

<https://doi.org/10.47370/2078-1024-2023-15-4-128-134>
УДК 377.016:539.16
© 2023



Д.Б. Сиюхова^{1*}, Т.И. Демина¹

Методика вывода закона радиоактивного распада и закона поглощения излучений с использованием свойства показательной функции при изучении физики в системе среднего профессионального образования

^{1*}Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Майкопский государственный технологический университет», г. Майкоп, Российская Федерация

Аннотация

В соответствии с образовательными стандартами ФГОС СПО предполагается ознакомить студентов профессиональных образовательных организаций со свойствами радиоактивных излучений, их практическими применениями, а также с некоторыми понятиями дозиметрии и защиты от таких излучений.

Об актуальности этой темы можно спорить весьма долго. Но в свете последних событий она очевидна.

Глубокое освоение всего этого материала невозможно без изучения закона радиоактивного распада и закона поглощения излучений.

Проблема исследования: закон радиоактивного распада и закон поглощения излучений выражаются с помощью экспоненциальной функции $N = N_0 e^{-\lambda t}$ и $i = I e^{-\mu x}$ и обычно не излагаются в курсе физики средних специальных учебных заведений. В лучшем случае вычерчивается соответствующий график, но без обоснования. Представляется, что это вызвано двумя причинами: во-первых, при записи экспоненциальной функции используется основание натуральных логарифмов – число e , неизвестное учащимся среднего звена; во-вторых, вышеупомянутые законы обычно выводятся путем решения дифференциальных уравнений, что далеко выходит за рамки программы по математике. Между тем оба эти затруднения легко преодолеть, используя известные студентам среднего профессионального образования свойства показательной функции.

Цель исследования: разработать методику вывода закона радиоактивного распада и закона поглощения излучений, используя свойства показательной функции; провести педагогический эксперимент с целью выявления проблемы усвоения студентами СПО предлагаемого материала.

Методы исследования: теоретическое обоснование; расчет; сопоставление величин; графический анализ экспериментальных данных; обобщение экспериментальных факторов исследования и их объяснение.

Результаты исследования: разработана методика вывода закона радиоактивного распада и закона поглощения излучений с использованием свойства показательной функции; результат педагогического эксперимента подтвердил эффективность разработанной методики.

Ключевые выводы: из предложенной статьи можно заключить, что представленный метод вывода закона радиоактивного распада и закона поглощения излучений с использованием свойства показательной функции может быть применен преподавателями при изучении раздела «Радиоактивные излучения» как для студентов профессиональных образовательных организаций, так и учащихся школ (курс повышенного уровня).

Ключевые слова: поглощение излучений, радиоактивный распад, ядро, атом, фотон, энергия, период полураспада, поток, функция, радиоактивное вещество, ядерные силы, параллельные пучки, экспонента

Для цитирования: Сиюхова Д.Б., Демина Т.И. Методика вывода закона радиоактивного распада и закона поглощения излучений с использованием свойства показательной функции при изучении физики в системе среднего профессионального образования // Вестник Майкопского государственного технологического университета. 2023. Том 15, № 4. – С. 128–134. <https://doi.org/10.47370/2078-1024-2023-15-4-128-134>.

D.B. Siyukhova^{1*}, T.I. Demina¹

Methods for deriving the law of radioactive decay and the law of radiation absorption using the property of the exponent function when studying Physics in the system of secondary vocational education

^{1*}*Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Maikop State Technological University», Maikop, the Russian Federation*

Abstract

In accordance with the educational standards of the Federal State Educational Standard for Secondary Professional Education, it is intended to familiarize students of professional educational organizations with the properties of radioactive radiation, their practical applications, as well as with some concepts of dosimetry and protection from such radiation.

The relevance of this research can be debated for a very long time. But in light of recent events it is obvious.

A thorough mastery of all this material is impossible without studying the law of radioactive decay and the law of absorption of radiation.

The research problem: the law of radioactive decay and the law of absorption of radiation are expressed using the exponential function $N=N_0 e^{-\lambda t}$ and $i=Ie^{-\mu x}$ and are usually not presented in the course of Physics in secondary specialized educational institutions. At best, an appropriate schedule is drawn, but without justification. It seems that this is caused by two reasons: firstly, when writing the exponent function, the base of natural logarithms is used – the number e , which is unknown to intermediate students; secondly, the above laws are usually derived by solving differential equations, which is far beyond the scope of the mathematics curriculum. Meanwhile, both of these difficulties can be easily overcome by using the properties of the exponential function known to students of secondary vocational education.

The purpose of the research is to develop a methodology for deriving the law of radioactive decay and the law of radiation absorption, using the properties of the exponential function; to conduct a pedagogical experiment in order to identify the problem of students' mastery of the proposed material.

The research methods used are theoretical justification; calculation; comparison of quantities; graphical analysis of experimental data; generalization of the experimental factors of the study and their explanation.

The research results: a methodology has been developed for deriving the law of radioactive decay and the law of radiation absorption using the property of the exponential function; the result of the pedagogical experiment confirmed the effectiveness of the developed methodology.

Key conclusions: from the proposed article we can conclude that the presented method for deriving the law of radioactive decay and the law of absorption of radiation using the property of the exponent function can be used by teachers when studying the section «Radioactive Radiation» for both students of professional educational organizations and school students (advanced level).

Keywords: absorption of radiation, radioactive decay, nucleus, atom, photon, energy, half-life, flux, function, radioactive substance, nuclear forces, parallel beams, exponential

For citation: Siyukhova D.B., Demina T.I. *Methods for deriving the law of radioactive decay and the law of radiation absorption using the property of the exponent function when studying Physics in the system of secondary vocational education // Vestnik Majkopskogo gosudarstvennogo tehnologičeskogo universiteta. 2023. Volume 15, No 4. P. 128–134. <https://doi.org/10.47370/2078-1024-2023-15-4-128-134>.*

Введение. Раздел «Физика атомного ядра» – один из самых трудных в учебной физике. Объективная сложность и необычность изучаемых явлений приводит к значительным затруднениям в усвоении материала. Специфика учебного материала раздела «Физика атомного ядра» заключается в том, что в нем изучаются достаточно сложные объекты – атом и атомное ядро, элементарные частицы. С трудностями сталкиваются и учителя – сложные явления нужно знать и понимать достаточно глубоко, чтобы доступно объяснять их своим ученикам.

Так, по мнению З.Г. Мастропаса и Ю.Г. Синдеева, современные достижения науки и техники, огромные темпы прироста новой информации определяют пересмотр содержания предметов, изучаемых в средних специальных учебных заведениях. Расширение круга вопросов современной физики ставит в затруднительное положение скорее преподавателя, чем учащихся. Возможность обсуждения новейших достижений науки в рамках учебного предмета требует от преподавателя самостоятельного расширения кругозора и использования нетрадиционных технологий обучения.

Основная часть. Закон распада радиоактивного вещества выражается формулой $\frac{N}{N_0} f(t) = 2^{-\frac{t}{T}}$, иллюстрируем ее вывод следующим суждением.

Пусть имеется некоторая масса радиоактивного вещества, содержащая очень большое число ядер. Предположим, что в некоторый момент, принятый нами за начало отсчета времени, она содержит N_0 ядер, а по истечении промежутка времени t_1 останутся нераспавшимися N_1 ядер, следовательно

$$N_1 = N_0 f(t_1), \quad (1)$$

Пусть пройдет еще время t_2 , тогда число нераспавшихся ядер

$$N_2 = N_1 f(t_2) = N_0 f(t_1) f(t_2). \quad (2)$$

С другой стороны, число ядер, не подвергнувшихся распаду в течение времени $t = t_1 + t_2$, можно рассчитать так (рис. 1):

$$N_2 = N_0 f(t_1 + t_2). \quad (3)$$

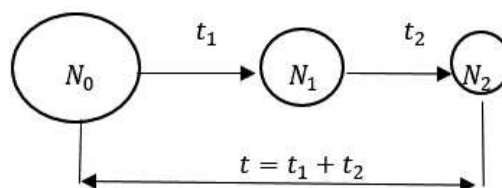


Рис. 1.

Сравнивая выражения (2) и (3), имеем:

$$f(t_1) f(t_2) = f(t_1 + t_2) \quad (4)$$

Показываем, что функция удовлетворяющая этому уравнению есть показательная функция

$$f(t) = a^{kt}, \quad (5)$$

где a – любое положительное число, не равное единице, что соответствует условию (4).

$$a^{kt_1} a^{kt_2} = a^{k(t_1+t_2)},$$

поскольку масса радиоактивного вещества со временем убывает, то показателем степени (при $a > 1$) должно быть отрицательное число [3].

Положив $a = 2$ и $k = -\frac{1}{T}$, получим

$$f(t) = 2^{-\frac{t}{T}}.$$

Тогда закон радиоактивного распада примет вид:

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}. \quad (6)$$

Выясним смысл величины T . Для этого учтем, что T имеет размерность времени, ибо показателем степени должно быть безразмерное выражение (число). Если $t = T$, то

$$N = N_0 \cdot 2^{-1} = \frac{N_0}{2}.$$

Итак, T – это период полураспада, т. е. время, в течение которого распадается половина радиоактивного вещества. График закона радиоактивного распада изображен на рисунке 2.

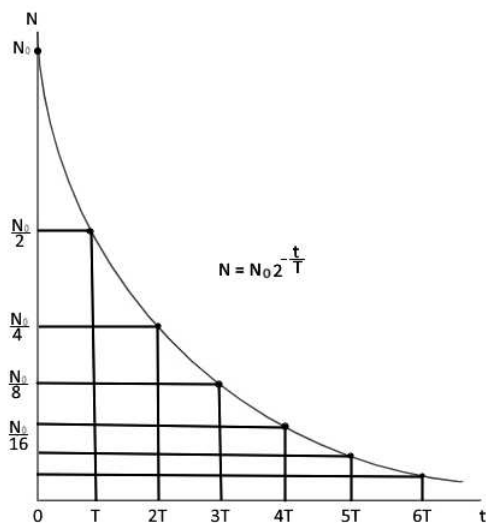


Рис. 2.

Выведенный таким образом закон радиоактивного распада прекрасно подтверждается на опыте. Однако это верно лишь до тех пор, пока мы имеем дело со значительными массами радиоактивного вещества, содержащими огромное множество ядер. В случае малого числа ядер полученный закон распада, очевидно, будет справедлив лишь приближенно [4].

На рисунке 3 изображены результаты наблюдений за распадом изотопа трансуранового элемента фермия ${}_{100}\text{Fm}^{256}$. Было получено 47 ядер, которые распались в течение 19 часов. Каждый акт распада регистрировался счетчиком. Как видно из рисунка, уже начиная с 10 ядер, вместо экспоненциальной кривой получается ступенчатый график. Однако его ход близок к ходу экспоненты [5]. При значительном же числе ядер экспериментальная кривая фактически сливается с экспонентой.

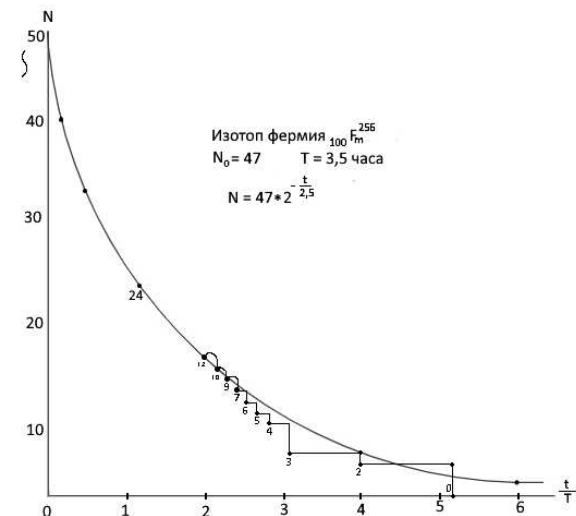


Рис. 3.

Иллюстрируя закон радиоактивного распада, мы принимали, что отношение числа нераспавшихся ядер к их первоначальному числу зависит только от времени, но не зависит от числа ядер [6]:

$$\frac{N}{N_0} f(t) = 2^{-\frac{t}{T}}$$

Это означает, что ядра радиоактивных атомов распадаются самопроизвольно, не

влияя друг на друга. Причина заключается в отсутствии взаимодействия между ядрами, поскольку радиус действия ядерных сил ($\approx 10^{-15}$ м) примерно в сто тысяч раз меньше расстояния между ними ($\approx 10^{-10}$ м).

Активность радиоактивного препарата измеряется числом распадов, совершающихся в нем за единицу времени:

$$Q = \frac{\Delta N}{\Delta t},$$

где Δt – промежуток времени, ΔN – число ядер, распадающихся за это время. Единицей активности в системе СИ служит 1 распад/с, внесистемная единица – 1 кюри = $3,7 \cdot 10^{10}$ распад/с,

Известно, что число распадающихся ядер пропорционально их общему числу и обратно пропорционально периоду полураспада. Действительно, чем больше период полураспада, тем медленнее распадается данное радиоактивное вещество, следовательно, тем меньше его активность [4]. Поэтому можно записать

$$Q = k \frac{N}{T} = 0,693 \frac{N}{T}, \quad (7)$$

где k – коэффициент пропорциональности. Его численное значение ($k = 0,693$) можно сообщить обучающимся без доказательства. К примеру, 1 г радия Ra^{226} с периодом полураспада $T = 1620$ лет = $5,11 \cdot 10^{10}$ с обладает активностью – 1 кюри. Действительно,

$$Q = \frac{0,693 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{226 \cdot 5,11 \cdot 10^{10}} \approx 3,61 \cdot 10^{10} \left(\frac{\text{распад}}{\text{с}} \right) \approx 1 (\text{кюри})$$

Следует обратить внимание студентов на тот факт, что активность любого препарата со временем убывает. Для этого подставим в формулу (7) значение N из закона распада (6), получим

$$Q = \frac{0,693 N_0}{T} \cdot 2^{-\frac{t}{T}} = Q_0 2^{-\frac{t}{T}} \quad (8)$$

Формула закона поглощения для потока ионизирующих излучений (например, бета-частиц или гамма-фотонов) может быть получена совершенно аналогично

закону распада. Пусть N_0 – число фотонов (или каких-либо частиц), падающих на пластину толщиной x_1 (рис. 4) Так как некоторое число фотонов поглотится, то оставшаяся часть выразится так:

$$N_1 = N_0 f(x_1) \quad (9)$$

Если поставить рядом пластинку из того же вещества толщиной x_2 , то

$$N_2 = N_1 f(x_2) = N_0 f(x_1) f(x_2) \quad (10)$$

С другой стороны,

$$N_2 = N_0 f(x_1 + x_2), \quad (11)$$

откуда, учитывая свойства показательной функции, получаем

$$f(x) = 2^{-\frac{x}{L}}$$

и

$$N = N_0 2^{-\frac{x}{L}}, \quad (12)$$

где L – толщина слоя половинного поглощения.

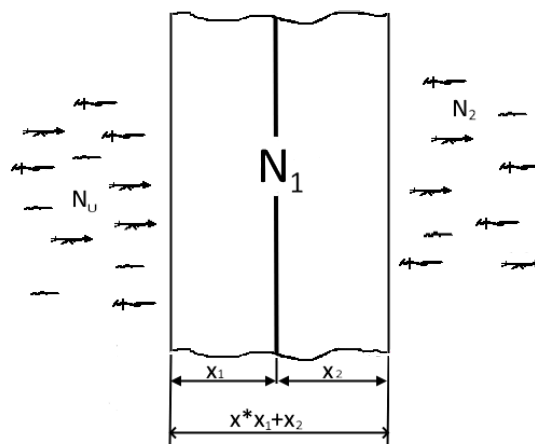


Рис. 4.

При рассуждении мы учитывали только толщину поглощающего слоя, но не учитывали расстояния от слоя до источника, т. е. фактически вели расчет для параллельного пучка (плоской волны). Мы не принимали во внимание также тот факт, что заряженные частицы (альфа- или бета- частицы) имеют конечную, часто весьма малую длину свободного пробега.

Действительно, причина поглощения заключается в том, что заряженные частицы, двигаясь в веществе, ионизируют встречные атомы, на что расходуется их кинетическая энергия. Когда скорость частиц станет очень малой, они нейтрализуются, что приводит к ослаблению пучка [7]. При нейтрализации всех частиц пучок поглотится полностью, причем слоем конечной толщины. Наконец, мы не учли сложного механизма поглощения гамма-фотонов. Поэтому закон поглощения (12) пригоден лишь для узких параллельных пучков излучений, проходящих через не очень толстые слои поглощающего вещества. Опыт показывает, что чем больше плотность вещества ρ , тем меньшую толщину имеет слой половинного поглощения, т. е.

$$L = \frac{R_0}{\rho}, \quad (13)$$

где R_0 – коэффициент пропорциональности. Тогда закон поглощения примет вид:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{\rho x}{R_0}}. \quad (14)$$

Для данного типа излучений R_0 имеет примерно одно и то же значение для всех веществ. Следовательно, степень ослабления пучка излучений N_0/N зависит только от толщины слоя поглотителя и его плотности [8]. На основе этой зависимости сконструирован ряд приборов: толщиномеров, плотномеров, дефектоскопов, уровнемеров и т. п. Эта же зависимость позволяет объяснить, почему для защиты

от излучений используются либо свинец, обладающий большой плотностью, либо толстые плиты бетона.

Исследуемым параметром в педагогическом эксперименте, проведенном в мае 2023 года является уровень усвоения предложенного учебного материала. В результате анализ блока общей информации о респондентах показал, что из участвовавших в нем 67 студентов СПО: 54% обучающихся полностью справились с заданием; 28% справились с заданием частично; 18% участников эксперимента не смогли дать верного ответа на предложенные вопросы.

Заключение. Результат педагогического эксперимента подтвердил эффективность разработанной методики. Изложенный метод может быть использован преподавателями физики СПО при выводе закона радиоактивного распада и закона поглощения излучения. Использование материалов данной разработки поможет преподавателю более глубоко и содержательно провести лекцию, а иллюстрация законов и анализ графиков позволяет студентам СПО получить более полную картину происходящих процессов при изучении раздела «Физика атома и атомного ядра. Радиоактивные излучения». Таким образом, современный уровень системы образования требует от преподавателя постоянного совершенствования не только собственного уровня знаний, но и модернизации методики преподавания, внедрения новых форм и методов в учебный процесс.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Абрамов А.А., Афанасов М.И., Солдатов Е.А. Введение в радиоактивность. – М.: МГУ, 2006. – 39 с.
2. Мastroпас З.П., Синдеев Ю.Г. Физика: Методика и практика преподавания. – Ростов н/Д: Феникс 2002. – С. 53–54.
3. Савельев И.В. Курс физики: учебное пособие Т. 3. Квантовая оптика. Физика твердого тела. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. – СПб.: Лань, 2007. – С. 220–221.
4. Гааз А. Введение в теоретическую физику. Т. 2. Атомная теория. Статистическая физика. Теория относительности / пер. с нем. – М.: Ленанд, 2015. – 343 с.
5. Дельцов В.П., Дельцов В.В. Физика: Дойти до самой сути! Настольная книга для углубленного изучения физики в средней школе: Атомная и ядерная физика. – М.: Ленанд, 2017. – С. 132–133.

6. Атомная и ядерная физика: общий физический практикум / Ажеганов А.С. [и др.]. – М.: ПермГНИУ. Пермь, 2020. – 93 с.
7. Кудрявцев П.С. Открытие радиоактивных превращений. Идея атомной энергии. – М.: Просвещение, 1982. – 388 с.
8. Браун А.Г., Левитина И.Г. Атомная и ядерная физика. Элементы квантовой механики. Практикум: учебное пособие. – М.: Инфа-М, 2019. – 301 с.

REFERENCES:

1. Abramov A.A., Afanasov M.I., Soldatov E.A. Introduction to radioactivity. M.: MSU, 2006; 39.
2. Mastropas Z.P., Sindeev Yu.G. Physics: methodology and teaching practice. Rostov n/d: Phoenix 2002; 53–54.
3. Savelyev I.V. Physics course: a textbook. V. 3. Quantum optics. Solid state physics. Solid state physics. Physics of the atomic nucleus and elementary particles. St. Petersburg: Lan, 2007; 220–221.
4. Haaz A. Introduction to theoretical physics. V. 2. Atomic theory. Statistical physics. Theory of relativity / trans. from German. M.: Lenand, 2015; 343 p.
5. Deltsov V.P., Deltsov V.V. Physics: Get to the core! Handbook for in-depth study of physics in high school: Atomic and nuclear Physics. M.: Lenand, 2017; 132–133.
6. Atomic and nuclear Physics: general physical workshop / Azheganov A.S. [et al.]. M.: Perm State National Research University. Perm, 2020; 93 p.
7. Kudryavtsev P.S. Discovery of radioactive transformations. The idea of atomic energy. M.: Education, 1982; 388 p.
8. Brown A.G. Levitina I.G. Atomic and nuclear Physics. Elements quantum mechanics. Workshop: a textbook. M.: Infa-M, 2019; 301 p.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest

Информация об авторах

Дареджан Бикентьевна Суюхова, старший преподаватель кафедры математики, физики и системного анализа,

*ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет», г. Майкоп, Российская Федерация
e-mail: laliruslan@yandex.ru
тел.: +7(928)4684140*

*Татьяна Ивановна Демина, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующая кафедрой математики, физики и системного анализа, ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет», г. Майкоп, Российская Федерация
e-mail: de_ta@rambler.ru
тел.: +7(918)4231845*

Information about the authors

Daredzhan B. Siyukhova, Senior lecturer, Department of Mathematics, Physics and System Analysis,

*FSBEI HE «Maikop State Technological University», Maikop, the Russian Federation
e-mail: laliruslan@yandex.ru
tel.: +7(928)4684140*

*Tatyana I. Demina, PhD (Physics and Mathematics), Head of the Department of Mathematics, Physics and System Analysis, Associate Professor, FSBEI HE «Maikop State Technological University», Maikop, Russian Federation
e-mail: de_ta@rambler.ru
tel.: +7(918)4231845*

Поступила в редакцию 15.10.2023

Поступила после доработки 25.10.2023

Принята к публикации 25.10.2023

Received 15.10.2023

Revised 25.10.2023

Accepted 25.10.2023