

Регистрация излучений

Регистрация и измерение ионизирующих излучений — краткий экскурс в историю

Ф.Н. Флакус*

Под действием ионизирующего излучения нейтральные атомы или молекулы приобретают положительный или отрицательный электрический заряд. К наиболее известным видам ионизирующего излучения относятся альфа-, бета-, гамма- и рентгеновские лучи, а также потоки нейтронов. Излучение, состоящее из заряженных частиц, такое, как альфа- или бета-лучи, оказывает прямое ионизирующее воздействие, в то время как нейтральное излучение, как, например, рентгеновские и гамма-лучи, а также потоки нейтронов, оказывают косвенное ионизирующее воздействие, т. е. эти виды излучения приводят к возникновению заряженных частиц, которые впоследствии оказывают ионизирующее воздействие.

Излучение — форма существования энергии. Эта энергия может быть частично или полностью поглощена соответствующей средой, что приводит к появлению радиационных эффектов. Регистрация и измерение излучения основаны на регистрации и измерении этих эффектов в среде, а история создания детекторов излучения тесно связана с открытием излучений и радиационных эффектов.

Радиоактивные материалы испускают ионизирующее излучение спонтанно. Для каждого типа радиоактивного вещества характерен определенный вид излучения и определенная энергия. Часто при использовании детекторов излучений задача состоит в измерении энергетического спектра излучения (спектрометрия).

Хотя ионизирующее излучение существовало в природе (космические лучи, ионизирующее излучение природных радиоактивных веществ) на протяжении всей истории развития человечества, оно было обнаружено менее 100 лет тому назад. У человека отсутствуют органы чувств, которые воспринимают данный вид излучений, и поэтому у ученых не было возможности создать приборы, которые бы увеличивали способность человека воспринимать это излучение, что, например, было достигнуто в видимом диапазоне электромагнитных волн (оптика).

Как нам теперь известно, способы регистрации ионизирующего излучения в принципе были открыты сравнительно давно: явление термолюминесценции было впервые описано в XVII веке; электроскоп

с золотыми листочками был изобретен в XVIII веке; фотография получила развитие в начале XIX века. Однако прошло много лет прежде, чем В.К.Рентген в 1895 году и А.Беккерель в 1896 году по сути дела "открыли врата" в эту абсолютно неизведанную область науки.

Создание детекторов излучения на основе ранних открытий

Работая вечером 8 ноября 1895 года в тщательно затемненной комнате, В.Рентген заметил, что циано-платинит бария, нанесенный на кусочек картона, испускает слабый мерцающий зеленоватый свет (флюоресценция). В это время в расположенной поблизости трубке Хитторфа-Крукса начали происходить электрические разряды. Сама трубка была закрыта черным чехлом, непрозрачным для видимого света. В.Рентген установил, что именно трубка является источником нового вида излучения, которое само по себе невидимо, однако обнаруживается при помощи люминесцентного экрана. В дальнейшем В.Рентген провел множество тщательным образом поставленных экспериментов по изучению излучения, которое он назвал X-лучами (впоследствии в честь немецкого ученого они были названы рентгеновскими лучами). Первое важное достижение В.Рентгена состояло в том, что он заменил флюоресцентный экран фотопластинкой. Последняя оказалась чувствительной к рентгеновским лучам и стала таким образом служить инструментом для регистрации изображений, получаемых с помощью рентгеновских лучей.

22 декабря 1895 года В.Рентген получил первую медицинскую рентгенограмму, на которой была изображена ладонь его супруги. Это событие ознаменовало рождение рентгенографии. В последующем для изучения рентгеновских лучей в основном использовались фотопластинки. Флюоресцентные экраны потеряли свое значение, хотя флюороскопы или киаскопы были усовершенствованы У.Ф.Маджи, Э.Р.Томсоном и Т.А.Эдисоном. Во время многочисленных экспериментов с X-лучами В.Рентген обнаружил также, что под воздействием этих лучей воздух становится электропроводящим. Впоследствии это явление было использовано при конструировании различных типов детекторов излучения. За свое открытие В.Рентген был удостоен в 1901 году звания лауреата Нобелевской премии в области физики (премия в этой области была присуждена впервые).

* Сотрудник Секции радиологической безопасности, Отдел ядерной безопасности, МАГАТЭ.

Интересно отметить, что возможности использования рентгеновских лучей для различных целей – медицинского и немедицинского характера – были сразу же по достоинству оценены, и в течение 1896 года появилось свыше 1000 статей и 50 книг, посвященных этой теме. Однако наряду с распространением информации о новых открытиях появилась и немногочисленная невежественная оппозиция: например, предлагалось “запретить использование рентгеновских лучей в театральных биноклях”, или “сжечь все работы по рентгеновским лучам и казнить всех первооткрывателей”. Одна торговая фирма “сделала жертвами обмана невежественных женщин, разрекламировав продажу дамского белья, не пропускающего рентгеновские лучи”.

На ранних этапах работы с рентгеновскими лучами вскоре было обнаружено, что та область в разрядной трубке, где под воздействием катодных лучей возбуждаются рентгеновские лучи, характеризуется сильной флюоресценцией, и поэтому предполагалось наличие корреляции между этой флюоресценцией и испусканием рентгеновских лучей. Исходя из предположений, выдвинутых А. Пуанкаре, А. Беккерель провел в 1896 году систематическое изучение взаимосвязи излучений в видимой области спектра и рентгеновских лучей. Облучив фосфоресцирующие вещества на солнечном свете, он заворачивал их в черную бумагу и затем помещал на фотопластинки с тем, чтобы обнаружить какую-либо эмиссию рентгеновских лучей. Случилось так, что Беккерель начал свои эксперименты с использования хорошо флюоресцирующих урановых соединений. Он показал, что в случае размещения минералов урана на фотопластинке после проявления получаются черные точки и что минералы испускают проникающие лучи, аналогичные рентгеновским лучам. Когда позднее он обработал фотопластинку, лежавшую в течение нескольких дней в ящике под лотком с солями урана, которые не подвергались облучению солнечным светом, он обнаружил на пластинке точно такие же черные точки. Повторив эксперимент, он пришел к заключению, что ни солнечный свет, ни фосфоресценция, ни флюоресценция не являются причиной данного эффекта и что невидимые лучи испускаются всеми соединениями урана и металлическим ураном. Так, в 1896 году было открыто явление радиоактивности.

Беккерель продолжил тщательное исследование свойств этих лучей. Среди других важных факторов он обнаружил, что данные лучи разряжают заряженный электроскоп (изобретенный в 1787 году А. Беннетом). После открытия Беккереля ученые занялись поисками других элементов, являющихся источниками излучения.

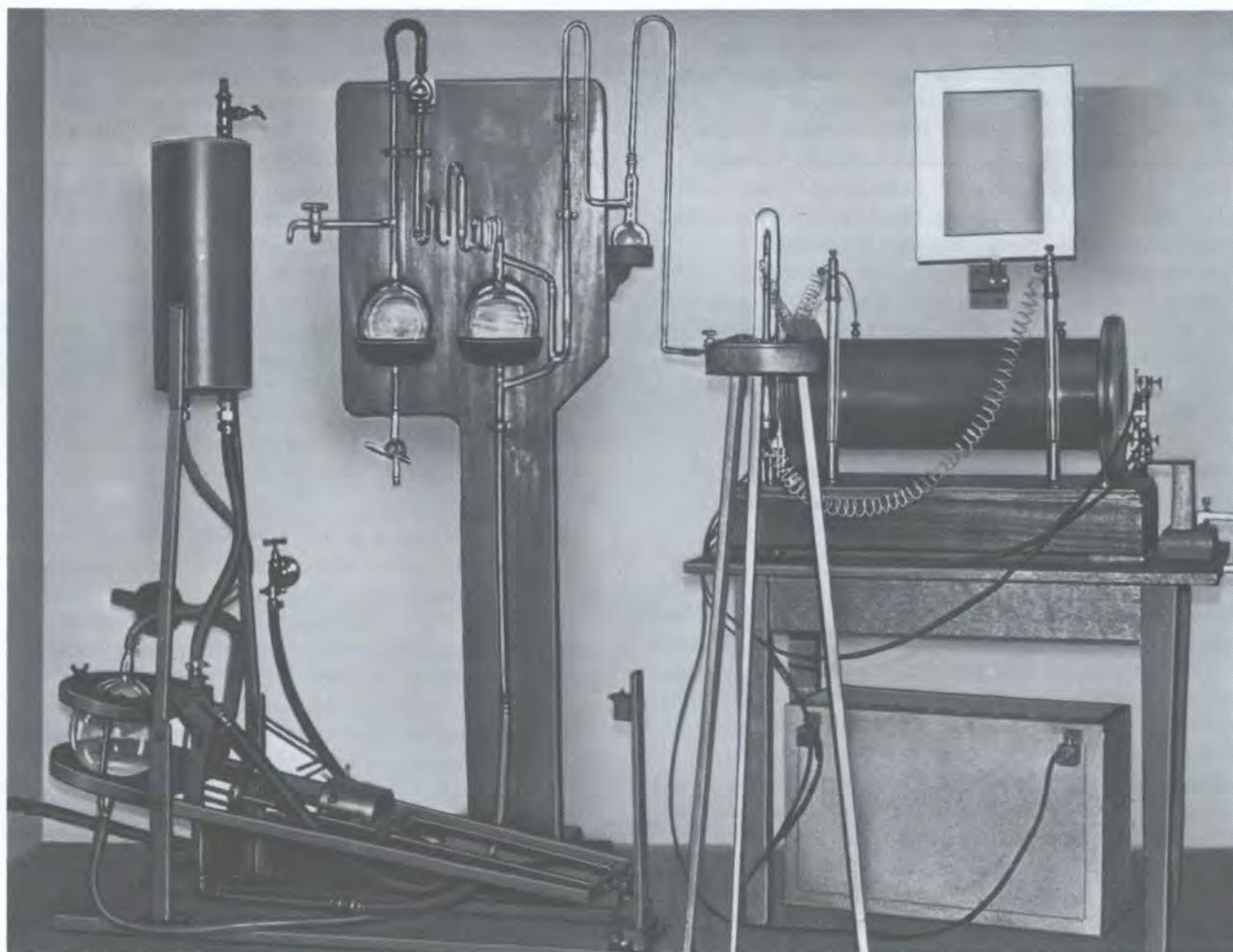
Как уже упоминалось, одним из ранее обнаруженных свойств рентгеновских лучей явилась их способность вызывать электропроводность сухого воздуха, т.е. образовывать электрические заряды в воздухе. Эти заряды можно улавливать с помощью коллектора, создав в данном объеме воздуха электрическое поле. Однако до исследований, проведенных в 1899 году Дж. Дж. Томсоном, полной ясности в отношении рабочих характеристик подобных

ионизационных камер не было. Мадам Склодовская-Кюри предположила, что ионизационный метод измерения интенсивности рентгеновских лучей можно с успехом использовать для регистрации излучения, обнаруженного Беккерелем. Она дополнила электрометр, использовавшийся ее мужем Пьером Кюри, ионизационной камерой и повторила эксперименты Беккереля. Данный метод дал весьма удовлетворительные результаты. Она обнаружила, что интенсивность излучения рентгеновских лучей пропорциональна количеству урана. В июле 1898 года супруги Кюри открыли радиоактивный элемент полоний. В декабре 1898 года они объявили об открытии радия. В 1903 году вместе с Беккерелем им была присуждена Нобелевская премия в области физики. Мадам Кюри мы также обязаны рождением термина *радиоактивность*, которым она назвала новое явление.

Интересно отметить, что в 1899 году Й. Эльстер, Г. Гертель и независимо от них Ч. Т. Р. Вильсон обнаружили, что заряд электроскопа постепенно уменьшается при отсутствии явного воздействия излучения, и предположили, что это связано с наличием радиоактивности в земле. В 1899 году было замечено также, что часть “лучей Беккереля” отклоняется в магнитном поле. Через несколько лет Резерфорду удалось полностью объяснить природу альфа-, бета- и гамма-лучей.

На начальных этапах исследовательских работ с радием для изучения нового явления использовались фотопластинки. Однако вскоре ввиду простоты обращения с электроскопом, в конструкции которого применяются золотые листочки, его относительно низкой стоимости и высокой чувствительности предпочтение при исследованиях радиоактивных материалов стало отдаваться именно этому прибору. Были разработаны различные типы электроскопов: альфа-электроскоп, в котором ионизационная камера и измерительное устройство тесно взаимосвязаны; бета-электроскоп, в котором ионизационная камера и измерительное устройство объединены; эманационный электроскоп для измерения радиоактивных газов. Ионизационные камеры в сочетании с гальванометрами по-прежнему использовались только для измерения интенсивного излучения. Первоначальные методы регистрации с помощью флюоресцентного экрана, фотопластинок, электроскопа с золотыми листочками и ионизационных камер в сочетании с электроскопом или гальванометром имели одну общую особенность: они использовались для регистрации излучения в целом, однако не позволяли различать отдельные составляющие излучения.

Первым прибором, который позволил регистрировать отдельные акты, связанные с излучением, явился спинтарископ, изобретенный в 1903 году Круксом. Было обнаружено, что свечение экрана из сернистого цинка, возникающее под воздействием альфа-частиц, состоит из ряда отдельных светящихся точек, которые можно наблюдать с помощью сильной лупы. Резерфорд и Гейгер установили, что на однородном экране каждая сцинтилляция соответствует воздействию только одной альфа-частицы. Таким образом появился очень простой метод счета отдель-



Восстановленная экспериментальная установка, на которой 8 ноября 1895 года В. Рентген обнаружил X-лучи. Разрядная трубка закреплена на треноге, флуоресцентный экран расположен в верхнем правом углу. (Фото: Музей В.Рентгена)

ных альфа-частиц, который в конечном итоге приобрел большое практическое значение. Данный метод был усовершенствован и наиболее успешно использовался Резерфордом и его учениками; его широкое применение продолжалось на протяжении многих лет вплоть до 1930-х годов. Однако этот метод был весьма трудоемким и утомительным для исследователей: обычно процедура состояла в том, что один наблюдатель начинал отсчет в течение первой минуты, затем его сменял другой и так далее. Каждому наблюдателю в ходе одного эксперимента приходилось иногда производить одномоментный счет до 20 раз.

Другим прибором, с помощью которого удалось зарегистрировать отдельные акты излучения, явилась камера, наполненная пересыщенными парами. Подобная камера была построена в 1911 году Ч. Т. Р. Вильсоном; она обычно состоит из плоской передней стеклянной пластины, через которую ведется наблюдение, стеклянных боковых стенок для подсветки внутренней части камеры и расположенного сзади подвижного поршня, который позволяет увеличивать объем камеры на короткие доли секунды и вызывать тем самым перенасыщение паров. На траектории движения электрически

заряженной частицы образуются капельки, и эти видимые следы можно фотографировать.

В период с 1923 по 1930 год камера Вильсона была усовершенствована и стала наиболее эффективным исследовательским инструментом, с помощью которого было сделано множество важных открытий. В 1939 году А. Лангсдорф впервые построил диффузионную камеру Вильсона непрерывного действия. Начиная с 50-х годов в экспериментах по физике высоких энергий широко используются пузырьковые камеры, которые позволяют наблюдать треки частиц в жидкой среде. В 60-х годах были разработаны искровые камеры.

Помимо фото-, ионизационных и сцинтилляционных эффектов сравнительно давно были обнаружены другие эффекты, связанные с излучением. Тот факт, что ионизирующее излучение оказывает биологическое воздействие, известен с самых первых дней работы с излучениями. В апреле 1896 года Даниель описал серьезное повреждение кожи, возникшее после продолжительного облучения рентгеновскими лучами. Аналогичные наблюдения были сделаны также некоторыми другими исследователями рентгеновских лучей. Один случай поражения кожного покрова рентгеновскими лучами стал

известен даже до их открытия. Летом 1895 года у Э.Груббе, работавшего с катодными разрядными трубками, возник странный дерматит рук, причину которого не мог понять ни он, ни его врач. Он умер от рака в 1960 году. В 1901 году Беккерель обнаружил у себя покраснение кожи под жилетным карманом, в котором он носил источник излучения. П.Кюри намеренно облучал часть своей руки в течение 10 ч, в результате чего на коже образовался ожог, аналогичный солнечному ожогу, а процесс заживления длился в течение четырех месяцев. Данлос, работавший в госпитале Сент-Луис, исследовал вопрос о том, можно ли использовать облучение радиумом для лечения некоторых кожных заболеваний. Многие первооткрыватели, работавшие с излучениями, стали жертвами своих научных занятий. В 1936 году в Гамбурге этим естествоиспытателям, отдавшим свою жизнь ради науки, был воздвигнут памятник — на нем перечислено 178 фамилий. В 1928 году на Втором международном радиологическом конгрессе была создана Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ), которая первоначально получила название Международного комитета по защите от рентгеновских лучей и радия. С тех пор эта организация занимает ведущее положение в разработке принципов радиационной безопасности.

Другой вид физиологического воздействия, который был обнаружен вскоре после открытия радия, проявлялся в резком снижении количества лейкоцитов в крови после инъекции радиоактивной жидкости. Стало известно также, что у слепых людей возникает ощущение света, если у них перед глазами поместить радиевый источник; это явление объясняется флюоресценцией хрусталиков, глазного яблока и сетчатки под воздействием гамма-лучей.

Помимо этого были обнаружены радиационные эффекты, выражающиеся в окрашивании стекол или минералов, обесцвечивании красок, а также небольшом повышении температуры, которое наблюдается у мощных радиевых источников. На начальных этапах работы с излучениями данные эффекты мало использовались для регистрации и измерения излучений. Однако позднее связанные с химическими процессами эффекты стали широко использоваться при экспресс-дозиметрии в сильных радиационных полях; эффект тепловыделения нашел особое применение при абсолютных измерениях излучения альфа-эмиттеров с помощью микрокалориметров.

Эволюция детекторов излучения

В настоящее время при регистрации излучений по-прежнему используются эффекты, обнаруженные на самых ранних стадиях работы с рентгеновскими лучами и радиоактивными материалами. Регистрирующая аппаратура многократно совершенствовалась за это время, и многие исследователи внесли огромный вклад в ее разработку, о чем в данной статье можно рассказать лишь в общих чертах.

Фотоэмульсии

Как уже упоминалось, фотопластинки начали использовать для регистрации ионизирующего

излучения еще на этапе открытия рентгеновских лучей и радиоактивности. В последние годы были разработаны специальные фотоэмульсии, в частности для рентгенографии и автордиографии. Вначале использовался эффект потемнения эмульсии под действием излучения. Однако в 30-х годах были получены специальные ядерные эмульсии, которые позволили регистрировать треки ядерных частиц. Подобные эмульсии широко применялись в исследовательских работах по космическим лучам.

Фотодозиметрия количественных характеристик излучения возникла лишь в 1942 году, когда были изобретены пленочные дозиметры для индивидуального дозиметрического контроля. Попытки использовать пленки для оценки дозы облучения персонала предпринимались и ранее, однако результаты в лучшем случае были неопределенными: почернение эмульсии проявленной пленки из кассеты, предназначенной для ношения в кармане в течение определенного времени, до плотности, при которой через пленку невозможно было прочесть печатный текст, служило критерием для проведения исследований в отношении защитных мер. Фотоэмульсии использовались также в качестве вспомогательных материалов при работе с камерами Вильсона и, в частности, в магнитных спектрографических системах для спектрометрии частиц. В настоящее время фотоэмульсии широко используются в медицине, промышленности и при проведении научных исследований.

Сцинтилляция

Один из первых методов регистрации и счета ионизирующих излучений был основан на детектировании сцинтилляционного свечения, возникающего в сернистом цинке. В 30-х годах электрические методы счета почти полностью вытеснили этот метод, однако в 40-х годах он получил второе рождение: появились электронные фотоумножители, и в сочетании с сцинтилляторами они использовались для преобразования слабых световых вспышек в электрические импульсы, счет которых можно было производить с помощью электронных систем. Метод визуального наблюдения и счета устарел и потерял свое значение.

Хороший сцинтиллятор должен преобразовывать по возможности большую долю падающей энергии излучения в быструю флюоресценцию, причем интенсивность свечения должна быть пропорциональна поглощенной энергии, люминесценция должна быть кратковременной и материал должен быть однородным, с хорошими оптическими свойствами. В настоящее время не существует материалов, которые одновременно удовлетворяли бы всем этим критериям, и выбор конкретного сцинтиллятора всегда представляет собой некоторый компромисс между этими и другими факторами.

В 1947-48 годах было найдено несколько хороших сцинтилляторов. В 1947 году появились органические сцинтилляторы. В 1948 году был получен кристалл иодистого натрия, активированного таллием; в 1950 году производство этого сцинтиллятора было освоено промышленностью, и впоследствии он нашел широкое применение. Это был фактически



Рентгенограмма, полученная В. Рентгеном 22 декабря 1895 года, на которой изображена рука его супруги. (Фото: Музей В. Рентгена)

первый твердый сцинтиллятор, пригодный для спектрометрии гамма-излучений, и по сей день он остается наиболее широко используемым для этой цели детектором. В 1948 году в печати появились сообщения о жидких сцинтилляторах, однако интерес к ним был проявлен лишь в 60-х годах. Хотя кристалл NaI(Tl) с технической точки зрения представляет собой твердотельный детектор, на практике принято называть твердотельными только те устройства, в которых используются полупроводники.

Ионизация

Ионизация может происходить в различных веществах, однако их использование в детекторах возможно только в том случае, когда заряды, возникающие под действием излучения, перемещаются в электрическом поле. Этому условию хорошо удовлетворяют газы, и поэтому ионизационные детекторы первого поколения имели газонаполненную конструкцию. Простейшим из таких детекторов является ионизационная камера, которая широко использовалась на ранних этапах исследования рентгеновских лучей. В 1910 году во время полета на воздушном шаре Хесс получил с помощью ионизационной камеры первые доказательства существования космических лучей.

В 1908 году Резерфорд и Гейгер описали первый электрический счетчик альфа-частиц, изготовленный в виде цилиндра; в 1912 году они усовершенст

ли его и создали сферический счетчик. Дальнейший прогресс был достигнут в 1913 году, когда был разработан детектор для счета бета-частиц. В 1928 году Гейгер и Мюллер изобрели новый тип газонаполненного счетчика, который реагировал на отдельные события, связанные с излучением, выдавая выходной сигнал высокого уровня. Он получил название счетчика Гейгера-Мюллера. В 30-х годах этот счетчик был усовершенствован и благодаря несложной конструкции, простоты в обращении и низкой стоимости быстро нашел широкое применение. Однако с помощью счетчика Гейгера-Мюллера нельзя непосредственно измерять энергию излучения; кроме того, его применение ограничено относительно низкой скоростью счета. Тем не менее этот счетчик успешно применяют в случаях, когда требуется простая и экономичная система счета.

Разработка газонаполненных детекторов получила дальнейшее развитие в 40-х годах. В 1940 году Фриш изобрел ионизационную камеру с сетками, которая до сих пор находит ограниченное применение в альфа-спектрометрии. В конце 40-х годов появился третий тип газонаполненного детектора — пропорциональный счетчик, в котором происходит усиление зарядов, возникающих в газе. Важной областью применения пропорциональных счетчиков является спектрометрия рентгеновских лучей низкой энергии. В настоящее время пропорциональные счетчики все еще широко используются во многих лабораториях для измерения альфа- или бета-излучений. Хотя ядерные лаборатории не отказались от применения газонаполненных счетчиков для обычных измерений, практически во всех исследованиях, требующих высокой точности измерений, классические газонаполненные детекторы уже не используются.

Вскоре стало ясно, что использование твердотельных детекторов вместо газовых для регистрации излучений сулит большие преимущества, поскольку плотность твердых тел приблизительно в 1000 раз больше, чем газов, и по габаритам твердотельные детекторы могут быть значительно меньше газонаполненных аналогов. О некоторых работах по кристаллическим счетчикам было сообщено в 1932 году Иоффе, а в 1945 году — Ван-Хеерденом. Однако детекторы излучения, с помощью которых можно измерять ионизацию, возникающую в твердых диэлектриках, и которые являются твердотельным аналогом газонаполненных камер, появились только в конце 50-х и начале 60-х годов. Разработка таких полупроводниковых детекторов осуществлялась быстрыми темпами. Диффузионные и поверхностно-барьерные детекторы широко используются для регистрации альфа-частиц. Эффект направленной ионной диффузии, впервые продемонстрированный Пеллом в 1960 году, дал возможность разработать практические методы, с помощью которых можно изготавливать полупроводниковые детекторы с большими активными объемами. Эти "дрейфовые детекторы" в скором времени стали применяться во всех областях ядерной физики.

В настоящее время в диодных детекторах, предназначенных для спектрометрии заряженных частиц, наиболее часто в качестве полупроводникового

материала используется кремний, в то время как германий более широко используется в детекторах, изготовленных с помощью направленной ионной диффузии и предназначенных для измерения гамма-излучения. Кремниевые детекторы нашли наиболее широкое применение в системах для спектроскопии низкоэнергетического рентгеновского излучения, а также для спектроскопии бета-частиц. Основной отличительной особенностью германиевых детекторов является очень высокая разрешающая способность по энергии, и поэтому они почти полностью вытеснили все остальные системы, применяемые в спектроскопии гамма-излучения. Производство Ge (Li)-детекторов требует определенного опыта. Однако, когда эти детекторы появились на коммерческом рынке, они распространились по всему миру с быстротой молнии. К недостаткам, связанным с применением Ge (Li)-детекторов, следует отнести то, что их необходимо хранить и эксплуатировать при очень низких температурах. В период с 1970 по 1972 год появился сверхчистый германий, что позволило изготавливать германиевые детекторы без литиевой компенсации — так называемые детекторы на чистом кристалле германия. Такие детекторы можно хранить при комнатной температуре. Согласно оценкам, в настоящее время в мире используется более 1000 детекторов на чистом кристалле германия.

В 1932 году Дж. Чедвик открыл нейтрон. Вскоре появились источники со средними нейтронными потоками, однако при детектировании и измерении нейтронов возникло намного больше трудностей, чем при детектировании и измерении других видов излучения. Сначала работа проводилась практически только с помощью детекторов вторичной ионизации, в которых образующиеся в результате воздействия нейтронов заряженные частицы, или ядра отдачи, детектировались с помощью соответствующих ионизационных или пропорциональных счетчиков. Только несколько лет спустя, после 1942 года, когда появились мощные нейтронные потоки из реакторов, были разработаны более сложные нейтронные детекторы.

Практически каждый тип нейтронного детектора состоит из мишени, предназначенной для создания под воздействием нейтронов заряженных частиц высокой энергии, и обычного детектора излучения. Поскольку в нейтронной физике исследуется широкий диапазон энергий, охватывающий 14 порядков (10^{-6} - 10^8 эВ), для детектирования нейтронов в разных диапазонах энергии были разработаны различные методы детектирования, так как нейтроны подразделяются на медленные, промежуточные и быстрые.

Наиболее распространенными реакциями, используемыми для преобразования медленных нейтронов в заряженные частицы, которые можно детектировать, являются (n, α) -реакции на боре-10 и литии-6 и реакция типа (n, p) на гелии-3. Для регистрации медленных нейтронов широко применяется пропорциональный детектор, наполненный газообразным трехфтористым бором.

Некоторые конструкции детекторов быстрых нейтронов были основаны на принципе размещения

детектора медленных нейтронов в центре замедляющей среды. Весьма распространенным является детектор, представляющий собой счетчик удлиненной формы, который состоит из трубки, наполненной BF_3 и заключенной в цилиндрический замедлитель; этот детектор имеет "квазистационарную" характеристику. Подобный детектор был впервые предложен Хансеном и Мак-Кибеном в 1947 году. Открытие в 50-х годах органических сцинтилляторов, пригодных для детектирования нейтронов, расширило возможности физики быстрых нейтронов. Разработка неорганических сцинтилляторов (стеклянных сцинтилляторов на литии-6) сыграла важную роль в физике нейтронов низкой энергии в начале 60-х годов. Однако наивысшая точность детектирования медленных нейтронов была достигнута с помощью так называемых "времяпролетных" систем. В 1960 году Брамлетт, Юинг и Боннер впервые разработали "сферический дозиметр", в котором вероятность детектирования нейтронов хорошо согласуется с дозой облучения биологической среды нейтронами и который в настоящее время носит название "сфера Боннера". Вопрос разработки небольших детекторов для контроля дозы излучения, создаваемой нейтронами, в частности, нейтронами в диапазоне промежуточных энергий, по-прежнему требует особого внимания.

В настоящее время в детектировании излучений важную роль играют и многие другие детекторы, о которых не упоминалось выше: в некоторых материалах, а именно в пластиковых тонких пленках, след поврежденных молекул на пути пролета частиц можно сделать видимым путем последующего химического травления. Устройства, в которых такие материалы используются для детектирования заряженных частиц, называются *дизлектрическими трековыми детекторами*. Для счета получаемых после травления следов или треков разработаны специальные методы; для детектирования тяжелых ионов и продуктов деления успешно применяется метод регистрации треков.

Для нейтронных измерений можно использовать наведенную в материалах радиоактивность, образующуюся в результате нейтронного взаимодействия. Результаты измерения излучений, испускаемых этими материалами, можно использовать для получения информации о падающих потоках нейтронов. Подобные детекторы называются *активационными детекторами*. Несмотря на существование ряда физических ограничений, активационные детекторы нашли ограниченное применение в измерениях нейтронного излучения.

Под воздействием облучения неорганические сцинтилляционные материалы излучают свет в виде быстрой флюоресценции. Однако различные классы неорганических кристаллов могут "захватывать и хранить" возбужденные частицы, возникающие в результате облучения, причем при нагревании частицы переходят из возбужденного состояния в основное, испуская при этом свет. Материалы, обладающие подобными свойствами, являются интегрирующими детекторами. Детекторы, работающие на этом принципе, называются *гермолюминес-*

сцентными дозиметрами. Явление термолюминесценции было впервые описано Бойлем в 1663 году, а позднее Уиком в 1927-28 годах. Исследования, которые привели к разработке термолюминесцентных дозиметров, были начаты лишь в 1948 году Л.Ф.Хекельсбергом. На основе обнаруженной взаимосвязи между дозой излучения и интенсивностью термолюминесценции Даниельс предложил использовать для радиационной дозиметрии кристаллы из галогенидов щелочных металлов. В 1966 году в качестве индивидуальных дозиметров стали широко использоваться кристаллы фтористого лития. В индивидуальной дозиметрии, особенно в условиях тропических стран, небольшие кассеты с термолюминесцентными дозиметрами практически вытеснили пленочные дозиметры.

Необходимо особо упомянуть еще один тип детектора, работающий на другом принципе, а именно *черенковский детектор*. Излучение света при прохождении быстрых заряженных частиц через прозрачную среду было впервые обнаружено Черенковым в 1937 году и получило название эффекта Черенкова. Детекторы, основанные на регистрации черенковского излучения, широко используются в экспериментах по физике высоких энергий.

Аппаратура для детекторов

Разработка детекторов излучения не могла бы развиваться без других важных, осуществляемых параллельно работ: создания приборов для регистрации сигналов от детекторов излучения, обработки и выдачи их в удобной для последующего использования форме. Можно напомнить некоторые основные моменты данной эволюции: в 1931 году Уильямс, развивая работы Грейнахера, выполненные в 1926 году, разработал первый линейный усилитель, способный усиливать импульсы, получаемые в щелевой ионизационной камере при прохождении одной альфа-частицы. В 1940 году были созданы фотоумножители. В начале 50-х годов появилось большое количество ламповых усилителей. Их рабочие характеристики непрерывно улучшались, например, в 1956 году были разработаны схемы обратной связи.

В конце 50-х и начале 60-х годов ламповые схемы были заменены транзисторными схемами — последние обладают рядом преимуществ: потребляют меньше энергии, имеют малые габариты (интегральные схемы), а также обеспечивают более высокую надежность работы аппаратуры. В результате в скором времени было разработано большое количество очень хороших портативных детекторов излучения. Скорости счета, обеспечиваемые приборами, возросли. В 60-х годах для обработки данных, получаемых от детекторов излучения, стали применяться ЭВМ. Сегодня мы в полной мере можем

оценить те преимущества, которые дает использование микропроцессоров (центральные процессоры на чипах с интегральными схемами) в системах для регистрации излучений.

Перспективы

Менее чем за столетие детекторы ядерных излучений значительно расширили область восприятия человеком окружающих явлений; практически они дали человеку шестое чувство. В настоящее время мы имеем огромное количество надежных приборов для детектирования и измерения ионизирующих излучений, начиная от приборов, которые широко используются в обычной практике ядерных лабораторий, и кончая очень сложными комплексными системами, предназначенными для специальных целей. С помощью детекторов была исследована не только природа ядерных излучений и их источников — применение детекторов позволило успешно использовать излучения в медицине, промышленности и научных исследованиях, а также установить контроль над опасностями, которые может таить в себе ионизирующее излучение.

Приборы для радиационных измерений дали человеку возможность описать явления окружающей его среды с такой точностью, которая считалась даже несколько лет тому назад недостижимой. При измерении концентрации многих элементов чувствительность приборов достигает порядка нескольких частей на миллиард — это намного меньше тех концентраций, которые прежде были доступны для измерений.

Быстрое развитие измерительной техники и масштабы оснащения ею привели, однако, к появлению новых проблем: иногда очень сложные приборы используются там, где можно применить более простые приборы; например, многоканальные анализаторы применяются в тех случаях, когда можно было бы использовать одноканальный анализатор.

Список литературы

- The science of ionizing radiation* Compiled and edited by L. E. Etter Charles C. Thomas, Springfield, Illinois, USA (1965).
Detectors in nuclear science Ed. D. A. Bromley Nuclear Instruments and Methods, Vol. 162 No. 1-3, Parts I and II (1979).
Radiation detection and measurement G. F. Knoll John Wiley & Sons, New York (1979).
Wilhelm Conrad Röntgen 1845-1923 1973 Inter Nations, Bonn-Bad Godesberg, H. Moos Verlag, München.
Radiation Protection Standards L. S. Taylor Butterworths, London (1971).
Historical note — thermoluminescent dosimetry (LiF) 1950-1951 L. F. Heckelsberg Health Physics Vol. 39, pp. 391-393 (1980).