
ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА, ФОТОНИКА И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 66.085.5

ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРОННЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

© 2021 г. Я.Н. Голубев*, К.В. Казаков, В.С. Пономаренко

ФГАУ «Военный инновационный технополис «ЭРА», Анапа, Россия

*E-mail: Yra.gol.98@yandex.ru

Разобраны причины применения нейтронных детекторов в метеорологии. Рассмотрены различные методы регистрации нейтронов. Приведены характеристики современных наиболее эффективных нейтронных детекторов. Предложены пути развития направления по мониторингу солнечного излучения.

ВВЕДЕНИЕ

Первые методы регистрации нейтронного излучения появились более века назад. С течением времени, методы регистрации нейтронного излучения совершенствовались и находили всё больше новых сфер применения.

В конце 40-х годов двадцатого века, в ходе экспериментов, было обнаружено, что состав солнечной радиации включает в себя нейтроны различных энергий. В тот момент стало ясно, для наблюдения за солнечной активностью необходимо использовать приборы регистрации потока нейтронов. Таким образом, в 50-е годы прошлого века появилась мировая сеть нейтронных мониторов. На сегодняшний день она состоит более чем из 50 станций мониторинга космического излучения, расположенных по всем уголкам земного шара.

Помимо мировой сети, также в 1957 году появилась российская национальная наземная сеть станций космических лучей. Сеть обеспечивает уникальную возможность для исследования свойств гелиосферы и получения важнейших характеристик для диагностики и прогноза возмущений в околоземном космическом пространстве. В состав сети входит 14 станций космических лучей и 3 станции стратосферного зондирования.

Благодаря станциям мониторинга космического излучения возможно определение и предсказание магнитных бурь в атмосфере Земли. В связи с новыми и более совершенными методами регистрации потока нейтронов возможны новые исследования и эксперименты, которые позволяют выявить

ранее не известные формы воздействия солнечной радиации на всю биосферу Земли.

В связи с тем, что нейтроны – это незаряженные ядерные частицы, обычные методы регистрации заряженных частиц не способны их фиксировать. Методы регистрации нейтронов основаны на использовании различных типов взаимодействия нейтронов с атомными ядрами. При столкновении с ядром водорода (протоном) нейтрон может передать всю свою энергию протону, который, будучи заряженной частицей, может быть зарегистрирован обычным способом. Такой процесс, называемый упругим рассеянием.

ПЕРВЫЕ СПОСОБЫ РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРОНОВ

Камера Вильсона была изобретена в далёком 1912 году (рис. 1). Вильсон в течение многих лет исследовавшим физику образования облаков в атмосфере. Проходя через перенасыщенный пар, заряженная частица оставляет за собой след из капелек. За 1 мс капельки вырастают до видимых размеров.

В начале 1950-х годов Д. Глейзер, исходя из аналогии с камерой Вильсона, нашёл иной фазовый переход, который тоже позволяет визуализировать следы частиц. В его приборе используется перегретая жидкость, которая вскипает вблизи центров зародышеобразования, которыми служат ионы. Проходя через такую жидкость, частица оставляет за собой след из пузырьков.

Пузырьковые камеры и камеры Вильсона позволяют видеть следы частиц. Это означает, что

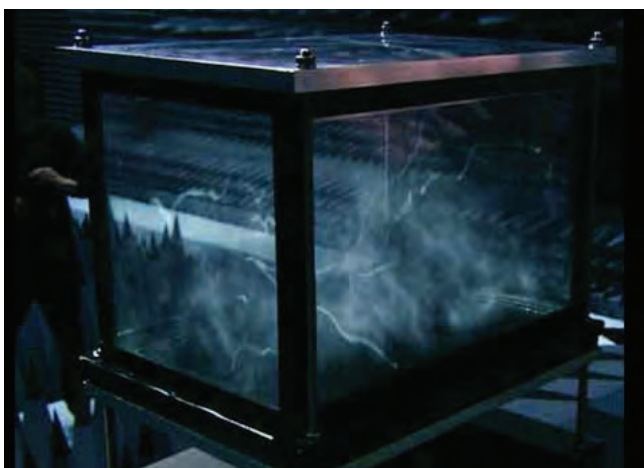


Рис. 1. Камера Вильсона

положение частицы может быть определено с точностью до размера видимой капельки или пузырька, т.е. примерно до 1 мм. Камеры часто помещают в магнитное поле. Это приводит к искривлению траекторий заряженных частиц, обратно пропорциональному их импульсу. При этом положительно заряженные частицы отклоняются в одном направлении, а отрицательно заряженные – в другом. Таким образом, в дополнение к пространственной картине, которую дают эти приборы, они позволяют измерить импульс частицы и определить знак её заряда.

Искровая камера – это прибор для наблюдения и регистрации траекторий заряженных частиц (рис. 2).

Искровая камера – трековый детектор заряженных частиц, в котором след частицы образует цепочка искровых электрических разрядов вдоль траектории её движения. Искровые камеры широко

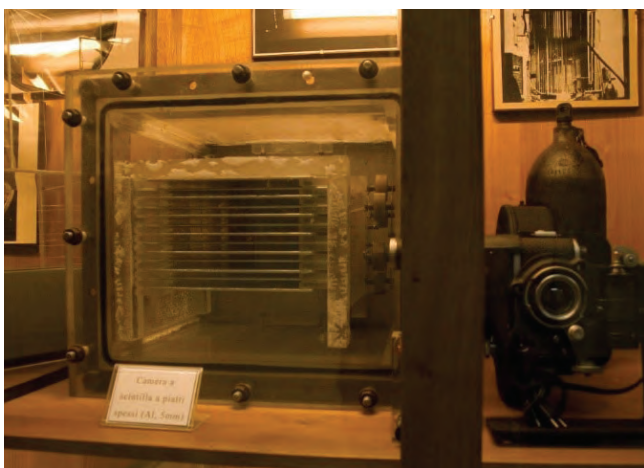


Рис. 2. Искровая камера

использовались в ядерной физике в 1930–1960 годах, но потом уступили место более совершенным конструкциям детекторов.

СОВРЕМЕННЫЕ НЕЙТРОННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ И ИХ ПРИНЦИП РАБОТЫ

Действие современных нейтронных детекторов основано на регистрации вторичных частиц, образующихся в результате взаимодействия нейтронов с атомными ядрами. Для регистрации медленных используются ядерные реакции расщепления лёгких ядер под действием нейтронов [$^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$, $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$ и $^3\text{He}(n, p)^1\text{H}$] с регистрацией α -частиц и протонов; деления тяжёлых ядер с регистрацией осколков деления; радиационный захват нейтронов ядрами (n, γ) с регистрацией γ -квантов, а также возбуждения искусственной радиоактивности.

Для регистрации α -частиц, протонов и осколков деления применяются ионизационные камеры и пропорциональные счётчики, которые заполняют газообразным BF_3 и др. газами, содержащими В или ^3H , либо покрывают их стенки тонким слоем твёрдых В, Li или делящихся веществ. Конструкция и размеры таких камер и счётчиков разнообразны. Пропорциональные счётчики могут достигать 50 мм в диаметре и 2 м длины. Наибольшей эффективностью к тепловым нейтронам обладают нейтронные детекторы, содержащие ^{10}B или ^3He .

Для регистрации медленных нейтронов используются также сцинтилляционные счётчики (на кристаллах LiI с примесью Eu, на сцинтиллирующих литиевых стеклах, либо смеси борсодержащих веществ и сцинтиллятора ZnS).

Сцинтилляционные нейтронные детекторы могут регистрировать быстрые нейтроны по протонам отдачи в органических и водородсодержащих жидких сцинтилляторах. Некоторые тяжёлые ядра, например ^{238}U и ^{232}Th , делятся только под действием быстрых нейтронов. Это позволяет создавать пороговые детекторы, служащие для регистрации быстрых нейтронов на фоне тепловых.



Рис.3. Детектор нейтронов СНМ-18

Таблица 1. Характеристики современных нейтронных детекторов

Тип детектора	Радиатор	Наполнение	Эффективность, %	Длина, см	Диаметр, см	Чувствительность, имп × см ²	Помехоустойчивость к γ -излучению, Гр/ч	Напряжение питания, В
СНМ-16	³ He	97% ³ He + 3% Ag, 709 кПа	80	11.6	1.8	8	0.1	2000
СНМ-17	³ He	97% ³ He + 3% Ag, 709 кПа	80	22	1.8	23	0.1	2000
СНМ-18	³ He	97% ³ He + 3% Ag, 405 кПа	80	32	3.2	55	0.1	1800

Нейтронные детекторы, которые широко распространены и используются в данный момент, представлены в таблице.

Однако, несмотря на постоянные улучшения, стационарные нейтронные мониторы не дают полной информации о вариабельности нейтронного поля Земли. Нейтронные мониторы фиксируют поток космических нейтронных потоков в сравнительно небольшом радиусе. Поэтому для компоновки общей картины влияния космических лучей на биосферу Земли необходимы разработка и создание удобных и эффективных мобильных станций и детекторов мониторинга нейтронов. Помимо создания новых детекторов, также важно и своевременно создать новые методы и программы, которые были бы способны обрабатывать большие объёмы данных, предоставляя информацию о различных космических событиях.

На данный момент в Военном Инновационном Технополисе «ЭРА» в лаборатории гидрометеорологического и геофизического обеспечения находится один из новейших детекторов тепловых нейтронов. Программно-аппаратный комплекс УСТН-1 (Универсальный Счетчик Тепловых Нейтронов) предназначен для измерения величины

плотности потока тепловых нейтронов (рис. 4). ПАК УСТН-1 включает в себя восемь трубок, наполненных ³He. Эффективность данного программно-аппаратный комплекс более 80%.

Данный прибор обладает рядом преимуществ, главное из которых – это его мобильность. ПАК УСТН-1 не является стационарным и может быть легко и быстро перемещён в нужное место. Также для работы ПАК УСТН-1 не требуется каких-либо дополнительных настроек, а в автономном режиме он способен проработать до 10 дней.

Повышенная эффективность измерений позволяет разрабатывать и применять новые алгоритмы и методы обработки данных, которые, в свою очередь, позволяют фиксировать и даже предсказывать землетрясения и аномальные погодные явления.

ВЫВОДЫ

Сочетание мобильности и эффективности ПАК УСТН-1 открывает новые перспективы измерений космических лучей. Появляется возможность измерять космические в ранее недоступных местах и районах, что позволит отслеживать локальную магнитную обстановку. Глобальное покрытие территории мобильными детекторами нейтронного излучения позволит сформировать полную и подробную картину магнитосферы Земли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стрелков А.В. Нейтронный детекторы [Электронный ресурс] URL: <https://bigenc.ru/text/2257091> (дата обращения 21.04.2021).
2. Методы регистрации нейтронов [Электронный ресурс] URL: <https://mybiblioteka.su/3-22003.html> (дата обращения 20.04.2021).
3. Чернухин Ю.И. Юдов А.А., Стрельцов С.И. Гетерогенный сцинтилляционный детектор быстрых нейтронов с высокой дискриминацией гамма-фона // Известия Вузов. Ядерная энергетика. 2015. С. 31–39.



Рис. 4. ПАК УСТН-1