

УРОВНИ ОГРАНИЧЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ПУЧКОВ МЕЧЕНЫХ ФОТОНОВ

Б.Б. Говорков, В.Г. Раевский, Л.Н. Штарков

Показано, что учет энергетического разрешения системы мечения фотонов тормозного излучения, наряду с учетом временного разрешения, открывает пути увеличения максимально допустимой интенсивности фотонного пучка на два-три порядка – до 10^8 γ/c в интервале 200 МэВ для системы мечения ускорителя ФИАН "Пахра".

В работе рассматриваются ограничения интенсивности пучков меченых фотонов, обусловленные конечными временным и энергетическим разрешениями системы. В качестве примера оценивается система мечения фотонов с разрешением по энергии 1 МэВ на выведенном электронном пучке ускорителя ФИАН "Пахра" с энергией ускоренных электронов 1,2 ГэВ /1/.

Обычно довольно трудно перекрыть системой регистрации электронов мечения весь спектр тормозного излучения фотонов. В системе мечения на синхротроне "Пахра" в непрерывном спектре фотонов тормозного излучения до 1,2 ГэВ предполагается метить фотоны только в интервале 0,95 – 1,15 ГэВ /1/. Поэтому первое ограничение интенсивности потока меченых фотонов возникает из-за возможных случайных временных совпадений процессов, вызванных в экспериментальной установке немечеными фотонами, с электронами мечения. Отношение числа фоновых событий (случайных совпадений) N_{ϕ} к числу полезных событий (истинных совпадений) $N_{\text{эф}}$ составляет:

$$\frac{N_{\phi}}{N_{\text{эф}}} = \frac{2\tau}{f} V_{\text{нм}}^{\gamma} \frac{\epsilon'}{\epsilon} \cong \frac{2\tau}{f} \frac{\epsilon'}{\epsilon} V_{\text{м}}^{\gamma} \frac{\ln(E_{\text{мин}}/E'_{\text{мин}})}{\ln(E_{\text{макс}}/E_{\text{мин}})}, \quad (1)$$

где $V_{\text{м}}^{\gamma}$ – число меченых фотонов; $V_{\text{нм}}^{\gamma}$ – число немеченых фотонов; $[E_{\text{макс}}, E_{\text{мин}}]$ – интервал энергий меченых фотонов; $[E'_{\text{макс}}, E'_{\text{мин}}]$ – интервал энергий немеченых фотонов; ϵ – вероятность регистрации в экспериментальной установке реакции, вызванной меченым фотоном, усредненная по спектру меченых фотонов; ϵ' – вероятность регистрации реакции, вызванной немеченым фотоном, усредненная по спектру немеченых фотонов; 2τ – временное разрешение системы регистрации электронов мечения и экспериментальной установки; f – фактор заполнения, характеризующий импульсный характер работы ускорителя, равный отношению длительности импульса интенсивности к длительности цикла ускорителя.

Правая часть выражения (1) получена в предположении 100%-ной γ -корреляции в системе мечения для спектра тормозного излучения вида $dN/dE_{\gamma} \sim 1/E_{\gamma}$. В выражении (1) следует учитывать только интервал энергий, указанный выше. Кроме того, в разложении экспоненциального выражения, определяющего вероятность регистрации фоновых событий, можно ограничиться учетом только первого члена.

Заданием допустимого в эксперименте отношения $(N_{\phi}/N_{\text{эф}})_{\text{д}}$ в (1) определяется максимально допустимая интенсивность потока меченых фотонов:

$$V_{\text{м}}^{\gamma \text{ макс}} = \left(\frac{N_{\phi}}{N_{\text{эф}}} \right)_{\text{д}} \frac{\epsilon}{\epsilon'} \frac{f}{2\tau} \frac{\ln(E_{\text{макс}}/E_{\text{мин}})}{\ln(E_{\text{мин}}/E'_{\text{мин}})}. \quad (2)$$

При значениях параметров системы мечения, соответствующих ускорителю "Пахра", а именно $2\tau = 3 \cdot 10^{-9}$ с, $(N_{\phi}/N_{\text{эф}})_{\text{д}} = 0,1$, $\epsilon = \epsilon' = \text{const}$, $f = 0,1$, интервал меченых фотонов = [1,2 ГэВ; 1 ГэВ], интервал немеченых фотонов = [1 ГэВ; 1 МэВ], получаем $V_{\text{м}}^{\gamma \text{ макс}} = 0,9 \cdot 10^5$ γ/c . Увеличить предельное значение потока меченых фотонов можно за счет улучшения временного разрешения схем совпадений и за счет фактора заполнения; можно также перекрыть более широкий интервал энергий метящих электронов, что приведет к увеличению отношения логарифмических членов в выражении /2/.

По нашему мнению, основной метод увеличения $V_M^{\text{макс}}$ состоит в увеличении отношения эффективностей $\epsilon(E_\gamma)/\epsilon'(E_\gamma)$. При этом возможны несколько подходов. На первый взгляд кажется, что простейший путь состоит в регистрации на антисовпадения немеченых электронов. Но большая загрузка канала антисовпадений будет приводить к большому числу случайных совпадений импульсов антисовпадений с импульсами эффекта. Для приведенных выше параметров системы мечения ускорителя "Пахра" получаем $N_{\text{анти}}/V_M^{\text{макс}} = 0,1$. Поэтому, используя метод антисовпадений с немечеными электронами, $V_M^{\text{макс}}$ можно увеличить не более, чем в $3 \div 5$ раз.

Более существенное увеличение интенсивности можно получить при использовании экспериментальных установок, обладающих высокими порогами по энергии первичного фотона, либо при изучении процессов с высокими пороговыми энергиями (фоторождение мезонов и др.). Так, если $\epsilon'(E_\gamma) = 0$ при $E_\gamma < E_{\text{мин}}$, то ограничение на интенсивность потока меченых фотонов полностью снимается. Такой же результат получается для установки с высоким энергетическим разрешением по энергии первичного фотона.

Существует, однако, другое ограничение на интенсивность потока меченых фотонов, которое обусловлено случайными временными совпадениями между электронами мечения. Отношение числа случайных совпадений $N_{\text{сл}}$ импульсов двух счетчиков (регистрирующего эффект и одного из остальных) к числу импульсов эффекта N_i приближенно равно:

$$\frac{N_{\text{сл}}}{N_i} = \frac{2\tau}{f} (N_e^{\text{макс}} - N_i), \quad (3)$$

где $N_e^{\text{макс}}$ — максимально допустимая загрузка всех счетчиков мечения в единицу времени. При $f = 0,1$, $2\tau = 3 \cdot 10^{-9}$ с и $(N_{\text{сл}}/N_i)_D = 0,1$ в предположении $N_i \ll N_e^{\text{макс}}$ получаем:

$$N_e^{\text{макс}} \cong V_M^{\text{макс}} = 3,3 \cdot 10^6 \text{ } \gamma/\text{с}.$$

Дальнейшее увеличение интенсивности пучка меченых фотонов можно получить при работе с экспериментальными установками с высоким энергетическим разрешением по энергии первичного фотона. Так, при работе с пучком меченых фотонов ускорителя "Пахра", для которого запланирована точность определения энергии меченого фотона 1 МэВ, на экспериментальной установке, имеющей такое же разрешение, максимально допустимый поток меченых фотонов возрастает до $V_M^{\text{макс}} \cong 7 \cdot 10^7 \text{ } \gamma/\text{с}$.

Таким образом, на пучке меченых фотонов нужно работать с установками, обладающими соответствующими энергетическими порогами и энергетическим разрешением, сравнимым с разрешением системы мечения.

Существует, конечно, ограничение интенсивностей пучков меченых фотонов, которое может быть связано с низкой интенсивностью первичных пучков электронов из ускорителя. Однако обычно в синхротронах ускоряется $10^{12} \div 10^{13}$ е/с, что на 2 — 3 порядка превосходит интенсивность электронного пучка, определяемую ранее рассмотренными ограничениями со стороны электроники.

Авторы благодарны академику П.А. Черенкову и своим коллегам П.С. Баранову, А.С. Белоусову и Е.И. Тамму за полезные советы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Басков В. А. и др. Препринт № 3, М., 1986.

Поступила в редакцию 28 октября 1985 г.