

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 53:37.022

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛОСКОГО ИСТОЧНИКА РАДИОАКТИВНОСТИ В ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ

В.А. Белянин

Марийский государственный университет, Йошкар-Ола

Экспериментально изучена интенсивность потока излучения радиоактивной плоскости. Источником излучения является соль KCl, детектором частиц – счетчики Гейгера – Мюллера. Показана возможность постановки лабораторной работы по исследованию явления радиоактивности.

The paper shows an experimental study of the radiation flux level of the radioactive plane. Sylvite (KCl) is the radiation source; the particle detector is Geiger–Muller counter. The paper shows how to conduct a laboratory work on the study of radioactivity.

В лабораторных практикумах общего курса физики вузов традиционно ставятся задачи по изучению явления радиоактивности. Изучаются или определяются активность радиоактивного препарата, период полураспада, энергетический спектр, поглощение радиоактивных α , β , γ -излучений в алюминии или воздухе и некоторые другие параметры, свойства или характеристики [1–4].

Все вышеперечисленные задачи решаются, как правило, с использованием специальных искусственных радиоактивных изотопов, таких как ^{90}Sr , ^{210}Po , ^{22}Na , ^{60}Co , ^{238}Pu . Применение этих изотопов в учебном процессе требует специальных условий их приобретения, хранения и использования. В школах использование искусственных радиоактивных источников категорически запрещено. В то же время важность лабораторного практикума по ядерной физике при обучении физике, как студентов, так и школьников, трудно переоценить. Этот практикум завершает изучение общего курса физики в вузе и курса физики в школе, формирует современный взгляд студентов и школьников на современную физику, формирует, в конечном счете, научное мировоззрение, как учителей физики, так и школьников.

Актуальным является вопрос поиска безопасных источников радиоактивности и создание цикла лабораторных работ на основе таких источников. Данный вопрос к настоящему времени еще не решен. Пробле-

мой является поиск возможностей использования для постановки лабораторных работ в вузе и школе естественно-радиоактивных источников, т.е. таких радиоактивных источников, поле излучения которых было бы совершенно безопасным для человека. Такие источники существуют в виде радиоактивного излучения соли KCl, естественной радиоактивности атмосферного воздуха и космического излучения [5].

В данной работе мы будем рассматривать в качестве радиоактивного источника только химически чистые соли KCl (ГОСТ 4324-48) в состав которых входит слаборадиоактивный изотоп $^{19}\text{K}^{40}$.

Калий является химическим элементом первой группы периодической системы элементов, его атомный номер 19, атомная масса 39,0983, он относится к щелочным металлам. Природный калий состоит из стабильных ^{39}K (93,22 %) и ^{41}K (6,77 %) изотопов и слаборадиоактивного ^{40}K (0,0118 %) с периодом полураспада $1,28 \cdot 10^9$ лет. Как радиоактивный индикатор широкое применение находит искусственный β -радиоактивный изотоп ^{42}K с периодом полураспада 12,36 часа. При распаде ^{40}K в 88 % случаях испускается β^- -частица и образуется ^{40}Ca , а в 12 % – происходит захват K-электрона и ^{40}K переходит в ^{40}Ar . Электронная конфигурация внешней оболочки $4s^1$. Энергии последовательной ионизации 4,341, 31,820 и 46 эВ. Кристаллохимический радиус атома калия 0,236 нм, радиус иона K^+ 0,133 нм.

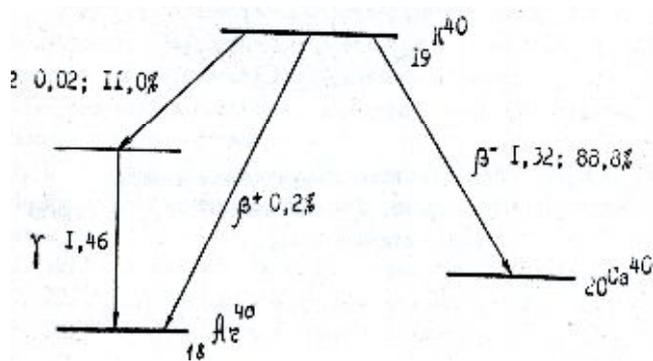


Рис. 1. Схема распада изотопа $^{19}\text{K}^{40}$. (Стрелками изображены электронный, позитронный распады, e-захват и γ -переход; около стрелки указаны максимальная энергия частицы и вероятность перехода в процентах от общего числа распадов)

Удельная активность химически чистого калия хлористого за счет распада изотопа $^{19}\text{K}^{40}$ составляет $3,87 \cdot 10^{-7}$ Ки/кг.

Схема распада изотопа $^{19}\text{K}^{40}$ приведена на рисунке 1, а энергетический спектр β -распада изотопа $^{19}\text{K}^{40}$ представлен на рисунке 2.

Задача использования в лабораторном практикуме солей калия в качестве источника радиоактивных излучений встречает на своем пути ряд существенных трудностей. Основная трудность обусловлена малой плотностью потока излучения от такого источника радиации, а также достаточно большим поглощением электронов данного радиоактивного источника в воздухе при атмосферном давлении. Искусственные изотопы изготавливаются в виде тонких слоев препарата с линейными размерами в несколько мм, нанесенных на подложку. Такие препараты в учебных лабораторных установках можно считать точечными источниками радиации. Радиоактивные препараты аналогичных размеров из солей калия абсолютно не работоспособны и не пригодны для учебных целей в силу малой радиационной активности изотопа калия.

Целью данной работы является экспериментальное изучение поля излучения плоского радиоактивного источника. В учебной и научно-методической литературе таких работ мы не обнаружили. Максимальные линейные размеры плоского радиоактивного источника выбирались исходя из разумности и условия, что источник должен быть значительно больше по линейным размерам соответствующих размеров используемого в качестве детектора счетчика Гейгера – Мюллера.

Основная задача: создание экспериментальной установки, разработка условий эксперимента, исследование интенсивности поля радиоактивного излучения над радиоактивной плоскостью с помощью счетчиков Гейгера, выяснение возможностей постановки соответствующей лабораторной работы для студентов и школьников.

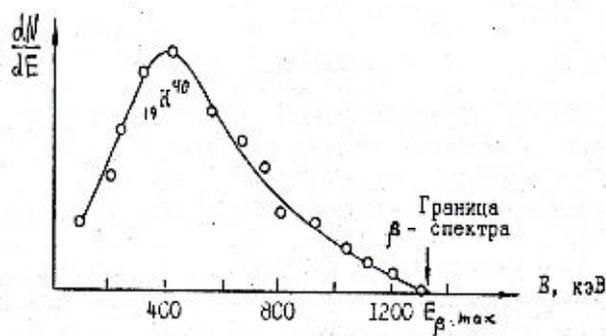


Рис. 2. Энергетический спектр β -распада изотопа $^{19}\text{K}^{40}$. (Максимальная энергия электронов около 1,3 МэВ, большая часть электронов имеет энергию около 0,5 МэВ)

Исследование выполнено с помощью комплекта приборов «Арион» [5]. Конструктивно комплект приборов «Арион» (рис. 3) состоит из специализированного электронного блока, деталей и конструкций лабораторных установок, позволяющих выполнять двенадцать самостоятельных лабораторных работ. Часть лабораторных установок содержит свинцовые домики, часть установок являются совершенно открытыми, что очень наглядно для студентов. Все лабораторные установки удовлетворяют требованиям техники безопасности, наглядно воспроизводят соответствующее физическое явление, дают достоверные и однозначные физические результаты.



Рис. 3. Пример лабораторной установки «Арион» по изучению космического излучения (электронный блок, космический «телескоп», компьютер)

Установки не являются «черными ящиками»: счетчики Гейгера, источники радиоактивности и другие конструктивные элементы установок находятся в поле зрения экспериментатора. Источники радиоактивности: соли калия помещаются в специальные контейнеры и прикрываются специальной пленкой. Защиту от высокого напряжения, подаваемого на счетчики Гейгера, обеспечивают специальные экраны из прозрачного и тонкого органического стекла.

Электронный измерительный блок прибора «Арион» содержит источник стабилизированного напряже-

ния для подключения двух групп счетчиков Гейгера, секундомер и счетчик импульсов с цифровой индикацией. Блок измерительный является законченным прибором, который обеспечивает питание счетчиков типа СТС-6, измерение числа импульсов, поступающих от счетчиков, а также времени, в течение которого происходит это измерение. Регулируемое напряжение, подаваемое на счетчики, измеряется стрелочным индикатором, а число импульсов и время измерения выводится на табло с цифровыми индикаторами, расположенными на передней панели прибора.

Измерительный блок имеет объем регистрации счетчика до 9999 импульсов, а секундомера – до 99 минут 59 секунд. Длительность входного импульса составляет от 0,1 до 10^5 мкс, максимальная частота счета импульсов составляет до 10^4 импульсов за секунду, выходное стабилизированное напряжение счетчика можно изменять в пределах от 250 до 1000 В при мощности источника питания счетчиков 5 Вт.

Конструктивно-экспериментальная установка для изучения поля излучения радиоактивной плоскости представлена на рисунке 4.



Рис. 4. Экспериментальная установка

Установка состоит из горизонтальной платформы и вертикальной стойки, поддерживающей плату счетчиков. Стойка представляет собой вертикальную линейку со специальным приспособлением, которое позволяет фиксировать, изменять и измерять расстояние между источником и счетчиком. Длина стойки, на которой закреплены механизм плавного перемещения приемников радиоактивного излучения и указатель перемещения, выбирается не менее длины максимального пробега электронов в воздухе. На платформу под счетчики ставится плоская кювета с радиоактивной солью так, чтобы ее положение было симметрично относительно счетчиков, расположенных над ней. Кювета с радиоактивной солью показана на рисунке 4. Детектором радиоактивного излучения служат счетчики Гейгера – Мюллера СТС-6. Время измерения выбирается в пределах до 3 минут, как для

измерения фоновой скорости счета, так и для измерения активности радиоактивного источника.

Измерения на данной установке можно проводить с плоскими радиоактивными источниками, достигающими размеров 60×60 см². Толщина слоя соли КСl 4 мм. Толщина выбиралась так, чтобы активность препарата была максимальной при его минимальной массе. Расстояние от образца, слоя соответствующей соли, до счетчиков в ходе эксперимента можно было изменять от 2 до 100 см с интервалом 1–2 см.

Исследование заключалось в проведении двух серий экспериментов. В первом эксперименте измерялась зависимость числа регистрируемых счетчиками частиц за определенное время в зависимости от расстояния счетчиков от центра плоскости. В качестве источника радиоактивного излучения использовалась плоскость 50×60 см² радиоактивной соли толщиной 0,5 см.

Плоскость кладется на платформу экспериментальной установки параллельно расположенным над ней счетчикам, так, чтобы ее центр совпал с центром платы со счетчиками Гейгера – Мюллера. Плоскость на платформе находится в неизменном положении до окончания опыта. Плата со счетчиками устанавливается на минимальном расстоянии от плоскости. Выполняется измерение скорости счета от фона и от радиоактивного источника. Затем счетчики перемещаются вертикально вверх с фиксированным шагом. Измерение проводится до совпадения результатов измерения от плоскости с фоновыми значениями.

В результате мы получаем зависимости, которые характеризуют, в основном, поглощение электронов от изотопа ^{40}K в воздухе (рис. 5–6).

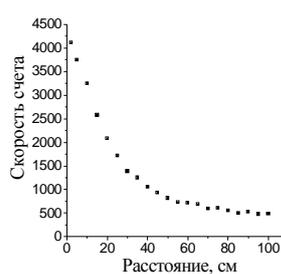


Рис. 5. Зависимость скорости счета от расстояния между источником ^{40}K и приемником β -излучения в воздухе

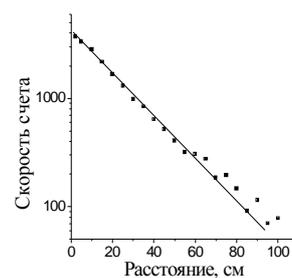


Рис. 6. Зависимость скорости счета (логарифмический масштаб) от расстояния между источником и приемником в воздухе

Из рисунка 6 следует, что поглощение электронов от данного радиоактивного источника воздухом описывается экспоненциальной зависимостью на расстояниях до 60 см от поверхности радиоактивного источника. Предельный пробег электронов данного радиоактивного источника в воздухе составляет около 80 см, а коэффициент поглощения электронов в воздухе равен $0,05$ см⁻¹.

Величина, обратная коэффициенту поглощения, составляет около 20 см. Результаты эксперимента на участке расстояний 60–100 см есть следствие ограниченности линейных размеров ($50 \times 60 \times 0,5 \text{ см}^3$) плоского источника радиоактивности.

Во втором эксперименте изучались горизонтальные сечения поля излучения той же самой радиоактивной плоскости на расстояниях до 45 см от плоскости с шагом в 5 см. Плоскость располагается на платформе экспериментальной установки так, чтобы ее центр совпал с центром платы счетчиков Гейгера – Мюллера. Такое положение плоскости будем считать начальным или нулевым. Для получения горизонтальных сечений интенсивности поля излучения плоскость радиоактивного источника перемещалась влево или вправо с шагом в 5 см при неизменном положении счетчиков. Смещение плоскости влево от исходного положения считалось отрицательным, а вправо – положительным.

Результаты проведенного эксперимента наглядно иллюстрирует рисунок 7. При малых расстояниях между плоскостью источника и счетчиками, когда плоскость можно считать бесконечной, интенсивность поля практически неизменна над всей плоскостью (счетчики фиксируют скорость счета около 1200 имп/мин) и резко падает практически до уровня фона за границами плоскости. При больших расстояниях от плоскости, в нашем случае это 45 см, скорость счета изменяется в меньшей степени. Эффект этот обусловлен как поглощением электронов в воздухе, так и проявлением конечности размеров радиоактивной плоскости.

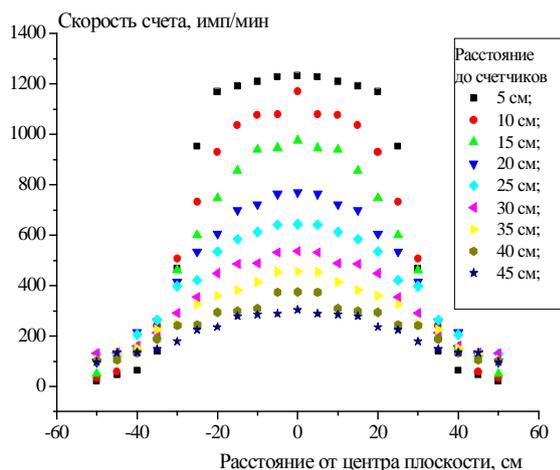


Рис. 7. Скорость счета над радиоактивной плоскостью размером $60 \times 50 \times 0,5$ см («Арион», счетчики СТС-6, время экспозиции 3 мин.)

Результаты исследования показали, что у протяженных источников β -излучения интенсивность радиоактивного поля в окружающем пространстве зависит от геометрической формы источника излучения, его размеров и поглощения излучения воздухом. Обнаруживается качественная аналогия потока излучения от радиоактивного плоского источника с напряженностью электрического поля равномерно заряженной плоскости [6]. Доказана возможность использования протяженных радиоактивных источников малой интенсивности в учебном лабораторном практикуме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Учебная техника для профессионального образования: каталог / под ред. Ю.С. Песоцкого. – М., 2005. – 188 с.
2. Авданина, Э.А. Универсальный лабораторный комплекс по ядерной спектрометрии / Э.А. Авданина, М.Д. Дежурко, И.Я. Дубовская // Физическое образование в вузах. – 2005. – Т. 11, № 1. – С. 41–46.
3. Абрамов, А.И. Основы экспериментальных методов ядерной физики: учеб. пособие для вузов / А.И. Абрамов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 488 с.
4. Лабораторный практикум по общей и экспериментальной физике: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 032200 – Физика / под ред. Е.М. Гершензона, А.Н. Мансурова. – М.: Академия, 2004. – 460 с.
5. Белянин, В.А. Современная лаборатория ядерной физики в педагогическом институте / В.А. Белянин // Вестник МГПИ им Н.К. Крупской. – № 1. – Йошкар-Ола, 2004. С. 32–35.
6. Калашников, С.Г. Электричество: учеб. пособие для студентов физических спец. вузов / С.Г. Калашников. – 6 изд., стереотип. – М.: Физматлит, 2003. – 624 с.