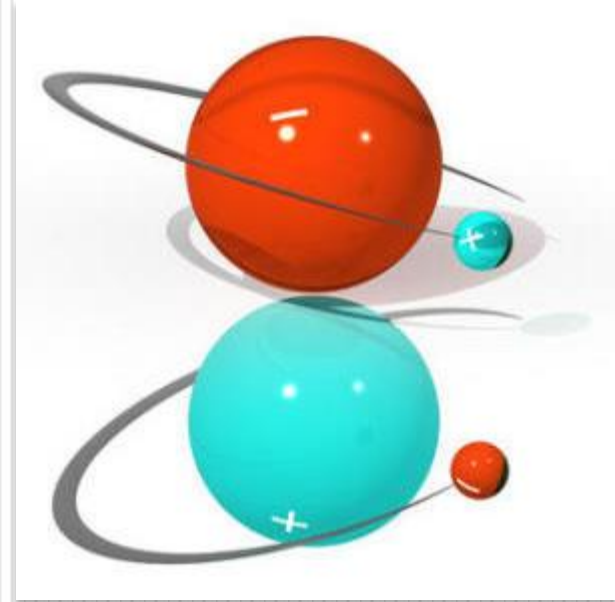
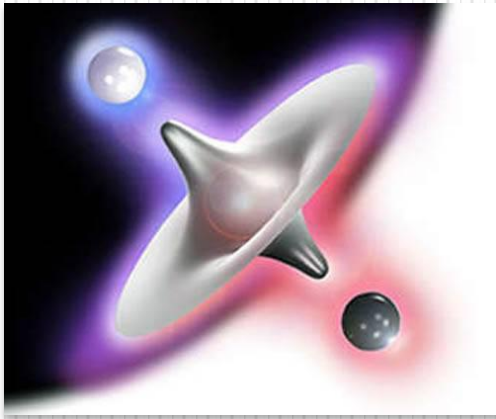
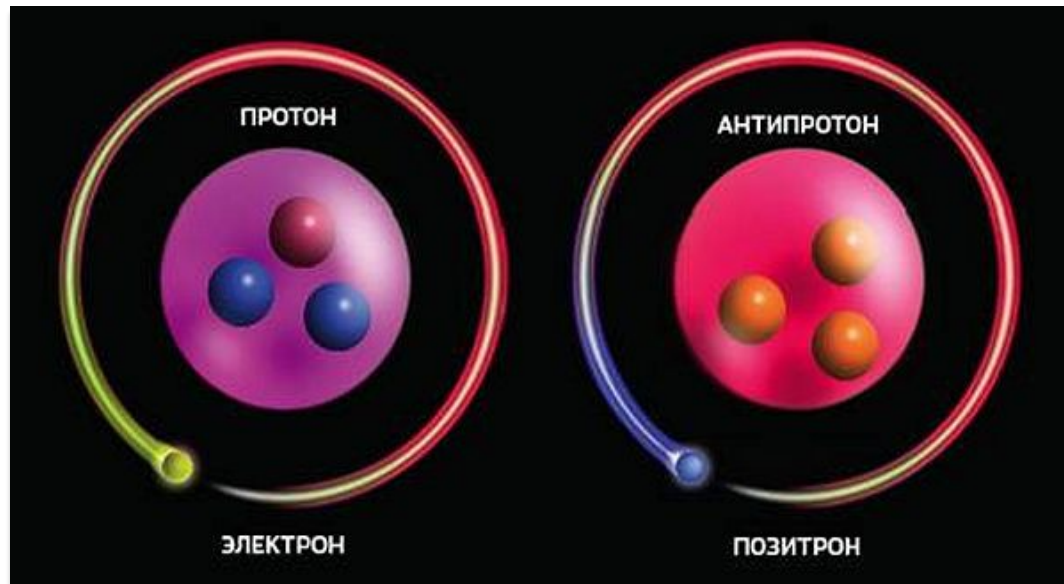


# Антиматерия



*Антиматерия – материя,  
состоящая из античастиц*

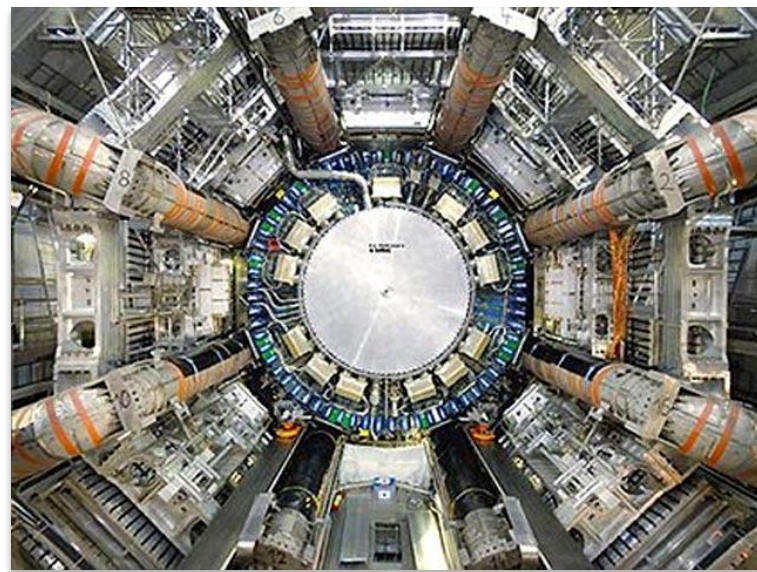
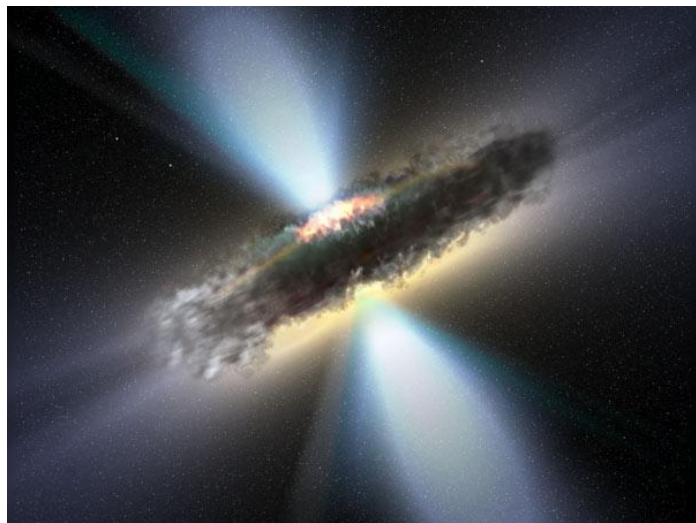


# **Обнаружение первых античастиц**

---

- **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.)**

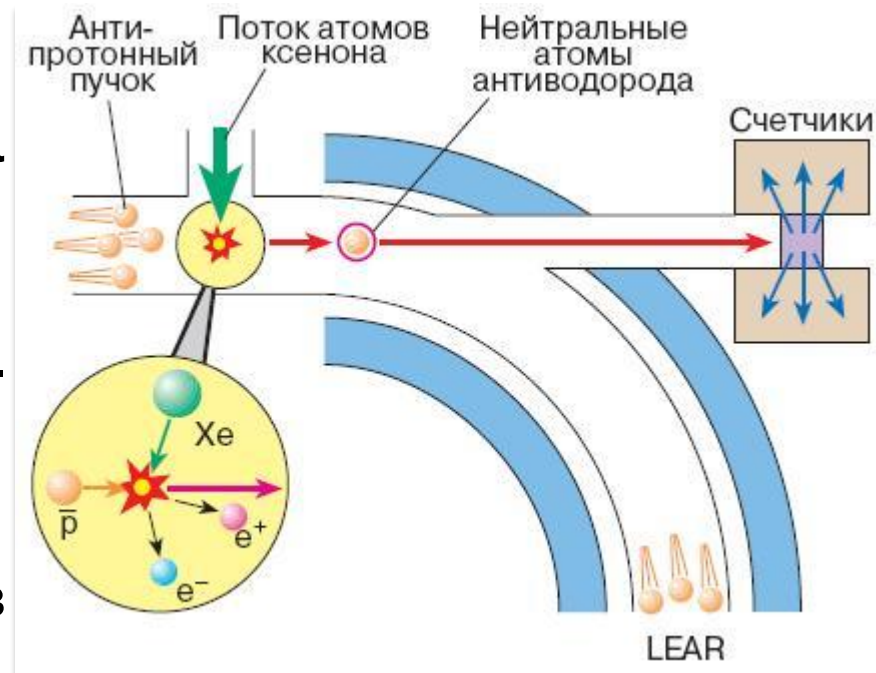
**Первые искусственные античастицы –  
ядра антидейтерия,  
содержащие антипротон и антинейтрон,  
были синтезированы в 1965 году  
(Leiderman и др.) в Европейской лаборатории  
физики элементарных частиц  
(CERN, Женева, Швейцария) и Брукгейвенской  
национальной лаборатории (США)**





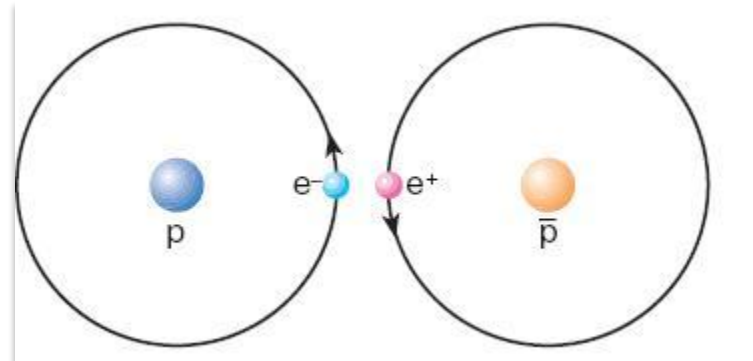
**Затем ядра антигелия-3  
(два антипротона и  
антинейтрон) и  
антитрития  
(антипротон и два  
антинейтрона) были  
синтезированы в 1969  
году Ю. Прокошкиным  
и др. на 70-ГэВ  
протонном ускорителе  
в Институте физики  
высоких энергий  
(Протвино, СССР)**

**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)**



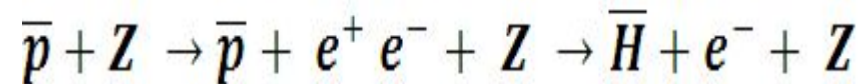
**Схема установки, позволившей  
впервые получить атомы  
антиводорода**

**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:**

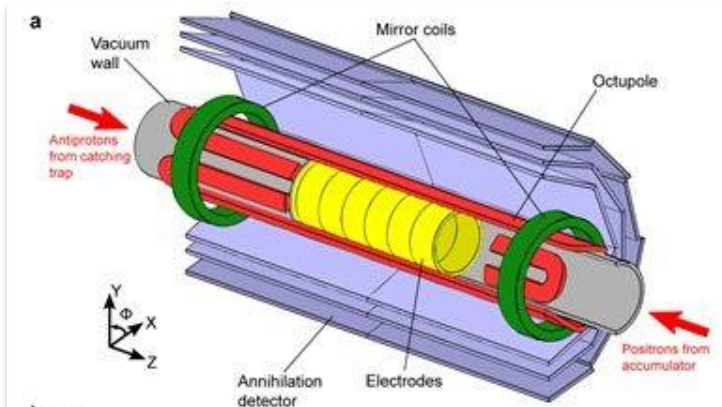


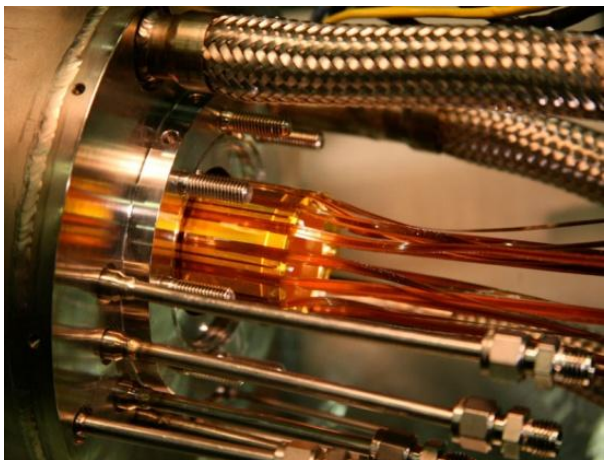
**Эти антиатомы существовали миллиардные доли секунды на протяжении около десяти метров, после чего аннигилировали с обычным веществом. Получаемый в результате аннигиляции сигнал и служил подтверждением создания атомов антивещества.**



**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.**



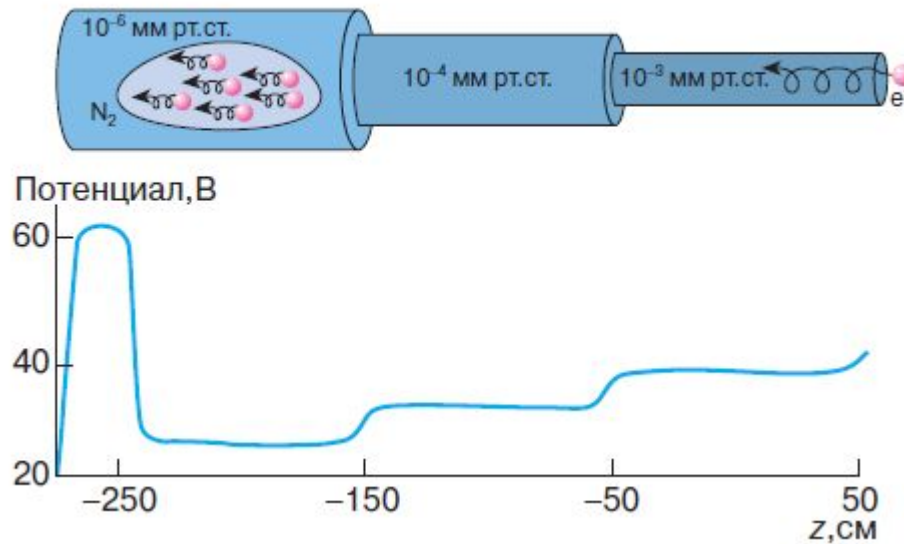


**Ловушка Пеннинга**

**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).**

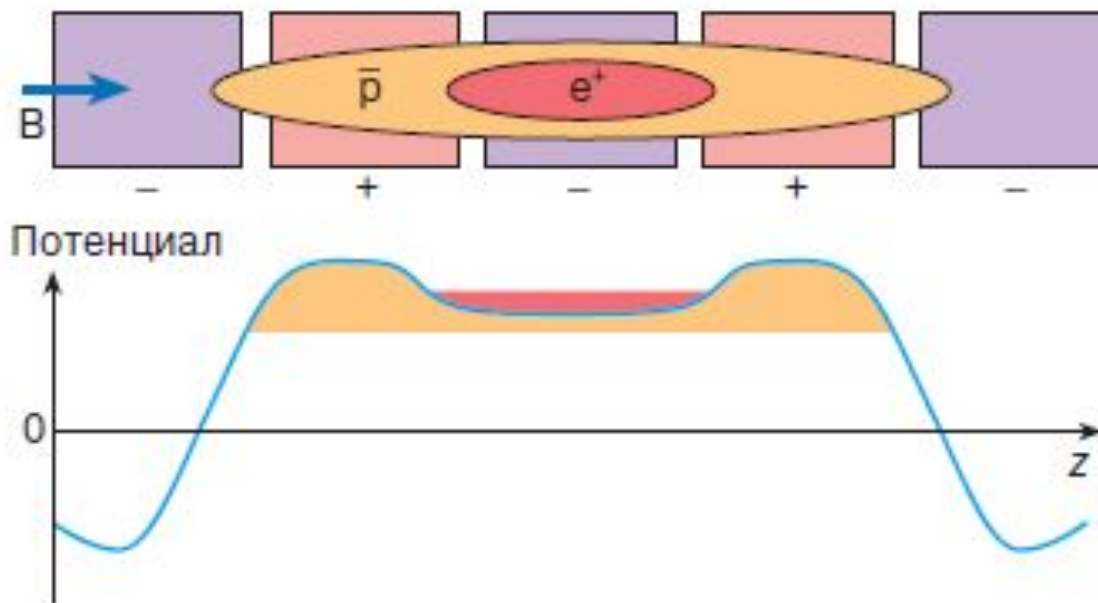
**Физики охлаждали антивещество в ловушке Пеннинга, встроенной внутрь ловушки Иоффе-Питчарда. В общей сложности было поймано 38 атомов, которые удерживались 172 мс.**



**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**

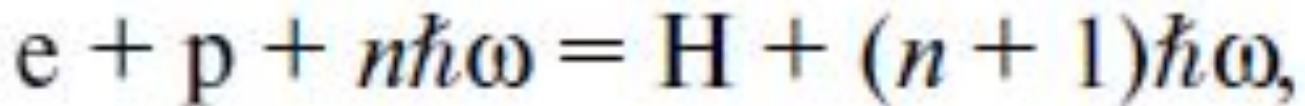


**Рис. 4.** Одновременное удержание антипротонов и позитронов электрическим полем в рекомбинационной камере

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

## **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 CO<sub>2</sub> лазера, либо длинный импульс лазера на красителе.**

**По той же схеме можно стимулировать рекомбинацию позитрона и антипротона.**

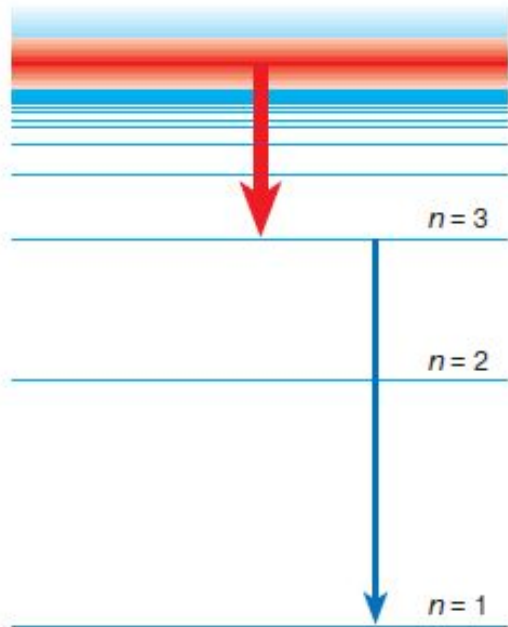
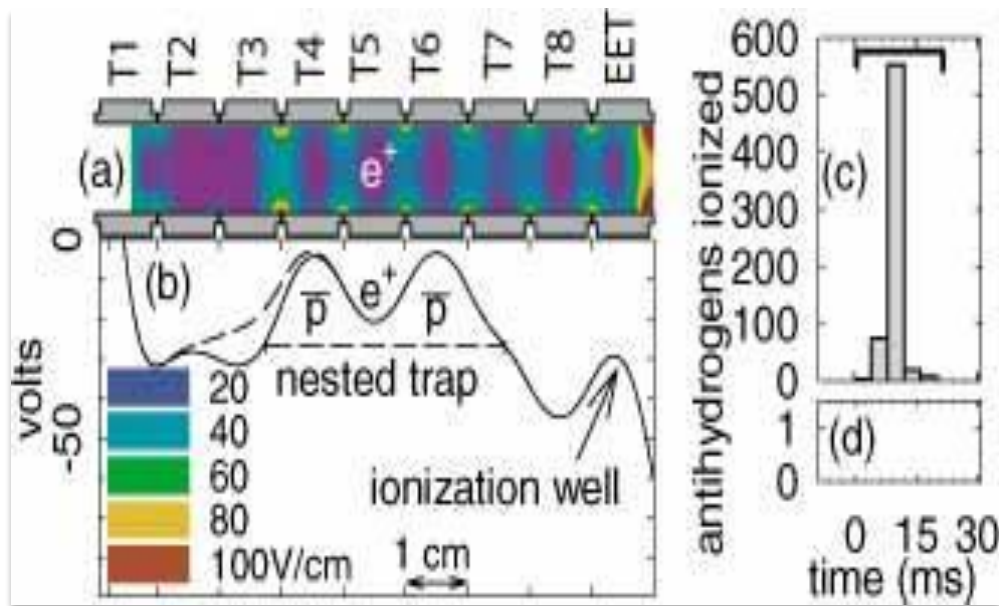


Рис. 5. Лазерно-стимулированная рекомбинация

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

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

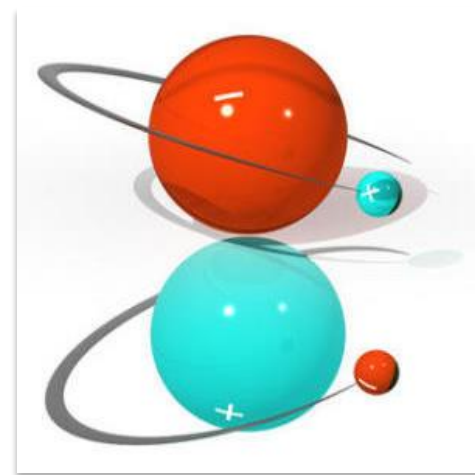
**Всего было зарегистрировано около 130 случаев аннигиляции атомов антиводорода, что (по оценке) соответствует примерно 50000 образовавшимся атомам.**



**Ученые из ATRAP  
Collaboration  
смогли  
зарегистрировать  
атомы  
антиводорода без  
какого-либо  
фоновый 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.**

