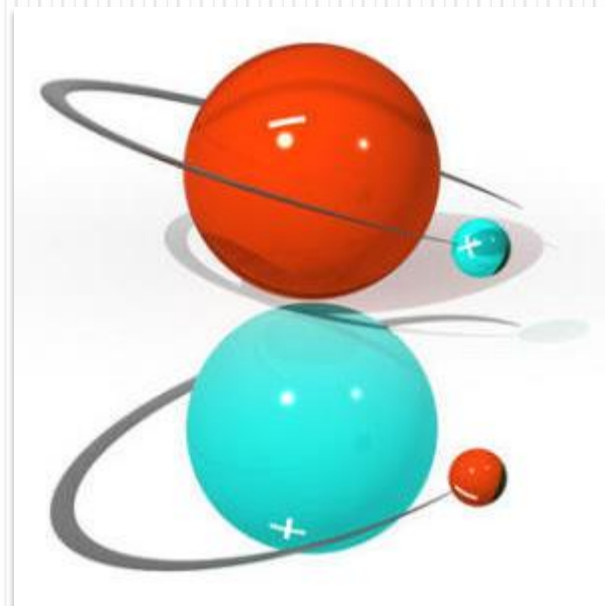
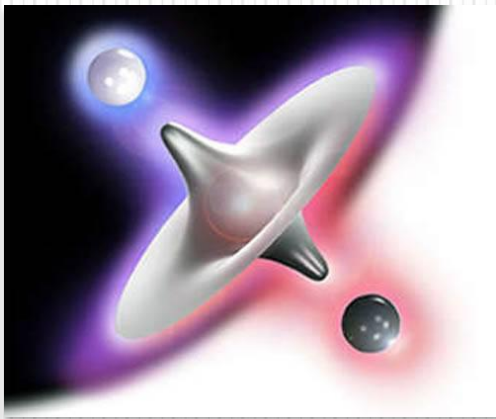
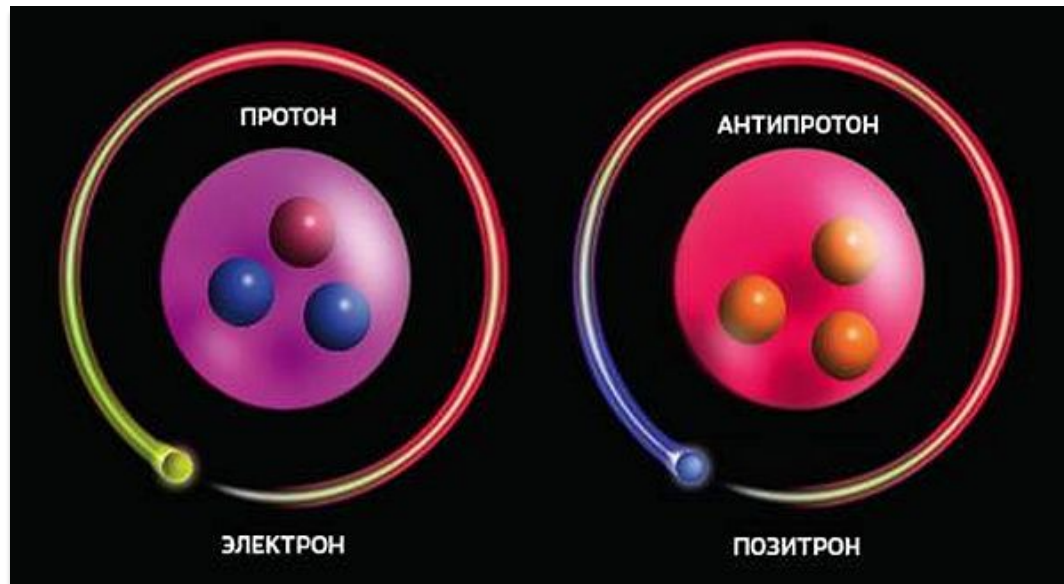


Антиматерия



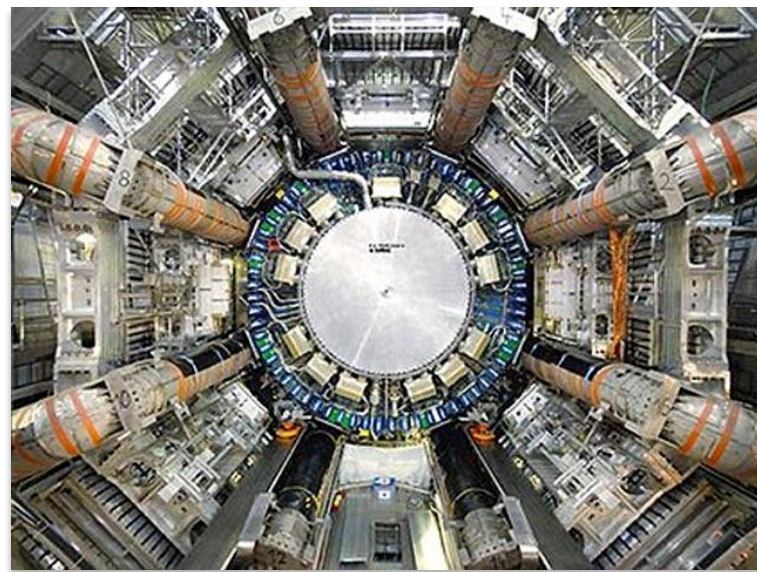
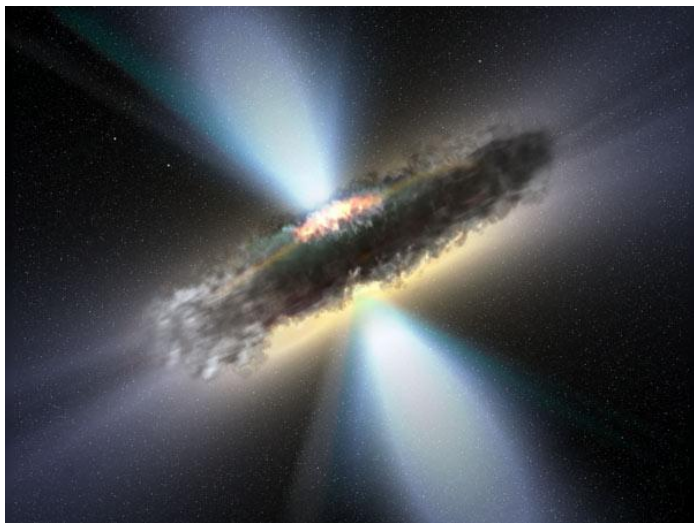
*Антиматерия – материя,
состоящая из античастиц*



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.)**

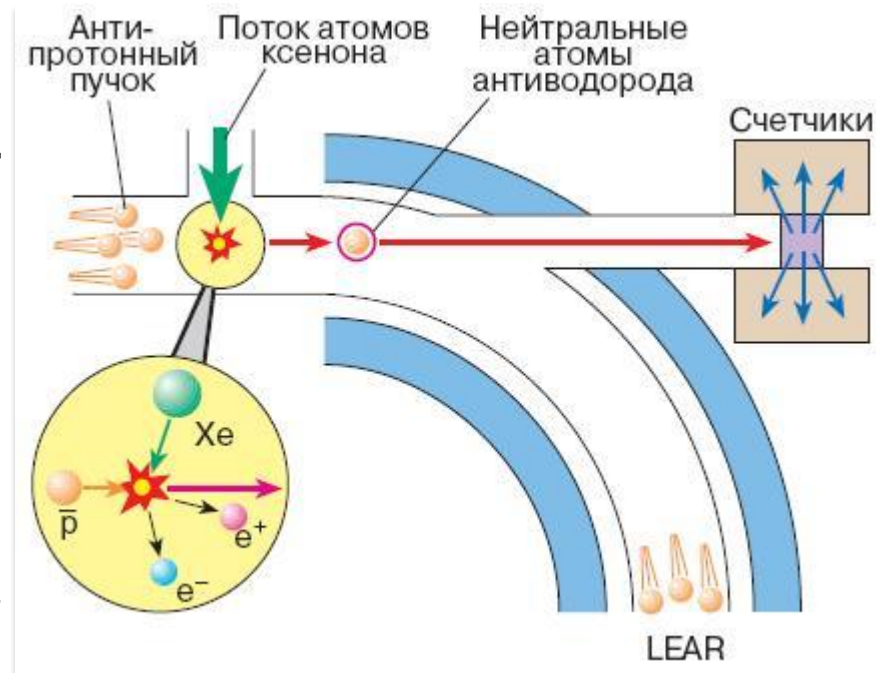
**Первые искусственные античастицы –
ядра антидейтерия,
содержащие антипротон и антинейтрон,
были синтезированы в 1965 году
(Leiderman и др.) в Европейской лаборатории
физики элементарных частиц
(CERN, Женева, Швейцария) и Брукгейвенской
национальной лаборатории (США)**





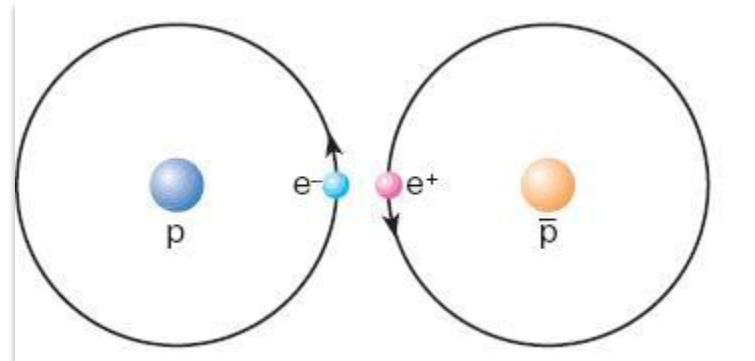
**Затем ядра антигелия-3
(два антипротона и
антинейтрон) и
антитрития
(антипротон и два
антинейтрона) были
синтезированы в 1969
году Ю. Прокошкиным
и др. на 70-ГэВ
протонном ускорителе в
Институте физики
высоких энергий
(Протвино, СССР)**

**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)**



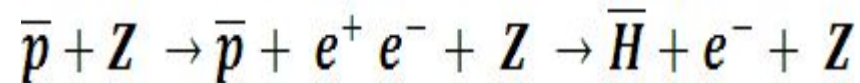
**Схема установки, позволившей
впервые получить атомы
антиводорода**

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



**Атомы антиподы:
водород и антиводород**

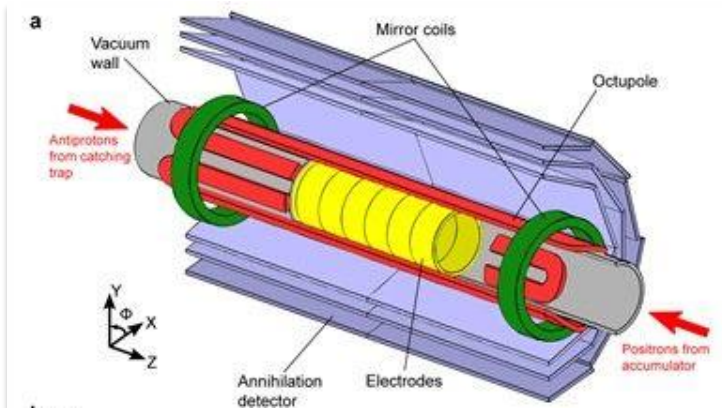
При прохождении через атом ксенона антипротон затрачивал часть своей энергии на создание пары электрон-позитрон, а в достаточно редких случаях близости скоростей антипротона и позитрона возникал антиатом водорода:

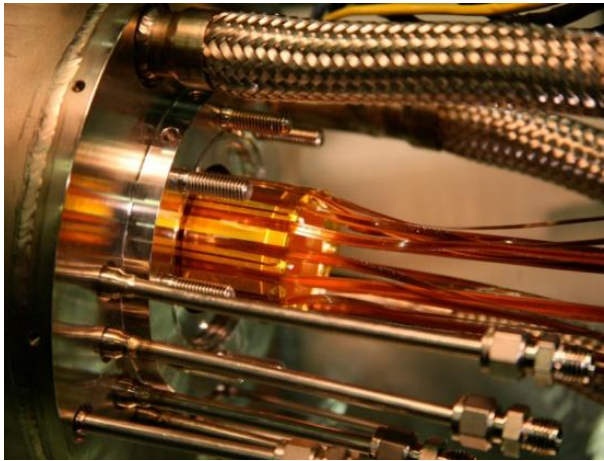


Эти антиатомы существовали миллиардные доли секунды на протяжении около десяти метров, после чего аннигилировали с обычным веществом. Получаемый в результате аннигиляции сигнал и служил подтверждением создания атомов антивещества.

**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.**



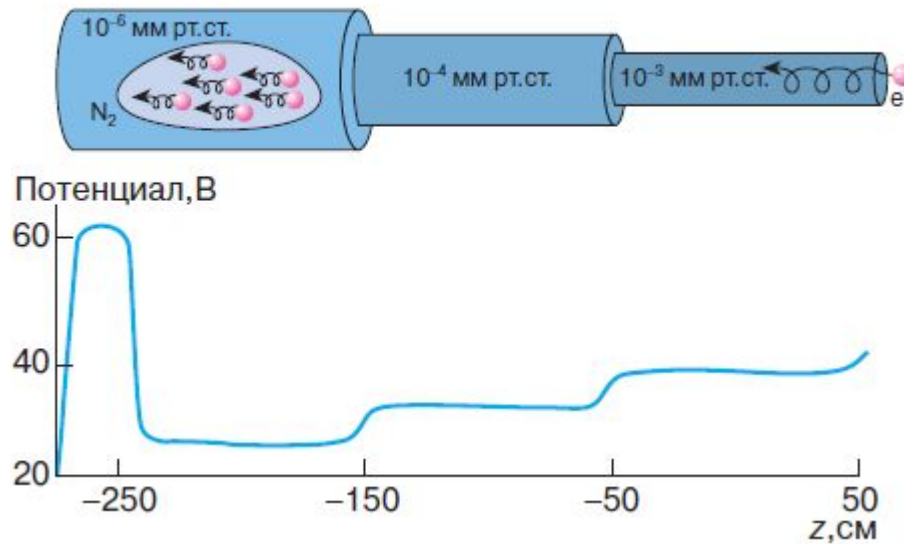


Ловушка Пеннинга

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° С), и облако из $2 \cdot 10^6$ позитронов до температуры 40 К (- 233,15° С).

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



**Потери энергии за единицу времени
составляют**

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

где q , m , \mathcal{E} - соответственно заряд, масса и энергия частицы, c - скорость света

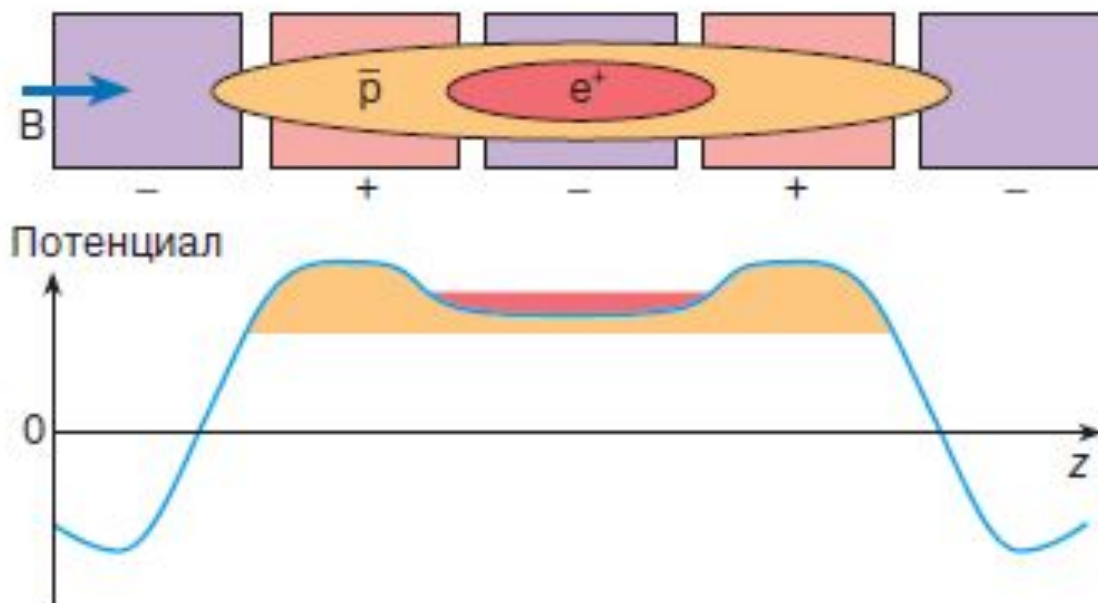
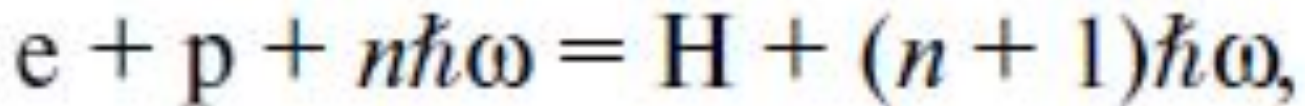


Рис. 4. Одновременное удержание антипротонов и позитронов электрическим полем в рекомбинационной камере

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

Объединению античастиц помогает и лазер

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



При этом использовалось либо излучение CO₂ лазера, либо длинный импульс лазера на красителе.

По той же схеме можно стимулировать рекомбинацию позитрона и антипротона.

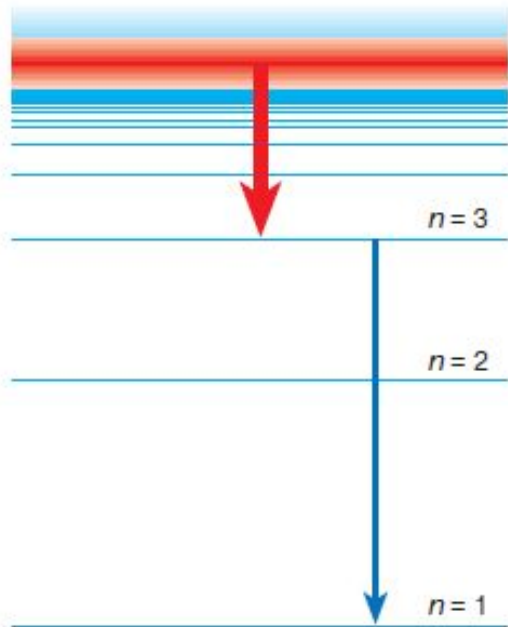
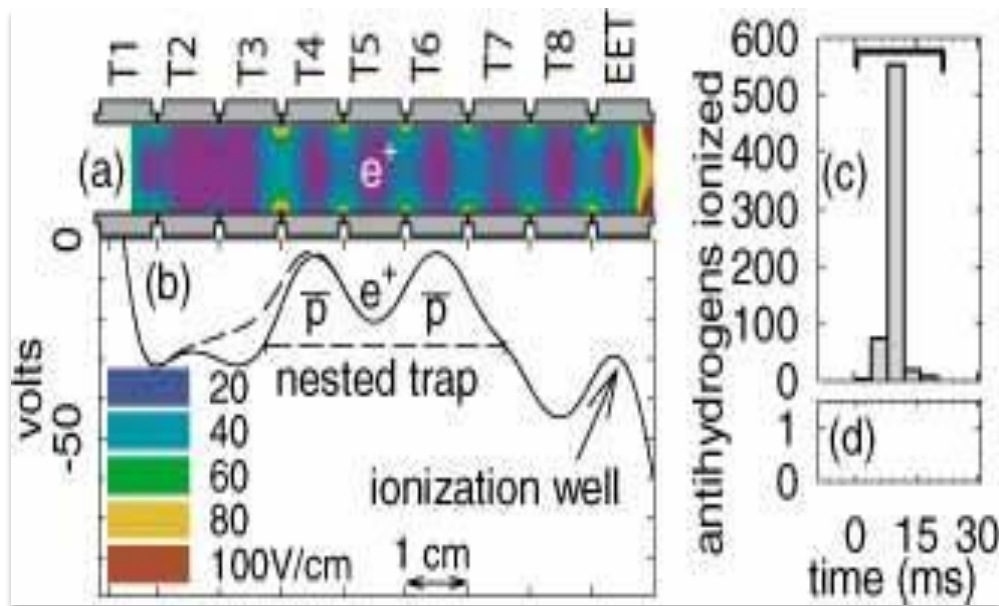


Рис. 5. Лазерно-стимулированная рекомбинация

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

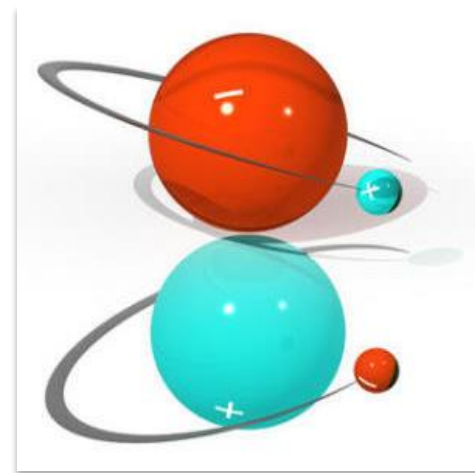
Ученые из ATHENA Collaboration регистрировали атомы антиводорода при высвобождении их из ловушки, когда они аннигилировали при взаимодействии с ее стенками.

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
фоновых 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 $1,8 \times 10^{17}$ 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.

