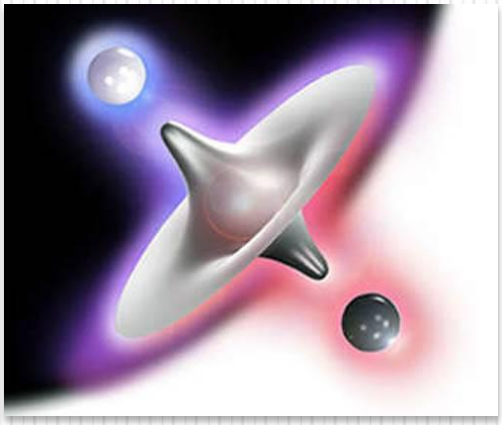
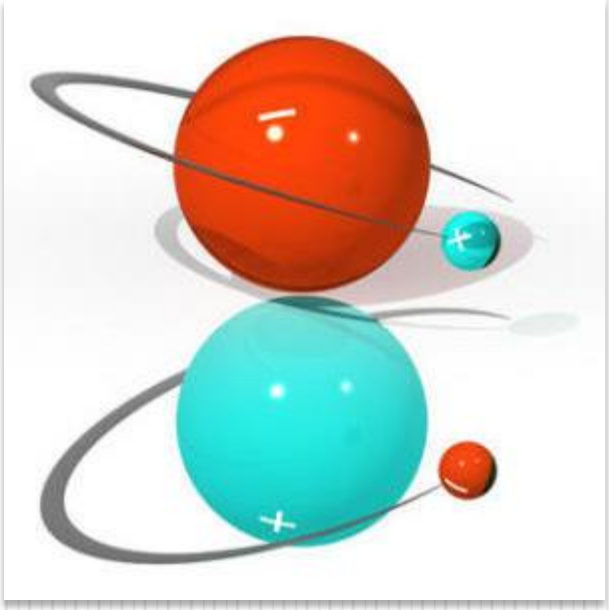
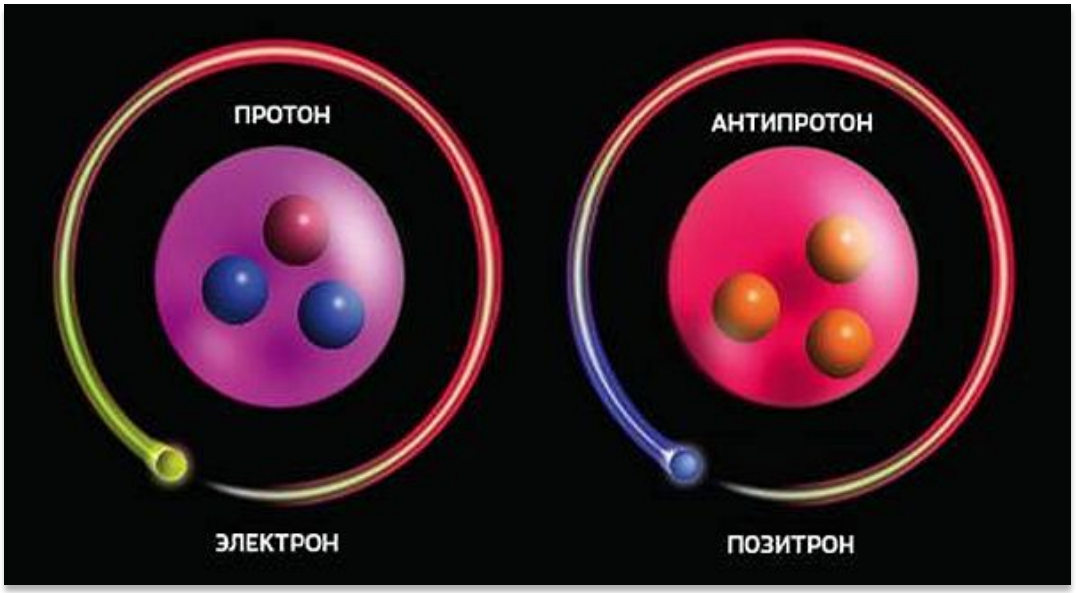
Антиматерия





Антиматерия — материя, состоящая из античастиц



Обнаружение первых античастиц

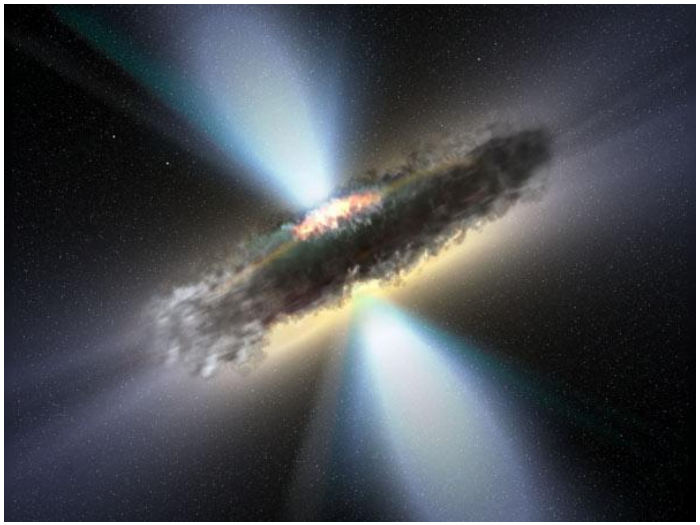
- **позитрон – антиэлектрон, предсказанный теоретически Дираком, был найден в космических лучах К. Андерсоном в 1932 году.**

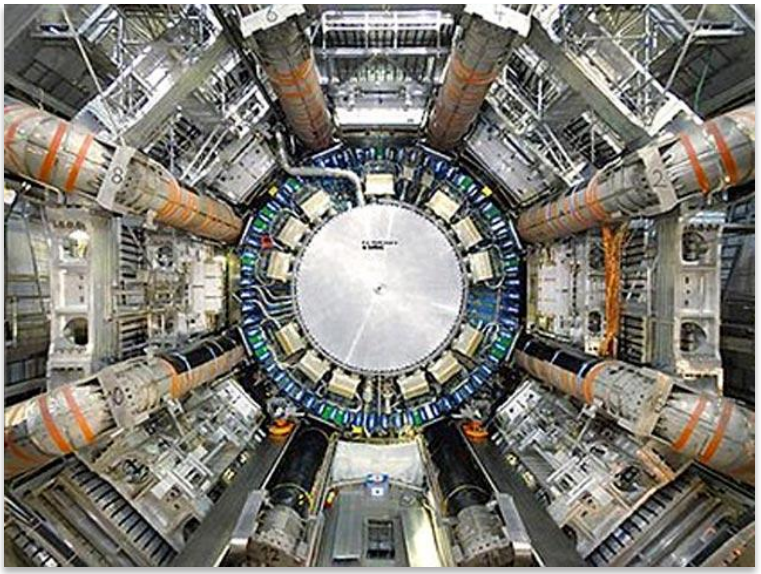
  (Нобелевская премия –1936 г.)

- **антипротон – в 1955 году (Чемберлен, Сегре, Ипсилантис).**

  (Нобелевскую премию получили Э. Сегре и О. Чемберлен в 1959 г.)

Первые искусственные античастицы – ядра антидейтерия, содержащие антипротон и антинейтрон, были синтезированы в 1965 году (Leiderman и др.) в Европейской лаборатории физики элементарных частиц (CERN, Женева, Швейцария) и Брукхейвенской национальной лаборатории (США)





Затем ядра антигелия-3 (два антипротона и антинейтрон) и антитрития (антипротон и два антинейтрона) были синтезированы в 1969 году Ю. Прокошкиным и др. на 70-ГэВ протонном ускорителе в Институте физики высоких энергий (Протвино, СССР)

В ЦЕРНе на низкоэнергетическом антипротонном кольце интернациональная команда под руководством Вальтера Элерта (W.Oelert) синтезировала в 1995 году первые девять атомов антивещества – антиводорода в результате столкновений антипротонов и атомов ксенона

(антипротоны полетали через газообразный ксенон примерно 3 миллиона раз в секунду)

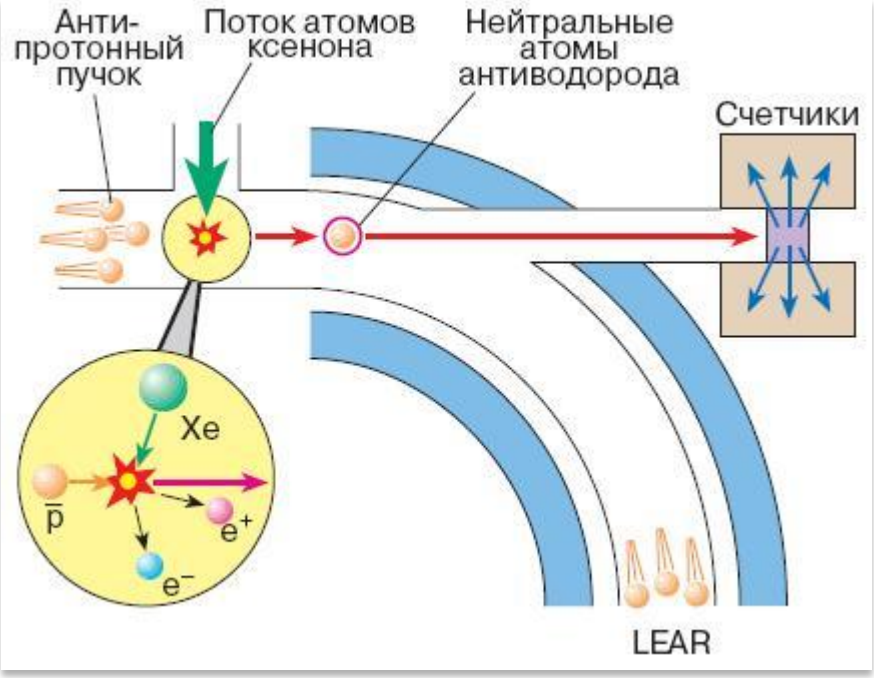
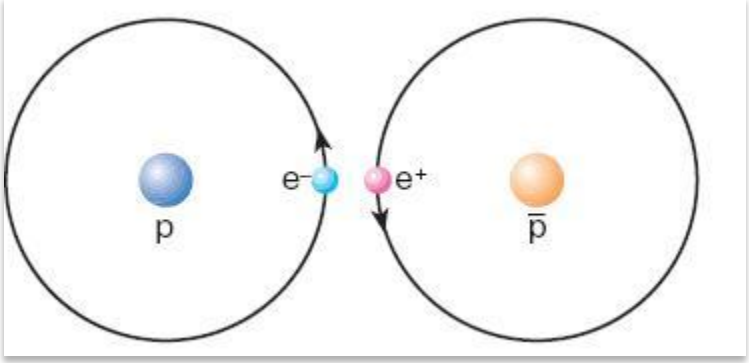


Схема установки, позволившей впервые получить атомы антиводорода

В 1996 году в Национальной ускорительной Ферми лаборатории (Fermi National Accelerator Laboratory, Batavia, USA) также были получены антиатомы водорода.



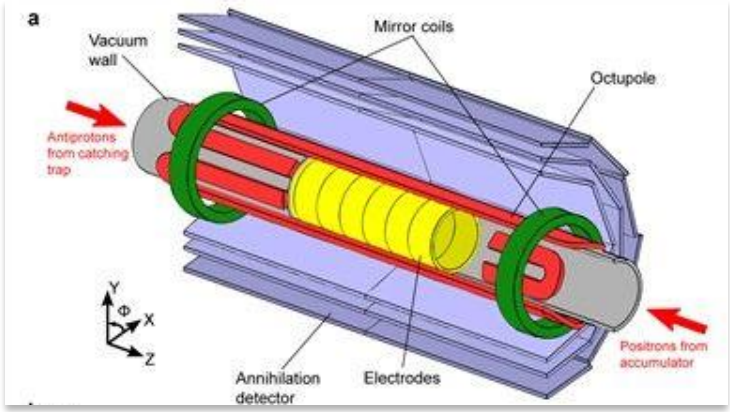
Атомы антиподы: водород и антиводород

При прохождении через атом ксенона антипротон затрачивал часть своей энергии на создание пары электрон-позитрон, а в достаточно редких случаях близости скоростей антипротона и позитрона возникал антиатом водорода:

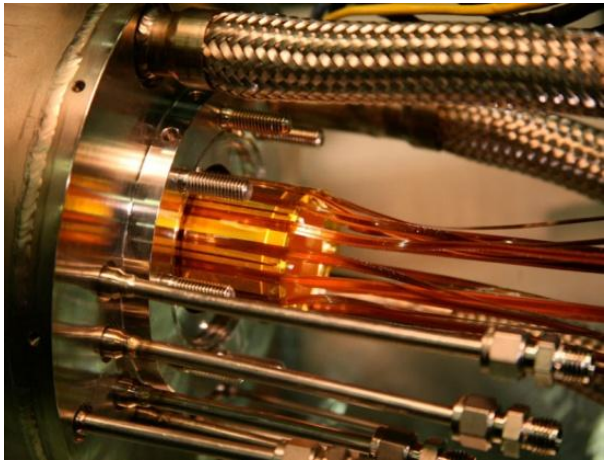
$$\bar{p} + Z \rightarrow \bar{p} + e^{+} e^{-} + Z \rightarrow \bar{H} + e^{-} + Z$$

Эти антиатомы существовали биллионные доли секунды на протяжении около десяти метров, после чего аннигилировали с обычным веществом. Получаемый в результате аннигиляции сигнал и служил подтверждением создания атомов антивещества.

Впервые «собрать» из субатомных античастиц атомы антиматерии в 2002 году сотрудникам CERN



Изучая антиатомы, физики рассчитывают прояснить вопрос о недостатке антивещества во Вселенной, но до сих пор ученым не удавалось удерживать антиводород от аннигиляции с "обычной" материей достаточное для изучения время.

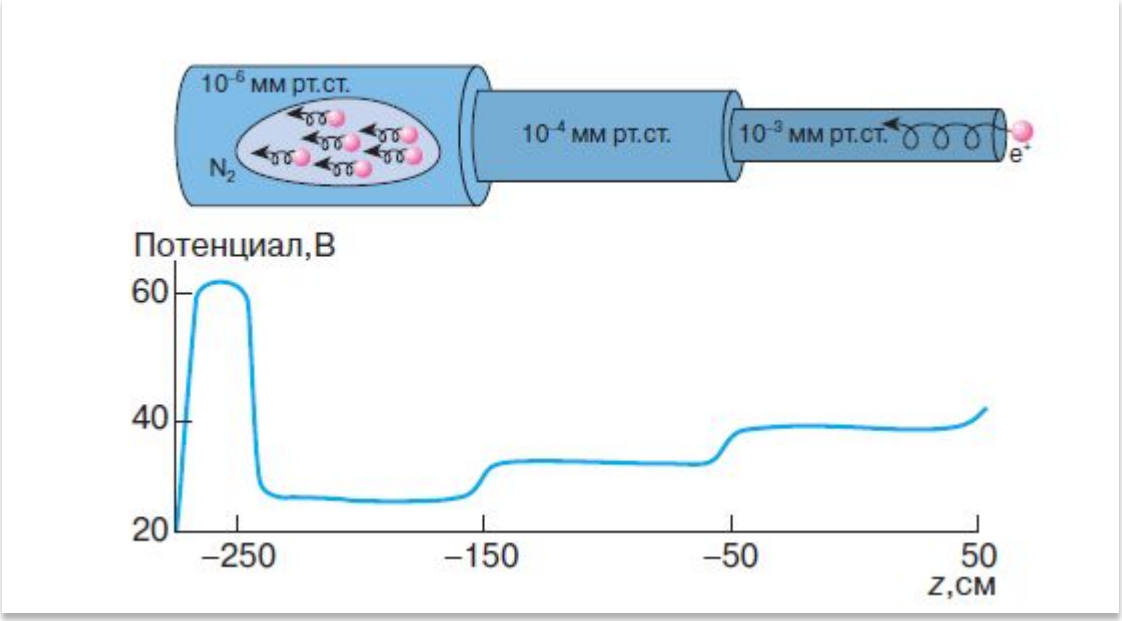


Ловушка Пеннинга

В 2010 году физикам впервые удалось кратковременно поймать в «ловушку» атомы антивещества.

Для этого ученые охлаждали облако, содержащее около 30000 антипротонов, до температуры 200 К (-73,15^0 С), и облако из 2*10^6 позитронов до температуры 40 К (- 233,15^0 С).

Физики охлаждали антивещество в ловушке Пеннинга, встроенной внутрь ловушки Иоффе-Питчарда. В общей сложности было поймано 38 атомов, которые удерживались 172 мс.



Потери энергии за единицу времени составляют

$$\frac{\partial \mathscr{E}}{\partial t} = -\frac{2q^4 H^2}{3m^4 c^7}(\mathscr{E}^2 - m^2 c^4).$$

где q, m, ε - соответственно заряд, масса и энергия частицы, c – скорость света

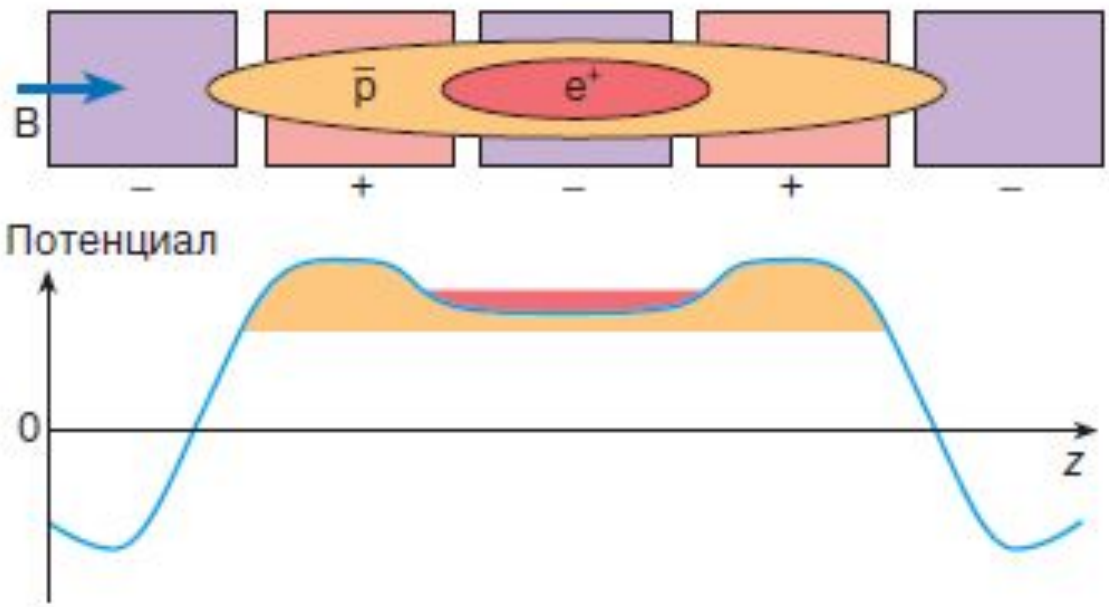


Рис. 4. Одновременное удержание антипротонов и позитронов электрическим полем в рекомбинационной камере

$$\bar{e} + \bar{p} = \bar{H} + \hbar\omega,$$

Объединению античастиц помогает и лазер

В 1991 г. экспериментально наблюдалось явление лазерно – стимулированной рекомбинации электронов и протонов , приводящее к образованию атомов водорода.

$$e + p + n\hbar\omega = H + (n+1)\hbar\omega,$$

При этом использовалось либо излучение CO_2 лазера, либо длинный импульс лазера на красителе.

По той же схеме можно стимулировать рекомбинацию позитрона и антипротона.

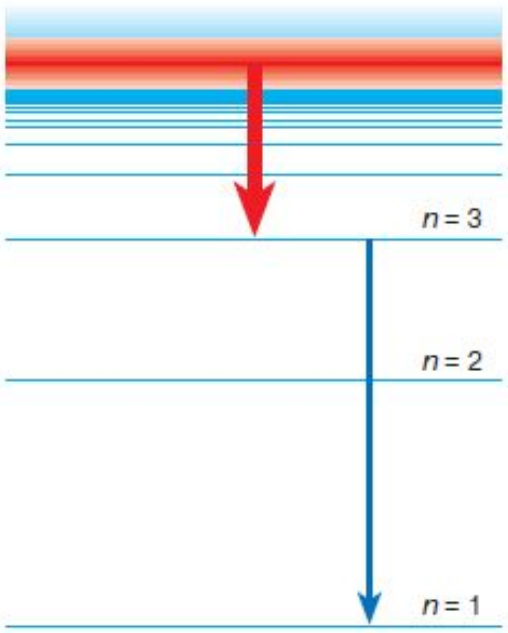
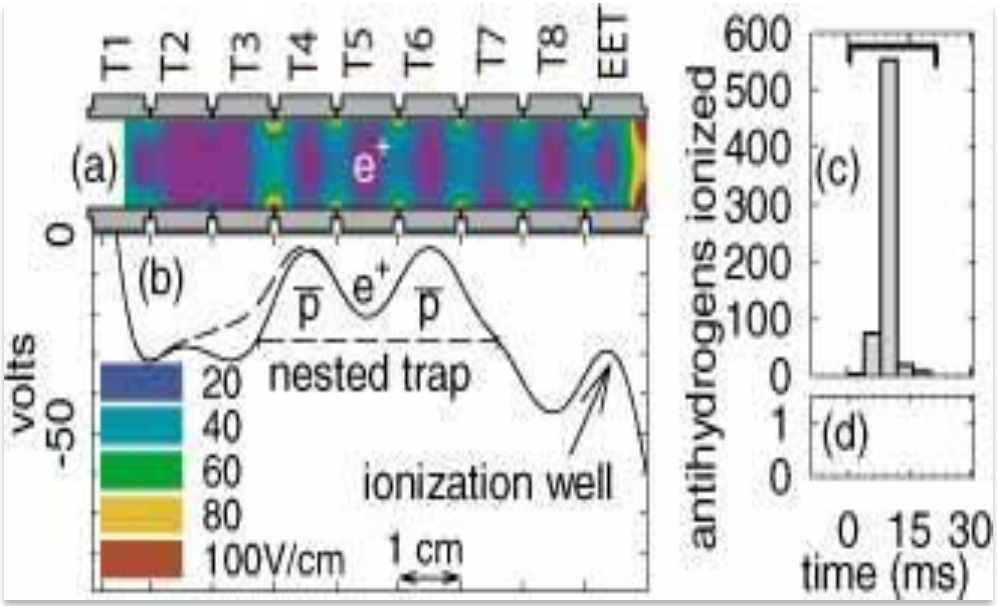


Рис. 5. Лазерно-стимулированная рекомбинация

$$E + \hbar\omega_{0n} = \hbar\omega,$$

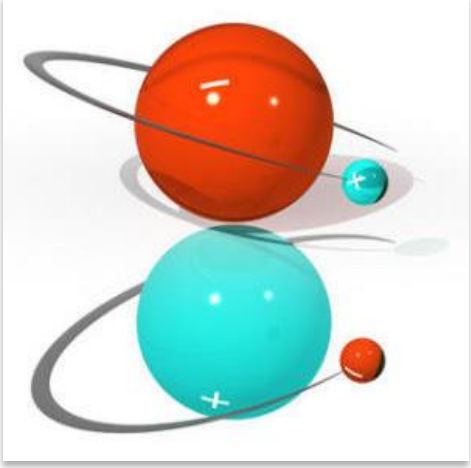
Ученые из ATHENA Collaboration регистрировали атомы антиводорода при высвобождении их из ловушки, когда они аннигилировали при взаимодействии с ее стенками.

Всего было зарегистрировано около 130 случаев аннигиляции атомов антиводорода, что (по оценке) соответствует примерно 50000 образовавшимся атомам.



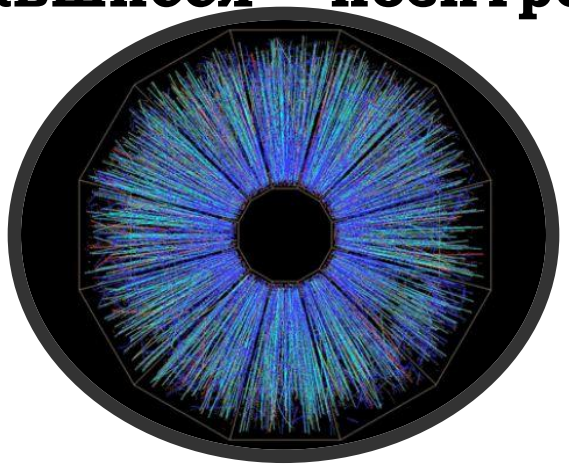
Ученые из ATRAP Collaboration смогли зарегистрировать атомы антиводорода *без какого-либо фонового сигнала*

В мае 2011 года результаты предыдущего эксперимента удалось значительно улучшить — на этот раз было поймано 309 антипротонов, которые удерживались 1000 секунд. Дальнейшие эксперименты по удержанию антивещества призваны показать наличие или отсутствие для антивещества эффекта антигравитации.



При взаимодействии вещества и антивещества их масса превращается в энергию. Такую реакцию называют *аннигиляцией*.

Подсчитано, что при вступлении во взаимодействие 1 кг антиматерии и 1 кг материи выделится приблизительно $1{,}8\times10^{17}$ ДЖ энергии, что эквивалентно энергии выделяемой при взрыве 42,96 Мт тротила. Самое мощное ядерное устройство из когда-либо взрывавшихся на планете, «Царь-бомба» (вес ~ 20 т), соответствовало 57 Мт. Следует отметить, что порядка 50% энергии, выделившейся при аннигиляции (реакции пары нуклон-антинуклон), выделяется в форме нейтрино, которые практически не взаимодействуют с веществом.

В космосе позитроны рождаются при взаимодействии с веществом гамма-квантов и энергичных частиц космических лучей, а также при распаде некоторых типов этих частиц. Таким образом, часть первичных космических лучей составляют позитроны, так как в отсутствие электронов они стабильны. В некоторых областях Галактики обнаружены аннигиляционные гамма-линии, доказывающие присутствие позитронов.

В нормальных условиях частицы антиматерии практически мгновенно уничтожаются за счет контакта с обычной материей, превращаясь в гамма-лучи. Считается, что в первые мгновения после Большого Взрыва количество позитронов и электронов во Вселенной было примерно одинаково, однако при остывании эта симметрия нарушилась. Пока температура Вселенной не понизилась до 1 МэВ, тепловые фотоны постоянно поддерживали в веществе определённую концентрацию позитронов путём рождения электрон-позитронных пар (такие условия существуют и сейчас в недрах горячих звёзд). После охлаждения вещества Вселенной ниже порога рождения пар оставшиеся позитроны аннигилировали с избытком электронов.