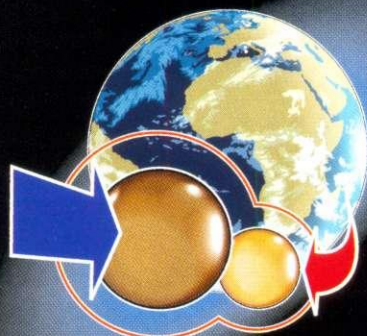
Есть два объяснения этого парадокса: либо в результате непонятных пока физических процессов антивещество сразу исчезло, либо оно существует в каких-то далеких уголках Вселенной. И если второе объяснение справедливо, то мы с вами живем в той части, где существует только вещество. Однако есть вероятность, что антивещество из другой части Вселенной может залетать в наш мир. И, скорее всего, оно объявится в виде самых простых антиядер (вроде антигелия, антиуглерода и т. п.). В отличие от них более легкие античастицы (например, антипротоны) и так возникают при высокоэнергетических столкновениях обычных частиц. Но искать антиядра на Земле бесполезно: если они и долетают до границ атмосферы, то тут же аннигилируют. Так что на поиски антивещества надо отправляться в космос.



В теории Большой взрыв, в результате которого появилась Вселенная, должен был породить одинаковое количество материи и антиматерии. Однако в природе мы наблюдаем большее количество частиц, нежели античастиц



Антигелий и подобные ему простые антиядра могут долететь до нас, но скорее всего аннигилируют уже при входе в атмосферу Земли



Вот почему сегодня ученые отправляются на поиски антиматерии в космос

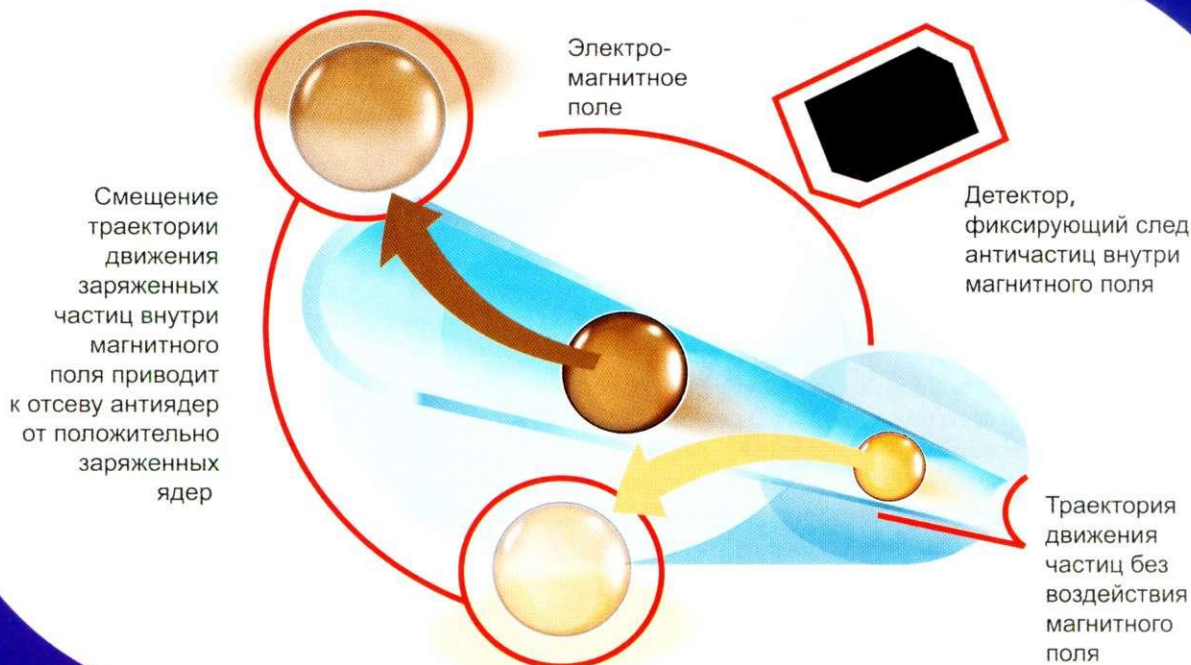
Теоретически эксперимент достаточно прост: частицы космических лучей, пролетая через детектор, оставляют в нем след. Детектор находится в мощном магнитном поле, которое искривляет траектории заряженных частиц. Траектории положительно заряженных обычных ядер должны отклоняться в одну сторону, а отрицательно заряженных антиядер – в другую.

В 60-70-е годы группа физиков под руководством нобелевского лауреата Луиса Альвареца послала магнит для поиска частиц антиматерии в небо на воздушных шарах. Было зарегистрировано более 40 тыс. частиц, но ни одна из них не имела отношения к антиматерии. А в 2002 году огромный воздушный шар BESS объемом в 1,1 млн куб. м, запущенный в небо Канады японскими и американскими физиками, висел там примерно 22 часа на высоте около 23 км. Закрепленное на нем оборудование весом 2400 кг состояло из трекового детектора частиц и магнита, но и тогда обнаружить ядра антивещества не удалось. Поиск антиядер при помощи шара продолжают в декабре 2003-го – январе 2004 года в Антарктике.

### Следы среди звезд

Первый космический эксперимент по поиску антивещества был предпринят в 1998 году, во время полета шаттла "Дискавери" к станции "Мир". Российско-американскую команду ученых возглавлял нобелевский лауреат американец Сэмюэль Тинг. Однако несколько дней поисков не привели к поимке ни одного отрицательного ядра. Стало ясно, что ловить надо гораздо дольше.

На 2005 год международное сообщество физиков под руководством Тинга планирует организовать поиск ядер антивещества, установив детекторы на Международной космической станции (МКС). В эксперименте снова активно участвуют и российские ученые: сердце эксперимента, уникальный сверхпроводящий магнит трекового детектора, испытывают в Курчатовском центре, систему охлаждения



## Принцип электромагнитной ловушки

разрабатывают в Институте ядерной физики МГУ, а Институт экспериментальной и теоретической физики будет заниматься математическим обеспечением эксперимента, сбором и обработкой данных.

На станцию будет доставлен магнитный спектрометр альфа-частиц (АМС), который установят снаружи. Ожидается, что, проходя через различные детекторы АМС, частицы высоких энергий будут воздействовать на них, а обрабатывая информацию, поступившую от каждого детектора, удастся определить природу частиц и понять, откуда они пришли.

### Ловушка для антиматерии

АМС состоит из различных детекторов, сверхпроводящего магнита, электроники и системы охлаждения.

Сверхпроводящий магнит заставляет заряженные частицы, движущиеся в свободном пространстве по прямой, менять траекторию.

Основа магнита – две катушки из ниобиево-титановой проволоки, охлажденные до сверхнизкой температуры (1,8 К). Для поддержания температуры в течение трех лет ис-

пользуется 360 кг жидкого гелия, который, постепенно испаряясь, и будет охлаждать катушку. А для сохранения температуры гелия вся система заключена в большой и прочный вакуумный корпус, который также выполняет функцию каркаса.

Кстати, кроме основных катушек, АМС снабжен набором курсовых компенсирующих магнитов: без них под действием магнитного поля Земли Международная космическая станция будет поворачиваться подобно стрелке компаса.

Определяющий скорость частиц самых высоких энергий детектор переходного излучения – восьмиугольная “настройка” АМС, состоящая из 20 слоев пластика, перемежающегося 20 слоями наполненных газовой смесью “трубок”. Другие детекторы спектрометра, ни специальный времяпролетный детектор, ни детектор черенковского излучения (о них речь ниже), не могут различить тип высокоэнергетических частиц. При кинетической энергии более 200 ГэВ трудно отличить протоны (с массой 1000 МэВ) от электронов

## Из истории открытия антиматерии

В 1928 году молодой физик Поль Дирак вывел формулу, описывающую движение частиц со скоростями, близкими к скорости света. Главным выводом было теоретическое доказательство существования двух частиц – электрона с положительной и электрона с отрицательной энергией. Поскольку отрицательной энергии не существует, Дирак предположил, что у каждой частицы есть отражение – античастица, обладающая противоположным зарядом. Нобелевская лекция Дирака, в которой ученый говорил о существовании состоящих из антивещества Антивселенных, положила начало истории поиска антиматерии.

Первой обнаруженной античастицей стал позитрон (античастица электрона), открытый американским физиком Карлом Андерсоном в 1932 году. В 1955 году в США на ускорителе в Калифорнии был обнаружен антипротон, а в 1960 году – антинейтрон. В 1965 году в Европейском центре ядерных исследований (CERN) удалось синтезировать ядро антидейтерия, состоящее из антипротона и антинейтрона. В последующие годы в различных лабораториях мира, в том числе в России (в Дубне и в Серпухове), были получены и более тяжелые антиядра: антитритий (два антинейтрона плюс один антипротон), изотопы антигелия, антибериллия и т. д. Но это были лишь одиночные ядра.

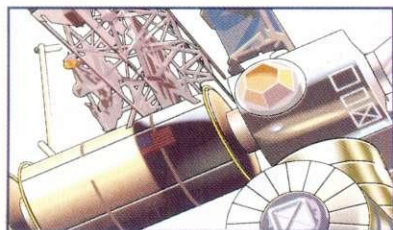
(0,5 МэВ) или мюонов (100 МэВ). А детектор переходного излучения способен определять лоренц-фактор частицы (пропорционален отношению энергии к массе  $E/m$ ), который у протонов и электронов сильно отличается.

Проходя через детектор переходного излучения, электроны с высокой энергией вызывают рентгеновское излучение, а протоны нет. При этом излучение ионизирует смесь газов и в газонаполненных трубках возникает разряд.

Под детектором переходного излучения находится сердце спектрометра – кремниевый трековый детектор. Он следит за траекториями частиц в магнитном поле. Чем больше их импульс, тем прямее след. При этом положительно заряженная частица будет отклоняться вправо, а отрицательно заряженная – влево.

Трековый детектор состоит из восьми больших тонких листов кремния с нанесенными на них миллионами тончайших алюминиевых полосок. Врезаясь в полоску, частица порождает электрический сигнал, и он дает знать с точностью до десяти микрон, где произошло столкновение. Соединив же точки столкновений в разных слоях, можно отследить направление движения частицы. Кривизна траектории частицы покажет ее импульс и знак заряда, сила сигнала – заряд частицы, а направление следа – откуда она появилась и где ждать объявления других частиц в остальных детекторах.

В основе устройства спектрометр альфа-частиц и сверхпроводящий электромагнит трекового детектора



## Космический секундомер

Для точного измерения скорости частиц используется специальный времяпролетный детектор, который засекает время входа и выхода частицы. Он состоит из пластиковых сцинтилляторов (это органические соединения, которые обладают свойством излучать свет при прохождении частиц), каждый из которых просматривается фотоэлектронными умножителями (ФЭУ) с обоих торцов. Проходя через сцинтиллятор, частица оставляет световой след, который замечается фотоумножителем. Разница между сигналами “входного” и “выходного” ФЭУ и дает время пролета.

Электрон с обычной для космических лучей энергией (миллиарды электрон-вольт) движется со скоростью, близкой к скорости света, а протон или ядро при таком же импульсе будет двигаться намного медленнее. Поскольку погрешность составляет около 2%, детектор сможет отличить частицу, летящую со скоростью 96% от скорости света, от частицы, движущейся со скоростью 99% от скорости света.

Времяпролетный детектор выполняет и еще одну важную функцию. Поскольку он самый быстрый, он одновременно служит и спусковым крючком для всех остальных детекторов, предупреждая о появлении частицы.

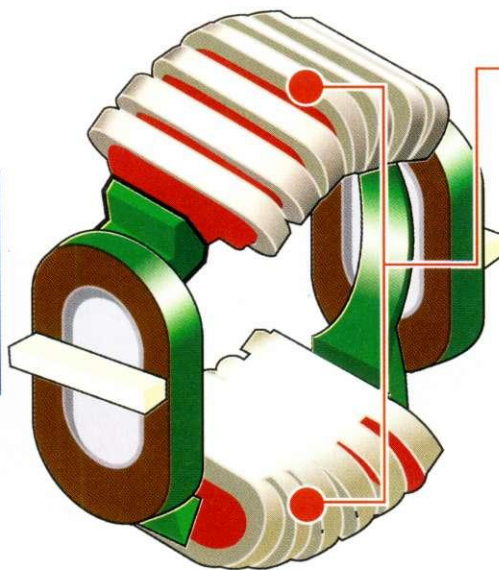
Ниже установлен детектор черенковского излучения, заполненный

сверхлегким стеклом, в котором размещены крошечные фотодетекторы.

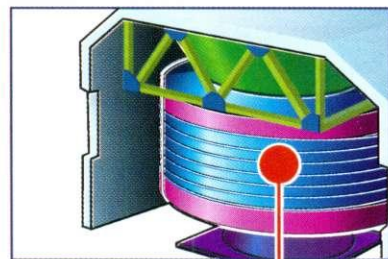
В стекле свет движется медленнее, чем в вакууме, и когда частицы входят в стекло, возникает световое подобие звукового удара (как при преодолении самолетом скорости звука), фиксируемое детекторами.

Детектор черенковского излучения позволяет с очень высокой точностью определять скорость частиц, что разрешает в комбинации с информацией о траектории точно указать массу (при необходимости различать легкие изотопы).

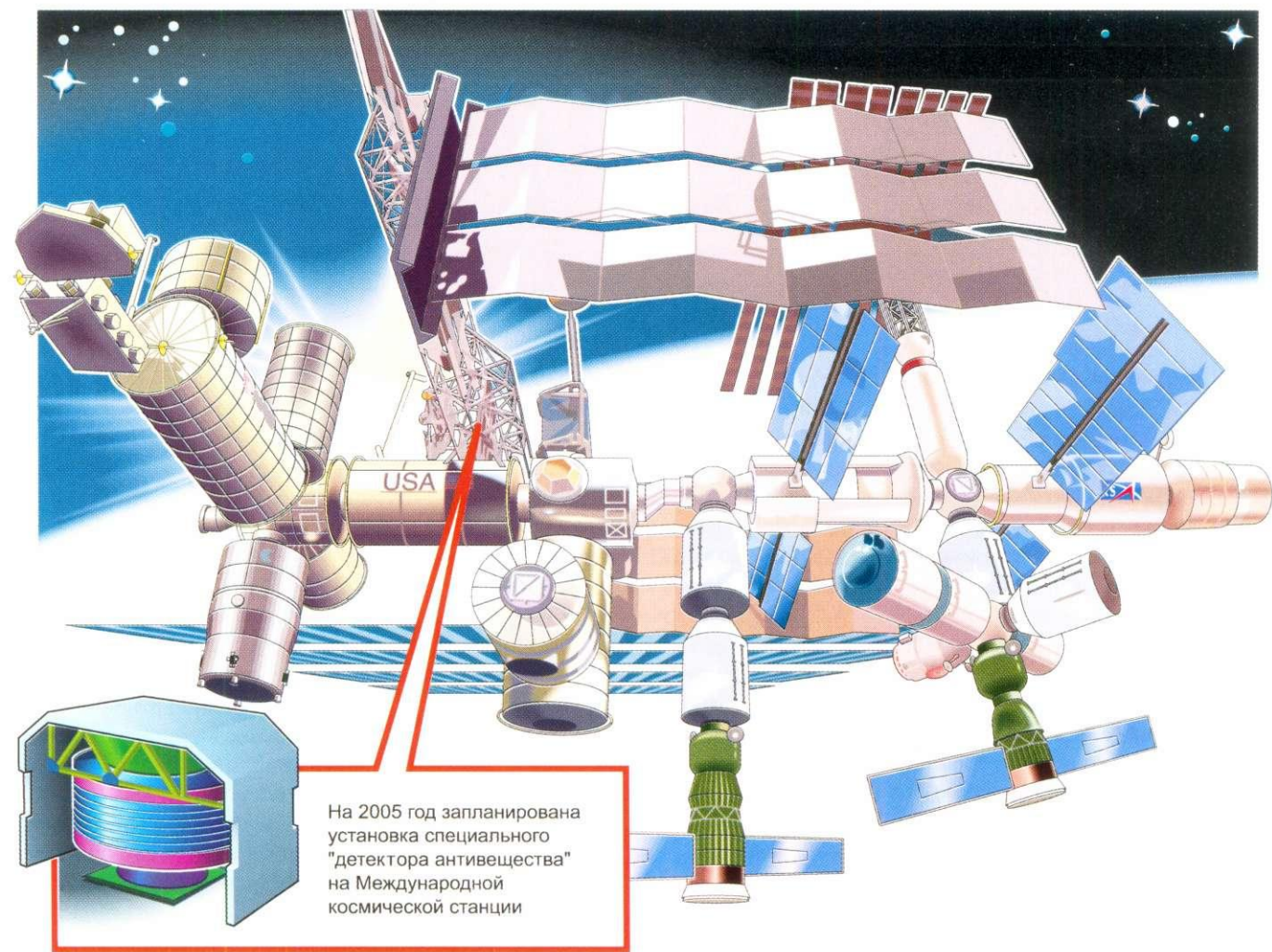
Еще одна часть АМС – электромагнитный калориметр – большой свинцовый кирпич, способный задержать даже самые высокоэнергетические частицы. Понятно, что это не просто кирпич, а скорее слоеный пирог из свинца и пластикового сцинтиллятора. Слои свинца задерживают частицы, а прозрачные слои сцинтиллятора служат детектором: как и во времяпролетном детекторе, фотоумножители улавливают испускаемый свет. Ионизирующая частица высокой энергии, проходя через калориметр, создает большое число вторичных частиц, которые, взаимодействуя с веществом калориметра, в свою очередь создают вторичные частицы. Образуется ливень частиц в направлении движения первичной частицы. Измеряя световой выход сцинтилляторов, можно определить энергию и тип частицы.



Магнит – это прежде всего две катушки из ниобиево-титановой проволоки, охлажденные до сверхнизкой температуры



Для сохранения низкой температуры используется жидкий гелий. Все это помещено в вакуумный корпус, который также выполняет функции каркаса



На 2005 год запланирована установка специального "детектора антивещества" на Международной космической станции

За секунду через AMC пролетает в разных направлениях около десяти тысяч частиц. Не все из них стоят внимания: ученых интересуют частицы, пролетающие сверху вниз через несколько детекторов (около 2000 частиц в секунду). Чтобы не отвлекаться по мелочам, AMC окружен со всех сторон (кроме торцов), как барьером, специальным сцинтилляционным счетчиком антисовпадений, имеющим право вето (так называемым вето-счетчиком). В результате анализируются только те частицы, которые прошли через все детекторы и не прошли через вето-счетчик.

AMC управляется сотнями компьютеров, начиная от мелких, отвечающих за газовую систему, и заканчивая главным, собирающим все сведения о частицах.

Части спектрометра имеют несколько систем терморассеивания. И наиболее сложная из них – метал-

лические прутья с высокой теплопроводностью, охлаждаемые специальной системой на углекислом газе, – защищает трековый детектор, находящийся в самом центре (он выделяет почти 200 Вт).

Кроме того, AMC имеет алюминиевый "внешний скелет". В космосе он не так уж нужен, но при запуске шаттла ему приходится выдерживать большие нагрузки.

### Рукотворная антиматерия

На Земле схожие эксперименты, посвященные исследованиям поведения элементарных частиц, успешно проводятся уже несколько десятков лет. В Европейском центре ядерных исследований (CERN) примерно в одном из десяти миллионов столкновений частиц высокой энергии с веществом рождается пара "протон – антипротон". Антипротоны отбирают, изоли-

руют от обычного вещества (чтобы они не аннигилировали) и накапливают для дальнейшего использования. Несколько лет назад в CERN заработала первая "фабрика антивещества".

В 2000 году там начались три эксперимента, в которых ученые используют антипротоны для создания атомов антивещества – антиводорода (антипротон, вокруг которого крутится позитрон) и антигелия (ядра из двух антипротонов и двух антинейтронов с двумя позитронами на орбитах). Эти атомы удалось не только получить, но и исследовать. К концу прошлого года в CERN удалось создать около 50 тыс. атомов холодного антиводорода, энергии которых хватит, например, чтобы зажечь одноваттную электрическую лампочку на 0,01 секунды. Правда, для их получения было затрачено энергии на много порядков больше.

**ИМ**

*Александр Семенов, кандидат физико-математических наук*