

Энергия В зазеркалье

АНТИМАТЕРИЯ И АНТИМИРЫ

«В современной фантастике использование антивещества описывается как естественный и привычный процесс: с его помощью звездолёты бороздят Галактику, а безумные злодеи взрывают планеты. Но откуда взялась столь необычная идея материи со знаком «минус»? И почему при всей её популярности и множестве экспериментальных подтверждений её существования мы до сих пор не нашли способа использовать антивещество в своих целях?»



■ Математик Карл Пирсон ввёл в употребление понятие отрицательной материи

ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ МАТЕРИЯ

Во второй половине XIX века учёные пытались создать обобщающую теорию строения материи. В ходу тогда была концепция эфира, утверждавшая, что существуют мельчайшие частицы, которые наполняют всё сущее и передают наблюдаемые взаимодействия, в том числе и гравитацию. Чтобы объяснить, как из эфирных частиц формируется материя, английский математик Карл Пирсон в книге «Грамматика науки» (The Grammar of Science, 1892) выдвинул гипотезу, что эфир — продукт более высокого, четвёртого измерения, а в нашем трёхмерном пространстве он проявляется как сочетание «эфирных струй». Пирсон не смог ответить, откуда и куда текут «струи», но предположил, что направление им задаёт взаимодействие материи нашего трёхмерного мира и «отрицательной» материи, скрытой в четвёртом измерении.

В 1898 году, вскоре после открытия электрона, идею «отрицательной» материи попытался развить английский физик Артур Шустер. Он был сторонником идеи глобальной симметрии, на основе которой и строил свои рассуждения. Как известно, электрон — это отрицательно заряженная субатомная частица, и физик предположил, что должен существовать и его «симметричный» аналог с положительным зарядом, называемый антиэлектроном.



■ Физик Артур Шустер выдвинул гипотезу о существовании античастиц и антивещества

Из идеи Артура Шустера следовала гипотеза о существовании «антиатомов» и «антивещества». В двух письмах в журнал Nature физик изложил гипотезу, а также высказал мысль, что из антивещества могут состоять некоторые космические объекты. Кроме того, он описал «аннигиляцию» (выделение энергии с полным уничтожением её источника), которая неизбежно произойдёт при контакте антивещества с веществом.

Письма в научный журнал не были полноценной теорией — скорее результатом случайного озарения. Коллеги восприняли их скептически, однако вскоре стало ясно, что идея Шустера не так уж далека от реальности.

В начале XX века физика зашла в тупик. Теория эфира, призванная описать мир, не подтверждалась экспериментами. На помощь пришла появившаяся в 1920-х квантовая механика. Параллельно сформировалась специальная теория относительности (релятивистская механика), которая описывает эффекты, проявляющиеся при очень больших скоростях. В какой-то момент учёные решили «скрестить» два предельных случая: большие скорости (релятивистская механика) и субатомные расстояния (квантовая механика). Довольно быстро вывели уравнение, связывающее две новые механики. Вот только решения этого уравнения приводили к парадоксам, в том числе к описа-

нию частиц с отрицательными энергиями. Как такое возможно? Ответить на вопрос взялся английский физик Поль Дирак.

МОРЕ ДИРАКА

Работы Поля Дирака вполне сопоставимы по значению с теорией Эйнштейна, но англичанин менее известен, чем прославленный коллега, поскольку отличался скромностью, а его замечательные открытия трудны для понимания. А ведь именно Дирак предложил изящный математический аппарат, позволяющий описывать процессы, происходящие на субатомном уровне. Благодаря своим формулам он сумел объяснить природу корпускулярно-волнового дуализма и описать так называемое «квантовое поле», то есть выразить через формулы всю совокупность состояний микрочастиц.

В 1927 году Дирак взялся применить специальную теорию относительности к субатомному миру. В результате он создал релятивистскую теорию электрона, которая через пять лет принесла ему Нобелевскую премию по физике. Однако открытие Дирака поставило перед учёными очередной трудный вопрос. Его формулы согласуются друг с другом, только если предположить, что во Вселенной ровно столько же антивещества, сколько и вещества. Но этого не наблюдается — иначе мы видели бы непрерывные аннигиляционные процессы, сопровождающиеся мощным выделением энергии. Чтобы объяснить парадокс, учёный придумал гипотетическую модель вакуума, позднее получившую название «море Дирака». Согласно этой модели, всё пространство заполнено «ненаблюдаемыми» электронами. При приложении внешней энергии электрон переходит с «ненаблюдаемого» уровня на «наблюдаемый». На его месте образуется «дырка», имеющая массу электрона, но противоположный заряд, — рождается антиэлектрон. При аннигиляции (то есть при столкновении электрона и антиэлектрона) электрон снова заполняет «дырку» и становится «ненаблюдаемым», возвращая реальности то количество энергии, которое приобрёл ранее, когда переходил в «наблюдаемое» состояние.

Поскольку к моменту, когда Дирак сформулировал свою концепцию, физики знали о существовании всего трёх субатомных частиц — фотона (квант света), электрона (квант отрицательного заряда)

■ Работы Поля Дирака трудны для понимания, но его теории блестяще подтверждаются на практике



и протона (квант положительного заряда), он предположил, что «дыркой» является протон. Коллеги встретили новую идею Дирака с большим скепсисом: протон в 2000 раз тяжелее электрона, и было неясно, из-за чего образуется подобная разница в массе.

Если Дирак прав, то получалось, что атом водорода состоит из электрона и «дырки». Поскольку электрон стремится занять состояние с меньшей энергией, то он неизбежно должен «упасть» на протон и аннигилировать, превратившись в гамма-кванты (фотоны высоких энергий). Молодой американский физик Роберт Оппенгеймер, будущий «отец» первой ядерной бомбы, посчитал, что в таком случае время жизни атома водорода составит 10^{-10} секунды. Посыпались насмешки. Например, швейцарец Вольфганг Паули заявил, что любую физическую теорию нужно применять прежде всего к её автору, — следовательно, Дирак должен был давно исчезнуть во вспышке света. Даже великий Нильс Бор пошутил, заявив, что знает, как поймать слона: надо разместить на тропе, по которой слоны ходят на водопой, плакат с изложением концепции Дирака. Слон прочтёт, задумается, и в этот момент его можно брать голыми руками.

Поль Дирак и сам понял, что протон не годится на роль «дырки», поэтому в сентябре 1931 года выдвинул новую гипотезу: «Дырка должна быть новым типом частицы, неизвестной ещё в экспериментальной физике. У неё должна быть та же масса, что и у электрона, а заряд — противоположный заряду электрона. Мы можем получить такие частицы экспериментально в высоком вакууме, где они будут вполне стабильны и доступны для изучения. Столкновение двух жёстких гамма-лучей должно привести к одновременному рождению электрона и антиэлектрона... протоны же должны иметь свои собственные состояния с отрицательной энергией».

Частица, описанная Дираком и получившая название «позитрон», была выявлена незадолго до появления гипотезы о её существовании. В 1929 году советский физик Дмитрий Скобельцын, изучая космические лучи, обнаружил частицы, которые по всем параметрам соответствовали электронам, но имели противоположный (положительный) заряд. К сожалению, Скобельцын не был знаком с теорией Дирака, поэтому не нашёл этому объяснений.

Осмысленный результат был получен, когда поисками позитронов занялся аме-



■ Макс Планк заложил основы квантовой механики

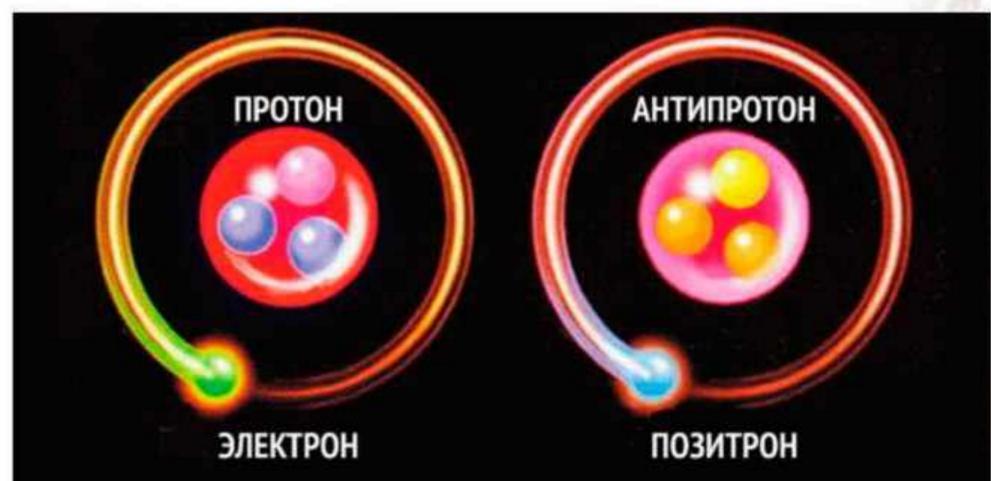


■ Альберт Эйнштейн сформулировал положения специальной теории относительности



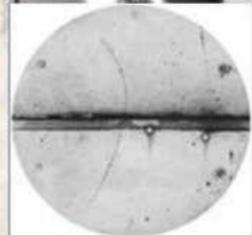
■ Поль Дирак был одним из наиболее выдающихся физиков XX века

■ Частицы антиматерии имеют такие же характеристики и свойства, как и частицы материи, но с противоположным знаком





■ Великий физик Нильс Бор высмеял теорию Поля Дирака, заявив, что она годится только для ловли слонов



■ Карл Андерсон занимался поисками позитронов целенаправленно. Снизу — исторический снимок трека позитрона в «камере Вильсона»

■ С помощью усовершенствованной «камеры Вильсона» советский учёный Дмитрий Скобельцын случайно открыл позитроны до того, как их предсказал Поль Дирак

риканский физик Карл Андерсон. В августе 1932 года он зарегистрировал их, исследуя космическое излучение. Теоретические выкладки Дирака и Шустера наконец-то были подтверждены экспериментально.

Началась «охота» на позитроны. Ещё через два года знаменитые французские экспериментаторы-ядерщики Ирен и Фредерико Жолио-Кюри зафиксировали позитроны, рождающиеся в результате радиоактивного распада изотопов различных веществ. Тогда появилась альтернативная таблица химических элементов, составленная инженером Чарльзом Джанетом: она учитывала открытия в области квантовой механики и могла быть использована для описания антивеществ.

Однако позитрон — это всего лишь субатомная частица; антиатом должен состоять ещё из антинейтрона и антипротона. Зарегистрировать их оказалось гораздо сложнее. Антипротон был получен только в 1955 году на специальном ускорителе «Беватрон» в Лаборатории имени Лоуренса в Беркли; там же через год удалось по косвенным признакам определить наличие антинейтрона. В 1965 году в Европейской центре ядерных исследований были синтезированы ядра дейтерия (стабильного изотопа водорода), сложенные из антипротона и антинейтрона.

НЕЗЕМЕЛЬЕ РОЖАНСКОГО

Теория, придуманная Полем Дираком буквально «на кончике пера», получила подтверждение в наблюдениях и экспериментах. Антивещество оказалось реальным! Напрашивался вывод, что где-то есть планеты, звёзды и даже галактики, целиком состоящие из антивещества, причём их количество, если принцип глобальной симметрии работает, не должно уступать количеству космических объектов, состоящих из обычной материи.

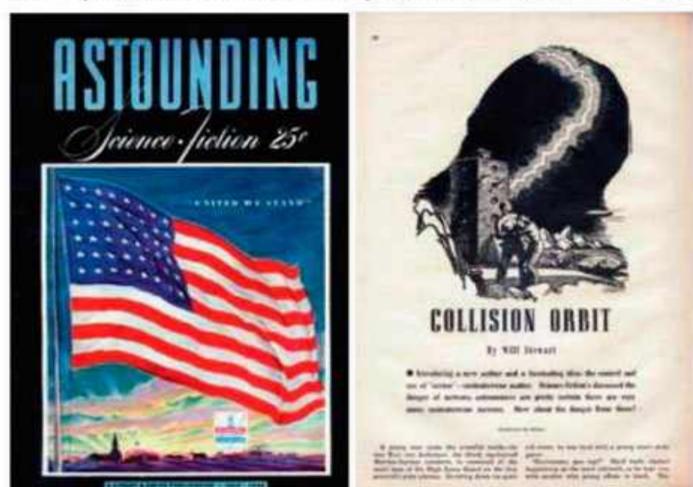


К такому умозаключению пришёл американский физик Владимир Рожанский, опубликовавший в 1940 году статью «Гипотеза о существовании неземельной материи» (The Hypothesis of the Existence of Contraterrene Matter). За пять лет до этого Рожанский ввёл понятия «земелье» (terrene) и «неземелье» (contraterrene) для объектов, состоящих из вещества и антивещества соответственно. Физик был убеждён, что Вселенная переполнена антивеществом, но в Солнечной системе его осталось мало — антивещество аннигилировало на заре её формирования. В то же время среди тел, которые иногда к нам прилетают (кометы, метеороиды), вполне могут оказаться «неземельные». Их можно обнаружить по аномально высокой температуре поверхности и характерному гамма-квантовому излучению, которое они должны испускать при столкновениях с частицами «земельного» вещества. Гипотезу Рожанского поддержал астроном Линкольн Лапас, который заявил, что с её помощью можно объяснить наличие на земле ударных кратеров, где не обнаружено метеоритного вещества.

Статья «Гипотеза о существовании неземельной материи» попала на глаза Джону Кэмпбеллу-младшему — писателю и редактору знаменитого журнала Astounding Science Fiction, давшего путёвку в жизнь не одному культовому фантасту. Кэмпбелл всегда внимательно следил за достижениями физики и астрономии, предлагая авторам, сотрудничавшим с его журналом, свежие идеи для рассказов. Гипотетические тела из антивещества захватили его воображение: Кэмпбелл решил, что в будущем отчаянные космонавты будут охотиться за ними на окраинах Солнечной системы, пренебрегая опасностью случайного соприкосновения, которое чревато мгновенной аннигиляцией.

Сначала Джон Кэмпбелл предложил написать об охотниках за «неземельными» телами Роберту Хайнлайну, но тот отказался. Пришлось искать более сговорчивого автора. В итоге за тему взялся опытный фантаст Джек Уильямс, публиковавшийся в то время под псевдонимом Уилл Стюарт. В июле 1942 года появилась первая новелла «Орбита столкновения» (Collision Orbit): в ней рассказывалось о космическом инженере Джиме Дрейке, который научился управлять астероидами из антивещества с помощью магнитных полей.

■ Первая новелла Джека Уильямса об охотниках за астероидами из антивещества увидела свет в июле 1942 года



Следующая история «Знак минус» (Minus Sign) о сыне инженера Рике Дрейке появилась в ноябрьском номере за тот же год, а ещё более пространный текст «Противоположное действие» (Opposites – React!) – в январском и февральском номерах следующего года. В 1951 году цикл был издан в виде книги под названием «Неземельный корабль» (Seetee Ship). Отдельно вышел и тематически связанный с циклом роман «Неземельный удар» (Seetee Shock, 1949), известный у нас под заголовком «Судьба астероида».

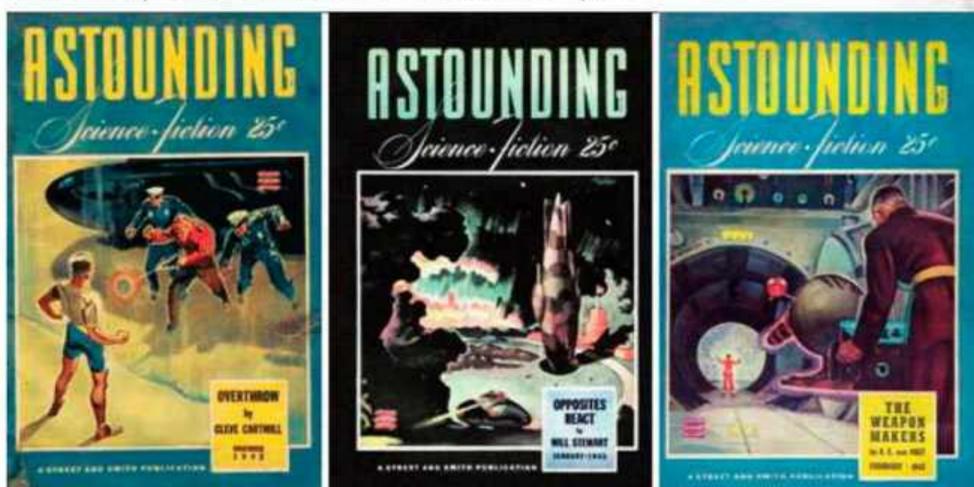
Благодаря Джону Кэмпбеллу и Джеку Уильямсу тема «неземельной» материи, которую со временем всё-таки стали по старинке называть «антиматерией», сделалась одним из обязательных атрибутов фантастики о космическом будущем человечества. Скажем, именно на двигателе, использующем аннигиляцию антивещества, летает корабль «Энтерпрайз» из бессмертной саги «Звёздный путь».

В дальнейшем фантасты неоднократно обыгрывали гипотезу Рожанского. Например, в романе Джеймса Блиша «Триумф времени» (A Clash of Symbals, 1958) о ней рассказывается как о доказанном факте, имеющем значительные космологические последствия. В повести польского писателя и астроном-любителя Кшиштофа Боруна «Антимир» (Antyświat, 1960) представлена бесславно провалившаяся попытка контакта землян с обитателями системы звезды Прокцион, которая оказалась полностью состоящей из антивещества. Известный научный фантаст Ларри Нивен в остроумной новелле «Брюхошлёп» (Flatlander, 1967) опи-

■ Романы Джека Уильямса неоднократно переиздавались, что сделало тему антиматерии одним из популярных клише научной фантастики и космической оперы



■ На страницах журнала Astounding Science Fiction были опубликованы все тексты, вошедшие в роман Джека Уильямса «Неземельный корабль»



сал несущуюся с релятивистской скоростью сквозь пространство «протозвезду», вокруг которой вращается «антипланета».

Концепцию антимира развил и Иван Ефремов в романе «Час Быка» (1970): «Антимир, чёрный мир был назван учёными Тамасом, по имени океана бездеятельной энергии в древнеиндийской философии. Он во всех отношениях полярен нашему миру и поэтому абсолютно не воспринимаем нашими чувствами. Только недавно специальными приборами, как бы «вывернутыми» по отношению к приборам нашего мира, условно названного миром Шакти, начали нащупывать контуры Тамаса».

Вдохновлённые успехами науки по синтезированию позитронов, фантасты пришли к мнению, что для достижения антимира вовсе нет необходимости летать в дальний космос – достаточно построить оборудование, способное преодолеть незримый барьер, находящийся в высших измерениях пространства-времени. Такой вариант можно найти в рассказах советских писателей



■ Писатель и редактор Джон Кэмпбелл-младший всегда с особым вниманием следил за научными открытиями

ПЕРВЫЙ АННИГИЛЯТОР

В истории литературы сохранилось несколько удивительных текстов, которые заметно опередили своё время. К ним относится и футурологическая реконструкция «Последние и первые люди: история близлежащего и далёкого будущего» (Last and First Men: A Story of the Near and Far Future), опубликованная английским прозаиком Олафом Стэплдоном в 1930 году. В ней автор описал будущее аж на два миллиарда лет вперёд.

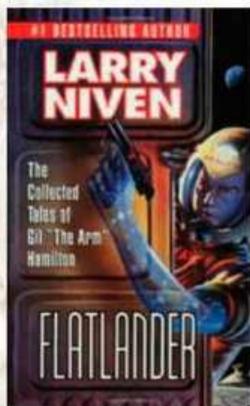
В реконструкции встречаются относительно точные предсказания. Например, Олаф Стэплдон полагал, что глобальные изменения цивилизации начнутся после опустошительной войны между Германией и советской Россией, причём толчком к ней станет немецкий национализм (до прихода Гитлера к власти на момент написания оставалось ещё три года).

Среди множества технических новшеств, которые описывал Стэплдон, встречается ружьё, способное превращать материю в антиматерию с последующей аннигиляцией. Европейские учёные применяют его против американского воздушного флота, и в итоге Соединённые Штаты заваливают Европу сотнями тысяч химических бомб и полностью уничтожают население. Впоследствии, через много веков, учёные переоткрывают секрет аннигиляции, но используют её не для уничтожения себе подобных, а как источник движения «эфирных кораблей», с помощью которых осваивают Солнечную систему.

Таким образом, английского футуролога нужно признать первым автором, который описал возможные сферы применения аннигиляции – от разрушительного оружия до межпланетных полётов.



■ Знаменитый звездолёт «Энтерпрайз» летает на двигателе, использующем аннигиляцию антивещества



■ В забавном рассказе «Брюхошлёп» Ларри Нивена персонажи отправляются на «самую странную» планету в Галактике и только после прибытия выясняют, что она состоит из антивещества

Олеся Бердника «Путешествие в антимир» (1962), Анатолия Днепров «Лицом к стене» (1962), Севера Гансовского «Кристалл» (1969). Впрочем, игры с измерениями могут привести к инверсии материи в антиматерию, что чревато негативными последствиями, как в романах Чарльза Харнесса «Кольца Риторнеля» (The Rings of Ritornel, 1968) и Владимира Михайлова «Дверь с той стороны» (1971).

Складывалось впечатление, что антивещество — это нечто распространённое и доступное, ведь позитроны, как выяснилось, испускает даже человеческое тело (точнее, изотоп калий-40, который в нём содержится). И тут природа подбросила сюрприз.

БЕЗДНА ЭНЕРГИИ

Первооткрыватели антипротона и антинейтрона получили Нобелевскую премию, и о них активно писала пресса. Казалось, что ещё немного — и будет освоен источник

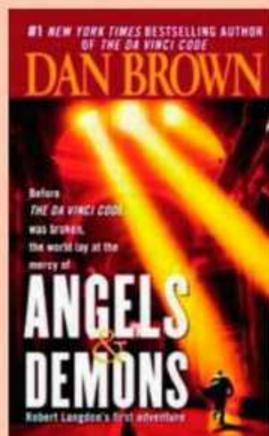
ОРУЖЕЙНАЯ АНТИМАТЕРИЯ

Физики, а вслед за ними и фантасты прекрасно понимают, что даже незначительное количество антивещества представляет собой страшное оружие. Взрывные устройства из антивещества можно встретить в циклах Иэна Бэнкса «Культура» (Culture, 1987–2012), Аластера Рейнольдса «Пространство Откровения» (Revelation Space, 1997–2014) и Уолтера Уильямса «Конец империи страха» (Dread Empire's Fall, 2002–2005).

Большой резонанс в обществе вызвал триллер Дэна Брауна «Ангелы и демоны» (Angels & Demons, 2000), в котором коварный кардинал использует четверть грамма антивещества, похищенного в ЦЕРНе, для шантажа Ватикана. Из-за шумихи, вызванной романом и снятым по нему фильмом, специалисты ЦЕРНа были вынуждены выступить с разъяснениями, что описанная ситуация невозможна в принципе, поскольку не существует способа долго хранить и транспортировать антивещество.

Тем не менее военные круги США периодически проявляют интерес к антивеществу как к источнику большой разрушительной силы. В 2004 году рассматривался проект «позитронной» пули для снайперской винтовки, стоимость которой оценивалась в 600 тысяч долларов за штуку, причём без учёта цены на защитную оболочку: авторы проекта не смогли сказать, как она будет устроена.

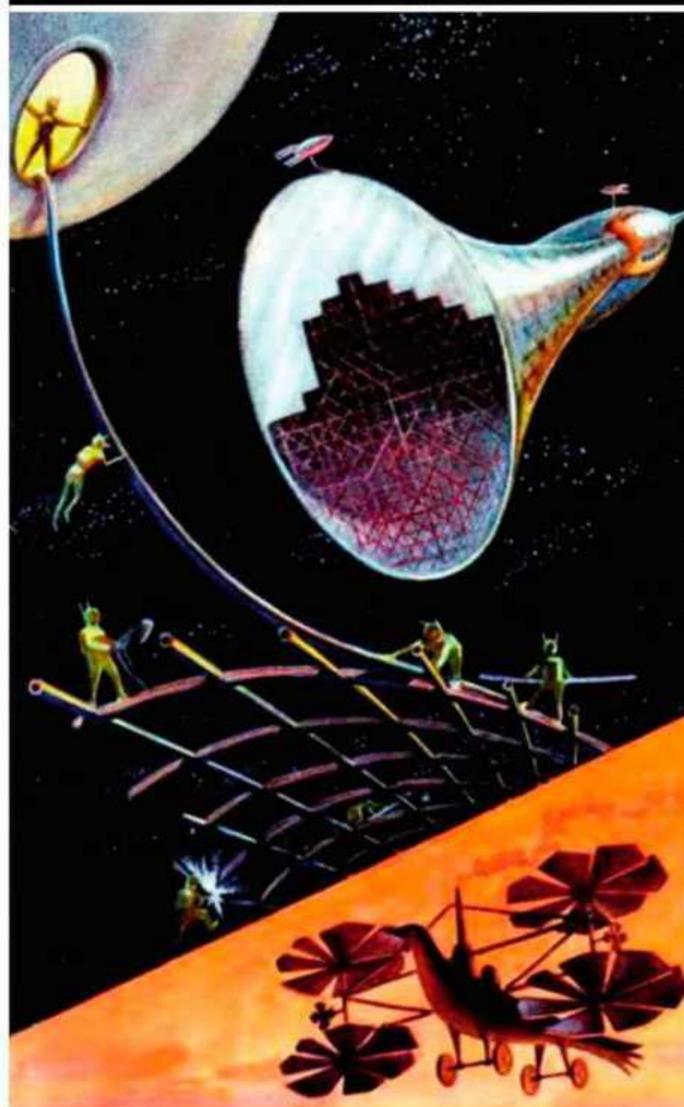
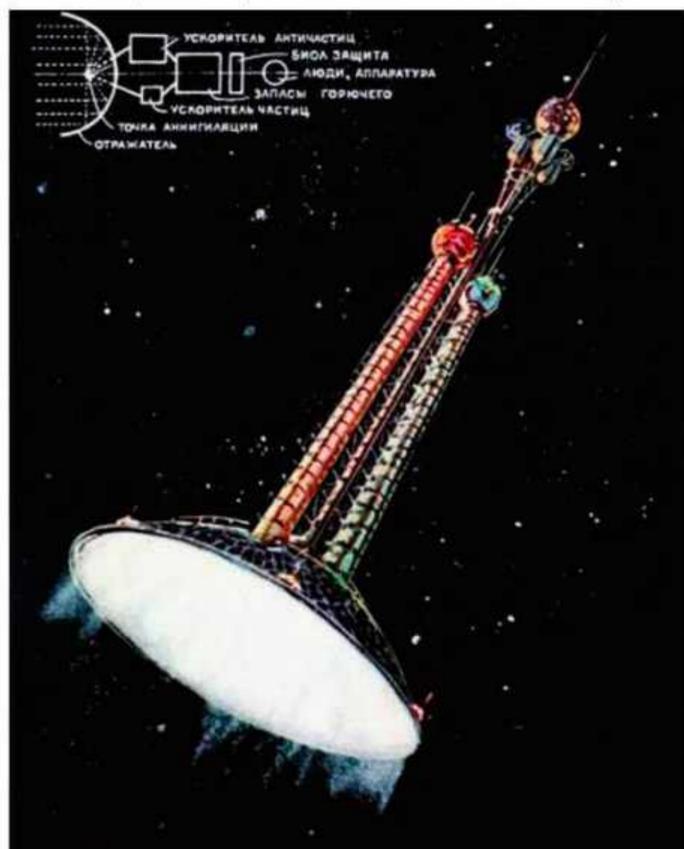
В рамках другого проекта, первые материалы по которому появились в 2012 году, предлагается использовать антипротон для катализации реакции ядерного распада в докритических массах плутония или урана. Таким способом можно заметно снизить вес атомных устройств, чтобы использовать их в том числе для разгона космических аппаратов.



■ В романе «Час Быка» Иван Ефремов описывал антимир как некое чёрное инфернальное пространство



■ В советской научно-популярной и фантастической литературе фотонные ракеты пользовались неизменным успехом



неиссякаемой энергии за счёт аннигиляции. Например, подсчитано, что при взаимодействии 1 кг вещества с 1 кг антивещества выделится энергия, соответствующая взрыву 43 мегатонн тротила. Это сопоставимо с энерговыделением термоядерной «Царьбомбы», которая весила 26,5 тонн. Поэтому футурологи конца 1950-х годов ожидали, что аннигиляция будет повсеместно использоваться на электростанциях или даже на звездолётах.

Идею фотонного двигателя выдвинул австрийский учёный Эйген Зенгер, вошедший в историю как конструктор межконтинентального бомбардировщика «Серебряная птица» (Silbervogel), который он проектировал во время войны для авиации Третьего рейха. В 1956 году Зенгер опубликовал солидную монографию «К механике фотонных ракет» (Zur Mechanik der Photonen-Strahlantriebe). Она почти сразу была переведена на русский язык и стала одним из источников вдохновения для Аркадия и Бориса Стругацких, которые в то время активно работали над своим первым романом «Страна багровых туч» (1959). Идея Зенгера была проста: при контакте вещества и антивещества образуются фотоны высоких энергий; если их направить на поверхность с высокими отражающими свойствами (идеальное зеркало), то возникнет реактивный импульс, причём можно достичь скоростей, близких к световой. Растущая известность братьев Стругацких и многочисленные статьи, в которых популяризировалась идея фотонных ракет, сделали её актуальной на два десятилетия — по крайней мере, в советской литературе. Кстати, на фотонной тяге летает и «Непобедимый» из одноимённого романа Станислава Лема.

Однако позднее выяснилось, что при аннигиляции получаются не чистые гамма-кванты, а довольно пёстрая смесь субатомных частиц, из-за чего две трети энергии невозможно использовать в двигателе. Серьёзные трудности вызывает и создание «идеального зеркала». Но самым сложным оказалось получить антивещество. Поиски, предпринятые астрономами, и исследования Солнечной системы с помощью межпланетных аппаратов показали, что в обозримом космосе нет гипотетических «неземельных» объектов Рожанского. Хуже того, никак не удаётся синтезировать достаточное количество антивещества, ведь добывать его можно только в огромных ускорителях частиц — «беватронах» и «тэватронах», а хранить придётся в сильном электромагнитном поле, поскольку, как мы помним, любое соприкосновение с веществом приводит к аннигиляции.

К настоящему моменту физики сумели синтезировать антиводород и антигелий; о более тяжёлых химических элементах даже речи не идёт. Причём количество искусственного антивещества ничтожно (отдельные атомы и ядра), а удержать его в магнитной «ловушке» удаётся всего несколько секунд. По оценке экспертов NASA, стоимость одного грамма антиводорода составит 62,5 триллиона долларов! То есть

о каком-то промышленном использовании аннигиляции говорить не приходится.

Все эти проблемы заставили учёных задуматься о том, что принцип глобальной симметрии по каким-то причинам нарушен. То есть вполне вероятно, что в момент рождения Вселенной возникли примерно равные количества вещества и антивещества, но потом, после аннигиляции, осталось только «обычное» вещество, из которого и сложился весь известный нам мир.

Гипотезу требовалось проверить, что и было сделано. Восемь лет продолжался эксперимент DZero на «Тэватроне» Национальной лаборатории имени Ферми в Батавии (штат Иллинойс). Исследователи из международной группы наблюдали сто триллионов столкновений протонов с антипротонами и обнаружили, что образующихся при аннигиляции мюонов на 1% больше, чем антимюонов.

Получается, что непосредственный опыт выявил фундаментальную асимметрию при рождении новых частиц: вещества *всегда* возникает больше, чем антивещества. Объяснения этому странному явлению нет. И до тех пор, пока оно не будет получено, мы не узнаем, куда исчезли антимирры, существующие сейчас лишь в нашем воображении. ☞



■ Во время Второй мировой войны Эйген Зенгер занимался космическими бомбардировщиками, а после неё — фотонными ракетами

■ На циклопическом «Тэватроне» Национальной лаборатории имени Ферми в ходе многолетнего эксперимента была выявлена фундаментальная физическая асимметрия: антивещества всегда получается меньше, чем вещества

