

СТАЛКИВАЮЩИЕСЯ ПУЧКИ РЕНТГЕНОВСКИХ ФОТОНОВ (X) И РЕЛЯТИВИСТСКИХ ИОНОВ (РИ) ИЛИ АНТИПРОТОНОВ (\bar{p}) С БОЛЬШОЙ СВЕТИМОСТЬЮ: ОБРАЗОВАНИЕ РЕЛЯТИВИСТСКИХ АТОМОВ АНТИВОДОРОДА

К.А.Испирян, М.К.Испирян, Р.К.Испирян

Ереванский физический институт, Американский университет Армении

Ереван, Армения

Поступила в редакцию 24 июня 1993 г.

Предлагается создать ХРИ- или $X\bar{p}$ -коллайдеры. Оценивается сечение процесса $\gamma + \bar{p} \rightarrow \bar{H} + e$, идущего захватом части позитронов из реакций $\gamma + \bar{p} \rightarrow \bar{p} + e^+ + e^-$. Показано, что $X\bar{p}$ -коллайдер – это фабрика антиводорода.

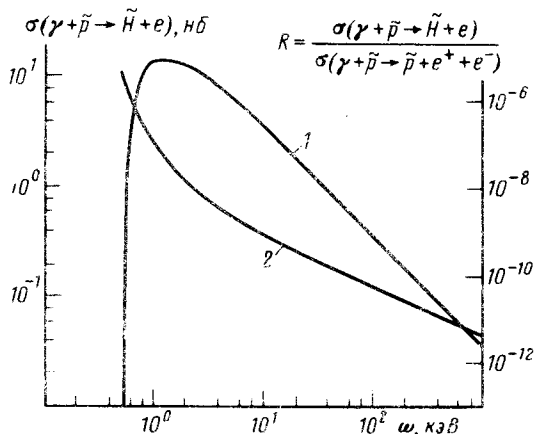
1. Организуя непрерывное столкновение существующих во многих накопителях интенсивных пучков РИ или \bar{p} с фотонами синхротронного излучения (СИ), так же, как при столкновениях РИ с лазерными фотонами [1], можно изучать почти все фотоядерные процессы, рассмотренные в [2] для ядер в покое и СИ. В самом деле, энергия фотона ω в лабораторной системе в системе покоя иона увеличивается и равна $\omega^* = 2\gamma\omega$, где $\gamma_L = E/M = 1/(1 - \beta^2)^{-1/2}$ – Лорентц-фактор иона ($\hbar = c = 1$). Поэтому, например, при $\gamma_L = 10^3$ фотоны с ω в несколько кэВ могут возбуждать ядерные уровни (в мэВ) или образовывать e^+e^- -пары, если $\omega > \omega_{\text{пор}} = 2m_e/\gamma_L$.

В зависимости от величины сечения процесса $\sigma_{X\text{РИ}(\bar{p})}(\omega)$ можно в точку взаимодействия накопителя направлять синхронизированный пучок СИ или после монохроматора в энергетическом интервале $\Delta\omega$, или же "белый" спектр СИ. Тогда, приведя, например, пучок \bar{p} Тэватрона с числом \bar{p} в бунче $N_{\bar{p}} = 7 \cdot 10^{10}$, с частотой столкновений $f = 0,3$ МГц и поперечным сечением в точке взаимодействия $S_{\bar{p}} = 4 \cdot 10^{-5}$ см² [3] в столкновение с монохроматизированным ($\Delta\omega/\omega = 0,1\%$) и белым пучками источника СИ третьего поколения [4] с постоянной яркостью $B \approx \text{const} \approx 10^{17}$ фот/с/мм²/мрад² при относительной ширине полосы (BW) 0,1% в области $\omega \approx 0,1 - 10$ кэВ, при $S_{\text{СИ}} = 1$ мм² и расстоянии точки взаимодействия от источника СИ $R = 10$ м, получим для такого $X\bar{p}$ -коллайдера полную светимость $L \approx 7 \cdot 10^{27}$ см⁻²·с⁻¹ и дифференциальную светимость $dL/d\omega \approx 7 \cdot 10^{30}/\omega$ см⁻²·с⁻¹·кэВ⁻¹. Это позволит, например, при работе с монохроматизированным пучком СИ с $\Delta\omega/\omega = 0,1\%$ регистрировать процессы с $\sigma \approx 1$ мкб с $\dot{N}_{\text{собр}} \approx 25$ ч⁻¹. Светимость ХРИ-коллайдера на основе SPS и СИ LEP будет достаточной для исследования процессов [2] с большими сечениями, как, например, возбуждение гигантских резонансов ядер с очень хорошим энергетическим разрешением, не мешая другим текущим экспериментам.

2. Известно, что антиводород, простейший атом $\bar{H} = (\bar{p}e^+)$ антимира, который позволил бы проверить ряд фундаментальных законов физики и нашел бы широкое применение, еще не наблюден, несмотря на большие усилия в этом направлении (см. [5]). Можно показать, что на $X\bar{p}$ -коллайдерах можно получить достаточное количество \bar{H} благодаря рекомбинации \bar{p} с теми e^+ рожденных e^+e^- -пар, которые в системе покоя антипротона имеют скорости, близкие к скоростям \bar{p} . В самом деле, в грубом, но достаточном для наших оценок,

приближении интегральное сечение $\sigma(\gamma + \bar{p} \rightarrow \bar{H} + e)$ образования антиводорода можно получить, интегрируя дифференциальное по кинетической энергии позитрона T^* в системе покоя антипротона сечение $d\sigma(\gamma + \bar{p} \rightarrow \bar{p} + e^+ + e)/dT^*$ без поправок (см [6]) от нуля до энергии связи атома водорода.

На рисунке приведена зависимость $\sigma(\gamma\bar{p} \rightarrow \bar{H}e)$ и его отношения к полному сечению образования e^+e^- -пар от ω , когда $\gamma_L = 10^3$. Легко получить зависимость для других значений γ_L , так как σ зависит только от ω^* . Опять численно взяв интеграл $\dot{N} = \int (dL/d\omega)\sigma(\omega)d\omega$, для рассмотренного выше $X\bar{p}$ -коллайдера получим $\dot{N}_{\text{соз}} \approx 10^2 \text{ ч}^{-1}$, что позволит не только измерить сечения образования \bar{H} и e^+e^- , но и лэмбовский сдвиг антиводорода, например, одним из методов, рассмотренных в [7], но с большей статистикой.



Зависимость интегрального сечения образования \bar{H} (кривая 1, в нб) и его отношения $R = \sigma(\gamma + \bar{p} \rightarrow \bar{H} + e) / \sigma(\gamma + \bar{p} \rightarrow \bar{p} + e^+ + e^-)$

В заключение отметим, что создание $X\bar{H}$ - и $X\bar{p}$ -коллайдеров не связано с подготовительными исследованиями нескольких лет, как в случае e^+e^- , $e^- \gamma$, $\gamma\gamma$ и γp -коллайдеров [8,9]. Релятивистские пучки \bar{H} , получаемые на фабриках \bar{H} , которые можно построить на базе существующих накопителей \bar{p} и источников СИ четвертого поколения, имеющих $B \approx (10^{20} - 10^{22}) \text{ фот/с/мм}^2/\text{мрад}^2/0,1\% \text{ BW}$ [4], позволят проверить СРТ [7] и другие законы антимира. В будущем, когда появятся накопители \bar{p} с энергиями выше 100 ТэВ, пучки \bar{H} будут получены в столкновениях таких \bar{p} с лазерными фотонами с энергиями несколько эВ [1].

Работа частично поддержана грантом фонда Сороса, присужденным Американским физическим обществом.

1. K.A.Ispirian and A.T.Margarian, Phys. Lett. A 44, 377 (1973).
2. R.Chrien, A.Hofman, and A.Molinari, Phys. Rep. 54, 249 (1980).
3. Review of Particle Properties, Phys. Rev. D45, N11, part 2, p.111.13 (1992).
4. H.Winick, Proc XV Intern. Conf. on High Energy Acc. Hamburg, Germany (1992).
5. Proc. of the Workshop on the Design of a Low Energy Antimatter Facility, ed. D.Cline, World Scientist, 1986; Symposium on Atomic Antimatter, Karlsruhe, 1987; Antihydrogen Workshop, Munich, 1992.
6. J.W.Motz, H.A.Olsen, and H.W.Koch, Rev. Mod. Phys. 41, 581 (1969).
7. C.T.Munger, S.J.Brodsky, and I.Schmit, SLAC-PUB-5939, 1992.
8. В.И.Тельнов, Препринт ИЯФ СО СССР, 89-90, 1990.
9. С.И.Александров и др., Препринт АФБЭ, 87-48, 1987; 88-946, 1988.