

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 BF_3 одновременно выполняет роль газа-наполнителя в счетчике и вещества, с которым взаимодействуют нейтроны. Такие пропорциональные счетчики называют борными, или счетчиками BF_3 .

Режим пропорционального усиления первичной ионизации в счетчике позволяет легко разделить по амплитудам импульсы от нейтронов и от γ -квантов. Так же как и в импульсных камерах, пробег электрона, образованного γ -квантом, не укладывается в рабочем объеме пропорционального счетчика, в то время как α -частица полностью тормозится внутри газового объема. Вследствие этого амплитуда импульса, вызванного ионизацией газа BF_3 электроном, во много раз меньше амплитуды импульса от α -частицы.

В счетчике BF_3 возможны случайные наложения первичной ионизации от нескольких γ -квантов. Если амплитуда импульса превышает порог дискриминации, то импульс регистрируется счетчиком BF_3 как импульс от нейтрона. Вероятность таких событий невелика. Она характеризуется чувствительностью счетчика BF_3 к γ -излучению. Под этой характеристикой понимают отношение числа зарегистрированных импульсов от γ -квантов к потоку γ -квантов, падающих на детектор. Амплитудная дискриминация γ -квантов снижает чувствительность счетчика BF_3 к γ -излучению примерно до 10^{-5} . Отметим, что счетчик BF_3 не используется в режиме Гейгера - Мюллера, так как амплитуды импульсов от нейтронов и γ -квантов в этом режиме одинаковы, вследствие чего регистрирующая аппаратура не может отделить один эффект от другого. Эффективность счетчика BF_3 к нейтронам разных энергий определяется сечением (n, α) -реакции на боре, размерами счетчика и давлением газа BF_3 . С целью увеличения эффективности борные счётчики наполняют газом BF_3 , обогащённом по изотопу ^{10}B до 80-90%.

Наиболее широкое распространение получили цилиндрические счётчики. Давление газа BF_3 в счётчике составляет 0,5 – 1 атм. Для пучка нейтронов, падающих на цилиндрический счетчик BF_3 вдоль его оси, эффективность счетчика рассчитывают по формуле

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

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

Пример. Рассчитать эффективность счетчика BF_3 длиной 250 мм для нейтронов с энергией 1 и 100 эВ. Примем, что счетчик наполнен газом BF_3 до давления 0,5 атм с обогащением бора по изотопу ^{10}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 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, α) -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 σ , 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 BF_3 полностью аналогична схеме пропорционального счетчика и счетчика Гейгера - Мюллера. Для обеспечения режима пропорциональности при значительных давлениях газа BF_3 на счетчик подается высокое напряжение до 2500 В.

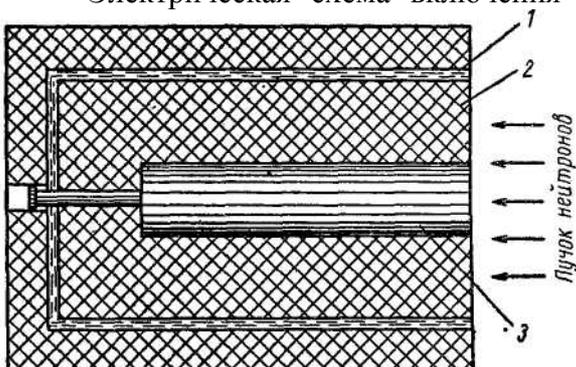


Рис. 6. Всеволновый счетчик: 1 - поглотитель тепловых нейтронов; 2 - парафин; 3 - счетчик BF_3 .

Как газ-наполнитель BF_3 имеет плохие характеристики. Поэтому в ряде конструкций пропорциональных счетчиков ^{10}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 BF_3 . Большой наклон плато объясняется значительным разбросом амплитуд импульсов, так как α -частица, выходя из слоя ^{10}B в рабочий объем счетчика, теряет какую-то часть своей энергии в самом слое.

Всеволновый счетчик нейтронов. Счетчик BF_3 слабо чувствителен к быстрым нейтронам, так как сечение (n, α) -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 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 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.