

## 4. ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЕ СЧЁТЧИКИ

Реакцию  $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$  используют не только в ионизационных камерах, но и в пропорциональных счетчиках. Газообразное соединение бора  $\text{BF}_3$  одновременно выполняет роль газа-наполнителя в счетчике и вещества, с которым взаимодействуют нейтроны. Такие пропорциональные счетчики называют борными, или счетчиками  $\text{BF}_3$ .

Режим пропорционального усиления первичной ионизации в счетчике позволяет легко разделить по амплитудам импульсы от нейтронов и от  $\gamma$ -квантов. Так же как и в импульсных камерах, пробег электрона, образованного  $\gamma$ -квантом, не укладывается в рабочем объеме пропорционального счетчика, в то время как  $\alpha$ -частица полностью тормозится внутри газового объема. Вследствие этого амплитуда импульса, вызванного ионизацией газа  $\text{BF}_3$  электроном, во много раз меньше амплитуды импульса от  $\alpha$ -частицы.

В счетчике  $\text{BF}_3$  возможны случайные наложения первичной ионизации от нескольких  $\gamma$ -квантов. Если амплитуда импульса превышает порог дискриминации, то импульс регистрируется счетчиком  $\text{BF}_3$  как импульс от нейтрона. Вероятность таких событий невелика. Она характеризуется чувствительностью счетчика  $\text{BF}_3$  к  $\gamma$ -излучению. Под этой характеристикой понимают отношение числа зарегистрированных импульсов от  $\gamma$ -квантов к потоку  $\gamma$ -квантов, падающих на детектор. Амплитудная дискриминация  $\gamma$ -квантов снижает чувствительность счетчика  $\text{BF}_3$  к  $\gamma$ -излучению примерно до  $10^{-5}$ . Отметим, что счетчик  $\text{BF}_3$  не используется в режиме Гейгера - Мюллера, так как амплитуды импульсов от нейтронов и  $\gamma$ -квантов в этом режиме одинаковы, вследствие чего регистрирующая аппаратура не может отделить один эффект от другого. Эффективность счетчика  $\text{BF}_3$  к нейтронам разных энергий определяется сечением  $(n, \alpha)$ -реакции на боре, размерами счетчика и давлением газа  $\text{BF}_3$ . С целью увеличения эффективности борные счётчики наполняют газом  $\text{BF}_3$ , обогащённом по изотопу  $^{10}\text{B}$  до 80-90%.

Наиболее широкое распространение получили цилиндрические счётчики. Давление газа  $\text{BF}_3$  в счётчике составляет 0,5 – 1 атм. Для пучка нейтронов, падающих на цилиндрический счетчик  $\text{BF}_3$  вдоль его оси, эффективность счетчика рассчитывают по формуле

$$\varepsilon = 1 - e^{-\sigma_{\alpha} N l}, \quad (18)$$

где  $N$  - число ядер  $^{10}\text{B}$  в  $1 \text{ см}^3$  газового объема счетчика;  $\sigma_{\alpha}$  - сечение  $(n, \alpha)$ -реакции на  $^{10}\text{B}$ ,  $\text{см}^2$ ;  $l$  — длина счетчика, см. С увеличением энергии нейтронов эффективность  $\varepsilon$  падает, так как уменьшается сечение  $\sigma_{\alpha}$ .

**Пример.** Рассчитать эффективность счетчика  $\text{BF}_3$  длиной 250 мм для нейтронов с энергией 1 и 100 эВ. Примем, что счетчик наполнен газом  $\text{BF}_3$  до давления 0,5 атм с обогащением бора по изотопу  $^{10}\text{B}$ , равным 100%. Чтобы определить значение  $N$ , воспользуемся законом Авогадро, по которому 1 моль газа при нормальных условиях занимает объем 22,4 л и содержит  $6,02 \cdot 10^{23}$  молекул газа. Если газ находится под давлением  $p$  атм, то число газовых молекул в единице объема

$$N = \frac{6,02 \cdot 10^{23}}{22,4 \cdot 10^3} p = 2,68 \cdot 10^{10} p.$$

С учетом того, что в состав молекулы газа  $\text{BF}_3$  входит одно ядро бора и давление  $p = 0,5$  атм, получим

$$N = 1,34 \cdot 10^{10} \text{ ядер/см}^3.$$

Сечение  $(n, \alpha)$ -реакции на боре для нейтронов с энергией  $E$ , равной 1 и 100 эВ, рассчитаем по формуле (11.2):

$$\sigma_{\alpha}(1 \text{ атм}) = \sigma_{\alpha 0} \sqrt{\frac{E_0}{E}} = 4010 \sqrt{0,025} = 634 \text{ барн};$$

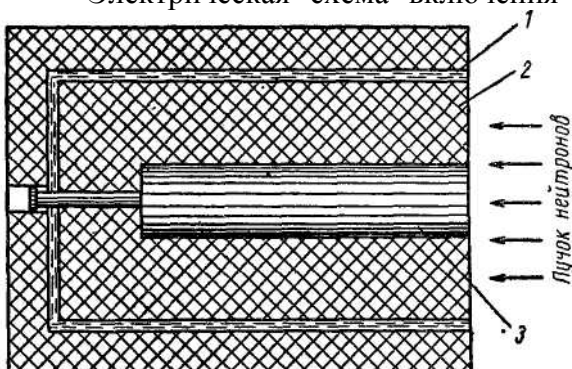
$$\sigma_{\alpha}(100 \text{ эВ}) = 63,4 \text{ барн}.$$

Подставим значения  $\sigma$ ,  $N$  и  $l$  в формулу (11.3):

$$\varepsilon(1 \text{ эВ}) = 1 - e^{-634 \cdot 10^{-24} \cdot 1,34 \cdot 10^{19} \cdot 25} = 0,17;$$

$$\varepsilon(100 \text{ эВ}) = 0,021.$$

Электрическая схема включения счетчика  $\text{BF}_3$  полностью аналогична схеме пропорционального счетчика и счетчика Гейгера - Мюллера. Для обеспечения режима пропорциональности при значительных давлениях газа  $\text{BF}_3$  на счетчик подается высокое напряжение до 2500 В.



**Рис. 6.** Всеволновый счетчик: 1 - поглотитель тепловых нейтронов; 2 - парафин; 3 - счетчик  $\text{BF}_3$ .

Как газ-наполнитель  $\text{BF}_3$  имеет плохие характеристики. Поэтому в ряде конструкций пропорциональных счетчиков  $^{10}\text{B}$  наносят в виде тонкого слоя на внутреннюю поверхность катода, а счетчик наполняют аргоном. У таких счетчиков лучшее время сбора ионов, потому что в них не образуются тяжелые отрицательные ионы. Однако их

счетная характеристика имеет больший наклон плато, чем у счетчиков с газом  $\text{BF}_3$ . Большой наклон плато объясняется значительным разбросом амплитуд импульсов, так как  $\alpha$ -частица, выходя из слоя  $^{10}\text{B}$  в рабочий объем счетчика, теряет какую-то часть своей энергии в самом слое.

**Всеволновый счетчик нейтронов.** Счетчик  $\text{BF}_3$  слабо чувствителен к быстрым нейтронам, так как сечение  $(n, \alpha)$ -реакции в области энергии быстрых нейтронов очень мало. Чтобы повысить эффективность счетчика к быстрым нейтронам, его окружают слоем замедлителя, например, парафином (**Рис. 6**). Быстрые нейтроны замедляются парафином, а затем эффективно регистрируются счетчиком. При определенной толщине и расположении замедлителя вокруг счетчика можно добиться того, что его эффективность станет не зависимой от энергии нейтронов в области от 20 кэВ до 4 МэВ. Для каждого типа счетчика  $\text{BF}_3$  толщина и расположение замедлителя подбираются индивидуально. Правильность подбора замедлителя проверяют путем измерения эффективности в стандартных потоках быстрых нейтронов различных энергий. Так как эффективность такого счетчика в широкой области энергии нейтронов постоянна, то этот детектор получил название всеволнового счетчика нейтронов. Иногда всеволновый счетчик называют также «длинным» счетчиком, так как регистрируемые потоки нейтронов проходят вдоль оси цилиндрического счетчика  $\text{BF}_3$ . Для защиты всеволнового счетчика от рассеянных нейтронов все устройство с боковой стороны окружается слоем кадмия, сверх которого располагается слой парафина. Рассеянные нейтроны от внешних конструкций замедляются во внешнем слое парафина и поглощаются кадмием, не достигая счетчика.

Следует отметить, что газонаполненные счетчики нейтронов являются дорогими и медленными (фронты нарастания их выходных импульсов составляют около 1 мкс). В результате, возникают ограничения на максимальную загрузку счетчика, которая не может превышать значений  $5 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$ . В задачах мониторинга быстроизменяющихся высоко интенсивных потоков нейтронов следует использовать сцинтилляционные методы детектирования.