

УДК 621.311

**НЕЙТРОННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ – ОБНАРУЖЕНИЕ
НЕЙТРОНОВ
NEUTRON CONVERTER – NEUTRON DETECTION**

А.В. Лесун, В.В. Якимцова

Научные руководители – А.А. Павловская, старший преподаватель,

С.И. Ракевич, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

a.pawlowskaya@bntu.by, rakevich95@tut.by

A. Lesun, V. Yakimtsova

Supervisors – N. Paulouskaya, Senior Lecturer, S. Rakevich, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной статье рассматриваются нейтронный преобразователь и обнаружение нейтронов. Так же в статье описаны методы обнаружения нейтронов, типы взаимодействия нейтронов с веществом. Вдобавок приводится пример прибора для нахождения нейтронов.*

***Abstract:** This article discusses the neutron converter and neutron search. The article also describes methods for detecting neutrons, the types of interaction of neutrons with matter. In addition, an example of an instrument for searching for neutrons is given.*

***Ключевые слова:** преобразователь, нейтроны, обнаружение, детекторы, ионизация.*

***Keywords:** converter, neutrons, finding, detectors, ionization.*

Введение

Нейтроны имеют массу, но без электрического заряда. Из-за этого они не могут напрямую создавать ионизацию в детекторе, и поэтому не могут быть напрямую обнаружены. Это означает, что нейтронные детекторы должны полагаться на процесс преобразования, когда нейтрон инцидент взаимодействует с ядром для получения вторичной заряженной частицы. Эти заряженные частицы затем напрямую обнаруживаются и из них выводится наличие нейтронов.

Основная часть

Для этого доступны два основных типа взаимодействия нейтронов с веществом:

Упругое рассеяние. Свободный нейтрон может рассеиваться ядром, передавая ему часть своей кинетической энергии [1]. Если у нейтрона достаточно энергии, чтобы рассеяться от ядер, то отскакивающее ядро ионизирует материал, окружающий преобразователь. На самом деле только ядра водорода и гелия достаточно легки для практического применения. Заряд, полученный таким образом, может быть собран обычным детектором для получения обнаруженного сигнала. Нейтроны могут передавать больше энергии легким ядрам. Этот метод подходит для обнаружения быстрых

нейтронов (быстрые нейтроны не имеют высокого сечения поглощения), позволяя обнаруживать быстрые нейтроны без замедлителя.

Поглощение нейтронов. Это распространенный метод, позволяющий обнаруживать нейтроны всего энергетического спектра, основанный на различных реакциях поглощения, захват излучения, деление ядер, реакции перегруппировки. Нейтрон здесь поглощается материалом мишени, преобразователем, испускающим вторичные частицы, такие как протоны, альфа-частицы, бета-частицы, фотоны (гамма-лучи) или фрагменты деления. Некоторые реакции являются пороговыми, требующими минимальной энергии нейтронов, но большинство реакций происходит при эпитептермальной и тепловой энергиях. Это означает, что требуется умеренность быстрых нейтронов, что приводит к плохой энергетической информации нейтронов. Наиболее распространенными ядрами для материала нейтронного преобразователя являются:

$^{10}B(n, \alpha)$. Где сечение захвата нейтронов для тепловых нейтронов составляет $\sigma = 3820$ барнов, а природный бор имеет обилие ^{10}B 19,8%.

$^3He(n, p)$. Где сечение захвата нейтронов для тепловых нейтронов составляет $\sigma = 5350$ барн, а природный гелий имеет обилие 3He 0,014%.

$^6Li(n, \alpha)$. Где сечение захвата нейтронов для тепловых нейтронов составляет $\sigma = 925$ барн, а природный литий имеет обилие 6Li 7,4%.

$^{113}Cd(n, \gamma)$. Где сечение захвата нейтронов для тепловых нейтронов составляет $\sigma = 20820$ барн, а природный кадмий имеет обилие ^{113}Cd 12,2%.

$^{235}U(n, \text{деление})$. Где поперечное сечение деления тепловых нейтронов составляет $\sigma = 585$ барн, а природный уран имеет обилие ^{235}U 0,711%. Уран как преобразователь производит осколки деления, которые являются тяжелыми заряженными частицами. Это имеет существенное преимущество. Тяжелые заряженные частицы создают высокий выходной сигнал, поскольку осколки осаждают большое количество энергии в чувствительном объеме детектора. Это позволяет легко различать фоновое излучение. Эта важная особенность может быть использована, например, при измерении мощности ядерного реактора, где нейтронное поле сопровождается значительным гамма-фоном.

Обнаружение нейтронов очень специфично, так как нейтроны являются электрически нейтральными частицами, поэтому они в основном подвержены сильным ядерным силам, но не электрическим силам. Поэтому нейтроны не являются непосредственно ионизирующими, и они обычно должны быть преобразованы в заряженные частицы, прежде чем их можно будет обнаружить. Как правило, каждый тип детектора нейтронов должен быть оснащен преобразователем (для преобразования нейтронного излучения в обычное обнаруживаемое излучение) и одним из обычных детекторов излучения (сцинтилляционный детектор, газовый детектор, полупроводниковый детектор и т.д.) [2].

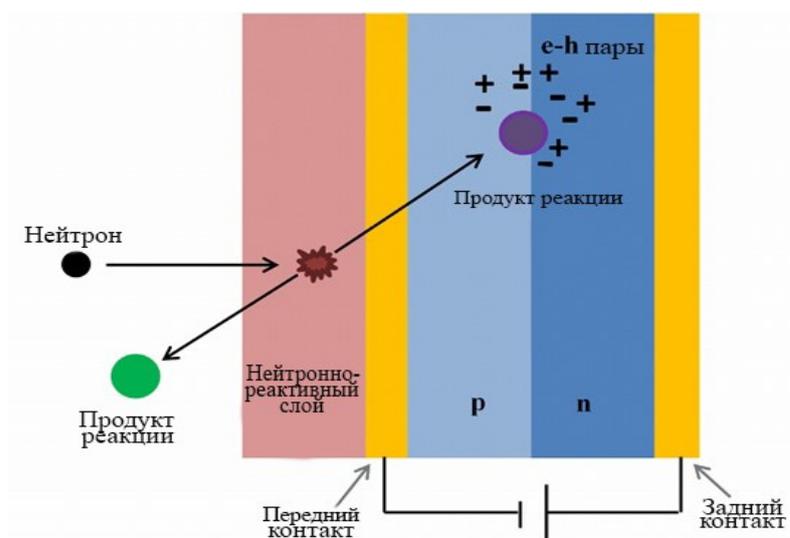


Рисунок 1 – Конструкция устройства и принципиальная схема работы планарного преобразовательного слоя p-n-перехода детектора тепловых нейтронов

Камеры деления – ионизационные детекторы, используемые для обнаружения нейтронов. Камеры деления могут использоваться в качестве детекторов промежуточного диапазона для контроля потока нейтронов на уровне промежуточного потока. Они также обеспечивают индикацию, сигналы тревоги и сигналы отключения реактора. Конструкция этого прибора выбрана таким образом, чтобы обеспечить перекрытие между каналами диапазона источника и полным диапазоном диапазона мощности приборов.

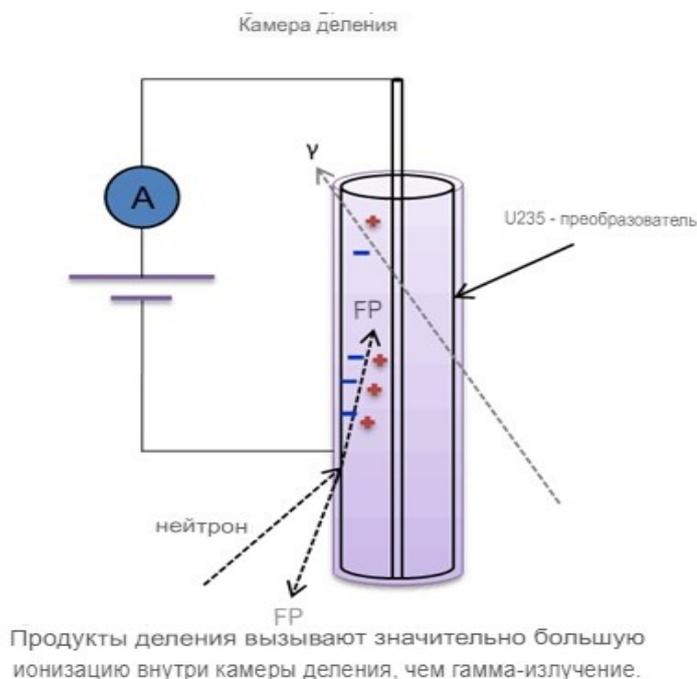


Рисунок 2 – Камера деления

В случае камер деления камера покрыта тонким слоем высокообогащенного урана-235 для обнаружения нейтронов. Нейтроны не являются непосредственно ионизирующими, и они обычно должны быть преобразованы в заряженные частицы, прежде чем их можно будет

обнаружить. Тепловой нейтрон приведет к делению атома урана-235, причем два полученных фрагмента деления будут обладать высокой кинетической энергией и вызывать ионизацию газа аргона внутри детектора. Одним из преимуществ использования покрытия урана-235 вместо бора-10 является то, что осколки деления имеют гораздо более высокую энергию, чем альфа-частица из реакции бора. Поэтому камеры деления очень чувствительны к потоку нейтронов, и это позволяет камерам деления работать в более высоких гамма-полях, чем некомпенсированная ионная камера с боровой футеровкой [3].

Наиболее важным типом детекторов для быстрых нейтронов являются те, которые непосредственно обнаруживают частицы отдачи, в частности протоны отдачи, возникающие в результате упругого (n, p) рассеяния. На самом деле только ядра водорода и гелия достаточно легки для практического применения. В последнем случае частицы отдачи обнаруживаются в детекторе. Нейтроны могут передавать больше энергии легким ядрам. Этот метод подходит для обнаружения быстрых нейтронов, позволяя обнаруживать быстрые нейтроны без замедлителя. Метод позволяет измерять энергию нейтрона вместе с флюенсом нейтронов, то есть детектор может быть использован в качестве спектрометра. Типичными детекторами быстрых нейтронов являются жидкие сцинтилляторы, детекторы благородных газов на основе гелия-4 и пластиковые детекторы (сцинтилляторы). Например, пластик имеет высокое содержание водорода, поэтому он полезен для детекторов быстрых нейтронов, когда используется в качестве сцинтиллятора.

Заключение

В ходе данной исследовательской работы, можно сделать вывод, что обнаружение нейтронов очень специфично – нейтроны являются электрически нейтральными частицами. В основном подвержены сильным ядерным силам. Поэтому нейтроны не являются непосредственно ионизирующими, и они обычно должны быть преобразованы в заряженные частицы, прежде чем их можно будет обнаружить.

Литература

1. Нейтронный преобразователь [Электронный ресурс] / нейтронный преобразователь. – Режим доступа: <https://www.nuclear-power.net/nuclear-power/reactor-physics/atomic-nuclear-physics/fundamental-particles/neutron/detection-neutrons/neutron-converter-how-neutrons-can-be-detected/>. – Дата доступа: 24.03.2021.
2. Нейтронный преобразователь [Электронный ресурс] / нейтронный преобразователь. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Neutron_detection#:~:text=Elastic%20scattering%20reactions%20detected/. – Дата доступа: 24.03.2021.
3. Обнаружение нейтронов [Электронный ресурс] / обнаружение нейтронов. – Режим доступа: <https://www.mirion.com/learning-center/nuclear-measurement-fundamental-principles/nuclear-measurement-fundamental-principle-neutron-detection-and-counting/>. – Дата доступа: 24.03.2021.