

Андрей Леонидович ЛИТНЕВСКИЙ¹

УДК 539.173(04)

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕЛЯЩИХСЯ ЯДЕР НА ПАРАМЕТРЫ СГЛАЖЕННОЙ ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ ДЕЛЕНИЯ ОТ ВРЕМЕНИ*

¹ кандидат физико-математических наук,
Омский государственный технический университет
a_lit@list.ru

Аннотация

В работе проводится обсуждение влияния основных параметров моделирования процесса деления ядер на вид сглаженной зависимости их скорости деления от времени. В качестве основных параметров ядра в данном исследовании мы рассматриваем энергию возбуждения и коэффициент затухания, которые при моделировании изменялись в широких пределах. Моделирование было выполнено на примере деления ядер Тория-220 с использованием двух потенциалов, различающихся в области сплюснутых форм ядра. Получены зависимости среднего времени достижения скоростью деления половины квазистационарного значения, в также диффузности сглаживающей функции от коэффициента затухания при разных энергиях возбуждения. Установлено, что данные зависимости можно приближенно считать линейными. Рассчитаны средние значения тангенсов углов наклона зависимостей, что позволило обнаружить наличие существенной корреляции рассматриваемых параметров сглаживающей функции. На основании этого сделан вывод о возможности связать их аналитически, не выходя при этом за рамки допустимых погрешностей. В дальнейшем будет предпринята попытка заменить обсуждаемые два параметра на один обобщенный, что должно позволить

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-32-00379 «мол_a».

Цитирование: Литневский А. Л. Влияние характеристик делящихся ядер на параметры сглаженной зависимости скорости деления от времени / А. Л. Литневский // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2018. Том 4. № 1. С. 122-131.
DOI: 10.21684/2411-7978-2018-4-1-122-131

легко прогнозировать вид сглаживающей функции в зависимости от параметров моделирования. Результаты предполагается использовать для усовершенствования статистических моделей деления ядер с целью повышения реалистичности расчетов и точности получаемых результатов.

Ключевые слова

Деление ядер, скорость деления, статистическое моделирование, аппроксимация, релаксационная стадия, коллективный потенциал, коэффициент затухания, энергия возбуждения.

DOI: 10.21684/2411-7978-2018-4-1-122-131

Введение

Проведение современных экспериментов в ядерной физике в целом и в области физики деления, в частности, трудно представить без предварительных теоретических исследований. В основе последних, как правило, лежит моделирование. Модели деления можно разделить на три категории: статистические [1, 2], динамические [3-5] и комбинированные [6-8]. Их основные достоинства, недостатки и особенности рассмотрены, например, в [9]. В частности, в этой работе мы говорили о том, что одним из недостатков статистических моделей является фиксированное значение скорости деления ядра на протяжении моделирования процесса его распада. При динамическом моделировании скорость деления релаксирует от нуля до своего квазистационарного значения по мере протекания процесса деления (этот подход согласуется с реальной картиной), а при статистическом — этой величине присваивается расчетное значение либо с начала моделирования, либо с некоторой задержкой, что позволяет в некотором приближении скомпенсировать указанный недостаток. В данной работе речь пойдет о более точном способе учета релаксационной стадии процесса деления при проведении статистического моделирования распада ядер.

Результаты расчетов и их обсуждение

В работе [9] предложен метод аппроксимации зависимости скорости деления ядер от времени гладкой функцией вида

$$R(t) = R_{dqs} \left(1 - \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{t-t_{1/2}}{d_0(1-\exp(-\frac{t}{t_d}))}\right)} \right), \quad (1)$$

где $t_{1/2}$, d_0 и t_d — параметры аппроксимирующей функции, отвечающие, соответственно, за ее стационарное значение, время возрастания до половины стационарного значения, среднюю диффузность и асимметричность релаксационной стадии процесса деления. Использование такого подхода в статистических моделях может позволить заметно улучшить точность моделирования. В настоящей работе мы исследуем изменение значений параметров аппроксимиру-

ющей функции в зависимости от характеристик делящегося ядра. Для проведения исследований мы используем модель деления, основанную на решении одномерных стохастических уравнений Ланжевена без учета эмиссии частиц.

Для того чтобы результаты моделирования было проще интерпретировать, мы пока ограничимся случаем, когда диффузность аппроксимирующей функции не зависит от времени, т. е. параметр асимметричности положим равным нулю. Такой случай также рассматривался в работе [9], где было показано, что при наличии только двух параметров аппроксимирующей функции также можно получить неплохое согласие аппроксимирующей кривой с зависимостью скорости деления ядер от времени.

Итак, было проведено моделирование процесса деления на примере распада ядер Тория-220 с начальной энергией возбуждения E_{tot} , равной 50, 100, 150, 200 и 250 МэВ. Коэффициент затухания β принимал значения от 1 до 10 $зс^{-1}$. При моделировании использовались H- и W-потенциалы из работы [10]. Как зависит квазистационарное значение скорости деления от указанных параметров моделирования, ранее уже обсуждалось неоднократно, поэтому данные зависимости мы здесь не приводим. Рассмотрим теперь результаты моделирования — зависимости параметров $t_{1/2}$ и d_0 от β , полученные при разных энергиях возбуждения для каждого из выбранных потенциалов (рис. 1-2).

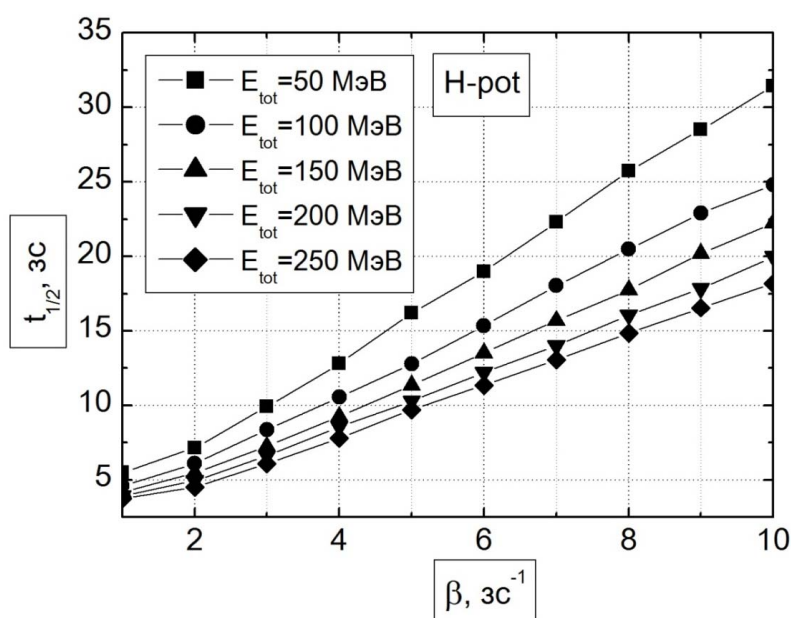


Рис. 1. Зависимости времени достижения скоростью деления ядер половины квазистационарного значения от коэффициента затухания, полученные при использовании H-потенциала

Fig. 1. The dependences of the average time of fission rate achieving half of its quasistationary value on damping coefficient obtained using H-potential

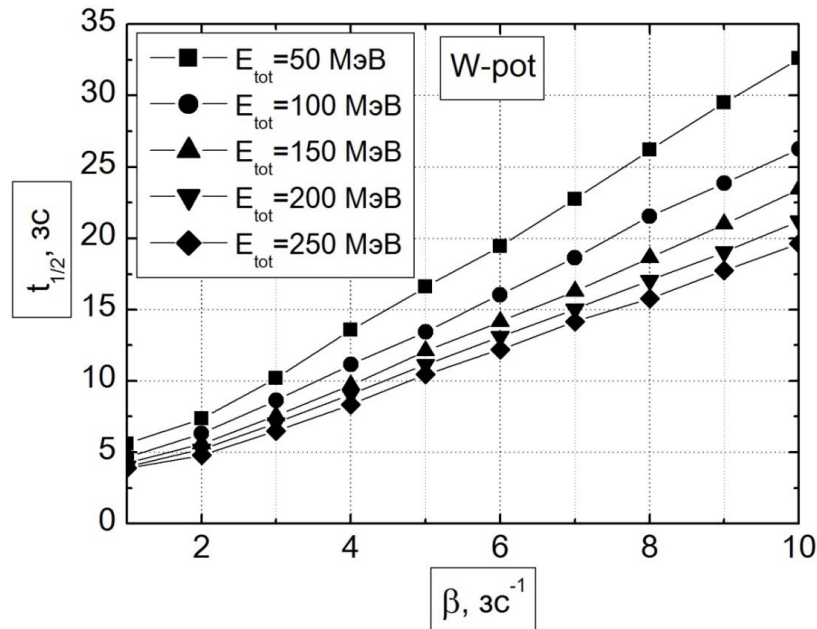


Рис. 2. Зависимости времени достижения скоростью деления ядер половины квазистационарного значения от коэффициента затухания, полученные при использовании W-потенциала

Fig. 2. The dependences of the average time of fission rate achieving half of its quasistationary value on damping coefficient obtained using W-potential

Итак, на рис. 1 и 2 представлены зависимости времени достижения скоростью деления половины квазистационарного значения от коэффициента затухания, полученные при использовании H-потенциала и W-потенциала соответственно. На каждом из графиков приведены пять зависимостей, полученные при начальной энергии возбуждения 50, 100, 150, 200 и 250 МэВ. Из представленных рисунков следует, что параметр $t_{1/2}'$ практически линейно возрастает по мере увеличения β , причем угол наклона зависимости несколько увеличивается с ростом энергии возбуждения. Следует также отметить, что значение данного параметра существенно зависит от коэффициента затухания: при его изменении в обозначенных пределах $t_{1/2}'$ изменяется в пять и более раз. Средние тангенсы углов наклона зависимостей для обоих используемых потенциалов и всех энергий возбуждения представлены в таблице 1.

Из приведенных в таблице 1 значений следует, что тангенс угла наклона зависимостей несколько снижается по мере повышения энергии возбуждения, причем снижение это линейное при энергии выше 100 МэВ. При низких энергиях данный параметр уменьшается быстрее и нелинейно.

Обсудим теперь диффузность аппроксимирующей функции.

На рис. 3 и 4 показаны зависимости диффузности d_0 от коэффициента затухания β , полученные при разных энергиях возбуждения и использовании Н-потенциала и W-потенциала. Видно, что эти зависимости также, как и в случае с первым параметром, можно приближенно считать линейными. Средний угол наклона этих зависимостей также слегка возрастает по мере увеличения энергии возбуждения ядер. Данный параметр существенно возрастает при увеличении коэффициента затухания. Поскольку d_0 характеризует продолжительность релаксационной стадии процесса деления, то можно говорить о том, что эта величина растет линейно с увеличением β .

Таблица 1

Средние тангенсы углов наклона зависимостей, показанных на рис. 1 и 2

E_{tot} , МэВ	Н-потенциал	W-потенциал
50	2,7	2,806
100	2,078	2,217
150	1,867	1,983
200	1,672	1,782
250	1,522	1,651

Table 1

Average values of angles tangent of the dependence (figs. 1 and 2)

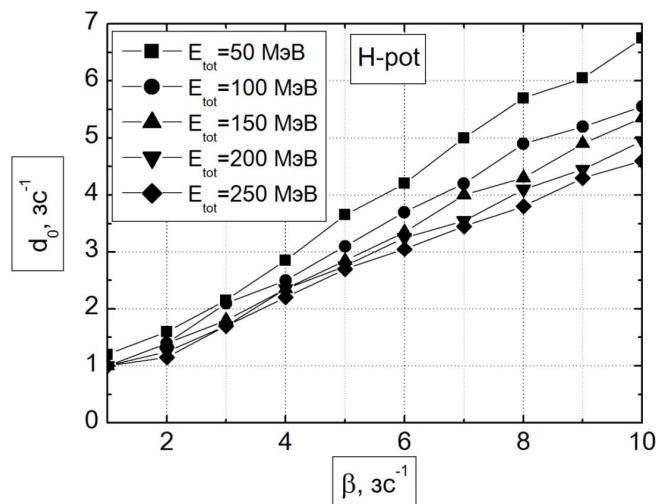


Рис. 3. Зависимости коэффициента диффузности от скорости деления от времени от коэффициента затухания, полученные при использовании Н-потенциала

Fig. 3. The dependences of the diffuseness on damping coefficient obtained using H-potential

В таблице 2 приводятся средние тангенсы углов наклона зависимостей диффузности скорости деления от коэффициента затухания в зависимости от энергии возбуждения.

Приведенные на рисунках и в таблицах зависимости позволяют на основании данных об энергии возбуждения ядра и значения коэффициента затухания, прогнозировать вид релаксационной части зависимости скорости деления ядер от времени.

При анализе результатов моделирования было установлено, что исследуемые параметры аппроксимирующей функции достаточно хорошо коррелируют друг с другом. Для иллюстрации этого утверждения рассмотрим еще две зависимости.

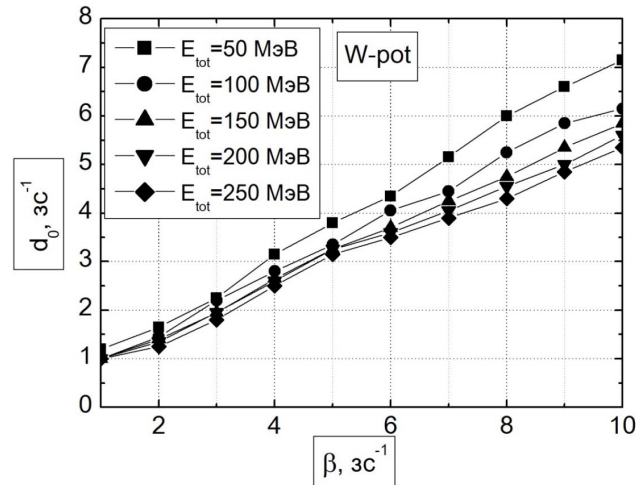


Рис. 4. Зависимости коэффициента диффузности сглаженной зависимости скорости деления от времени от коэффициента затухания, полученные при использовании W-потенциала

Fig. 4. The dependences of the diffuseness on damping coefficient obtained using W-potential

Таблица 2

Средние тангенсы углов наклона зависимостей, показанных на рис. 3 и 4

E_{tot} , МэВ	Н-потенциал	W-потенциал
50	0,572	0,611
100	0,461	0,522
150	0,439	0,494
200	0,411	0,472
250	0,383	0,455

Table 1

Average values of angles tangent of the dependence (figs. 3 and 4)

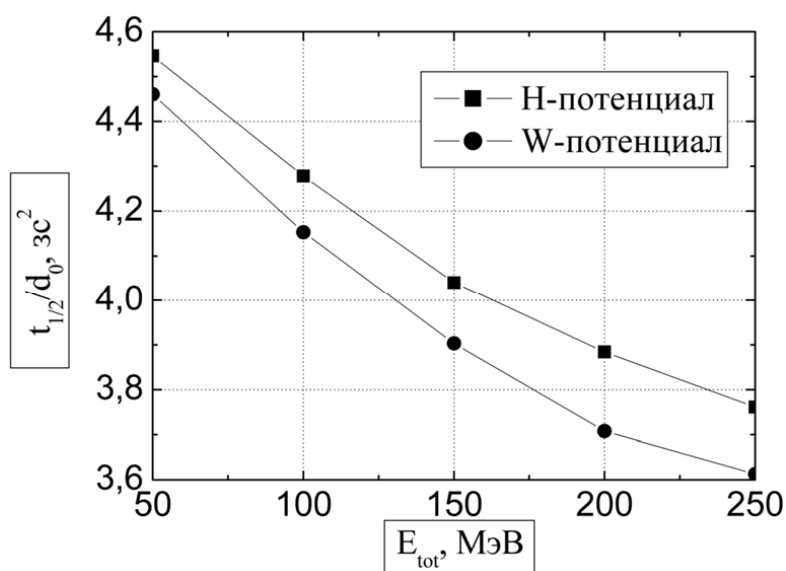


Рис. 5. Отношение параметров аппроксимирующей функции, усредненное по всем значениям коэффициента затухания, в зависимости от энергии возбуждения

Fig. 5. The ratio of the approximating function parameters, averaged over all values of the damping coefficient, depending on the excitation energy

На рис. 5 показаны зависимости отношения параметров аппроксимирующей функции, усредненного по всем значениям коэффициента затухания, от энергии возбуждения. При анализе корреляции параметров было установлено, что явной зависимости их отношения от β нет, но, усреднив эти отношения, мы получили их зависимости от энергии возбуждения. Здесь стоит отметить, что это отношение во всем диапазоне моделирования по энергиям и коэффициентам затухания изменяется не более чем на 20%, при этом влияние вида потенциала можно вообще считать незначительным, хотя оно присутствует: изменение его формы в области сплюснутых форм ядра на несколько процентов снижает отношение параметров во всем диапазоне энергий возбуждения.

Заклучение

Результаты, полученные при выполнении настоящей работы, свидетельствуют о том, что существует возможность получения формулы, описывающей взаимосвязь параметров аппроксимирующей функции с параметрами моделирования. По всей видимости, эта зависимость не будет слишком сложной, что позволит успешно применять ее при статистическом моделировании процесса деления возбужденных атомных ядер. Получение аналитического выражения этой зависимости и тестирование его на статистическом моделировании будет служить предметом дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адеев Г. Д. Диффузионная модель формирования распределений осколков деления / Г. Д. Адеев, И. И. Гончар, В. В. Пашкевич, Н. И. Писчасов, О. И. Сердюк // ЭЧАЯ. 1988. Т. 19. С. 1229.
2. Адеев Г. Д. Многомерный стохастический подход к динамике деления возбужденных ядер / Г. Д. Адеев, А. В. Карпов, П. Н. Надточий, Д. В. Ванин // ЭЧАЯ. 2005. Т. 36. С. 731.
3. Литневский А. Л. Аппроксимация зависимости скорости деления возбужденных ядер от времени гладкой функцией / А. Л. Литневский // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2016. Т. 2. № 2. С. 96-104. DOI: 10.21684/2411-7978-2016-2-2-96-104
4. Литневский А. Л. Анализ влияния формы коллективного потенциала в области сплюснутых форм ядра на квазистационарную скорость деления. Поправка к классическим формулам Крамерса / А. Л. Литневский, И. И. Гончар // Вестник ТГУ. 2015. № 1 (36). С. 17.
5. Blann M. Computer Codes ALERT I and ALERT II / M. Blann, T. T. Komoto // LLNL. 1984. CA 94550.
6. Bohr N. The Mechanism of Nuclear Fission / N. Bohr, J. A. Wheeler // Phys. Rev. 1939. Vol. 56. Pp. 426.
7. Chaudhuri G. Precission Neutron Multiplicity and Fission Probability from Langevin Dynamics of Nuclear Fission / G. Chaudhuri, S. Pal // Phys. Rev. C. 2002. Vol. 65. Pp. 054612.
8. Gontchar I. A C-Code for Combining a Langevin Fission Dynamics of Hot Nuclei with a Statistical Model Including Evaporation of Light Particles and Giant Dipole γ -quanta / I. Gontchar, L. A. Litnevsky, P. Fröbrich // Comp. Phys. Com. 1997. Vol. 107. Pp. 223.
9. Hasse R. W. Dynamical Model of Asymmetric Fission / R. W. Hasse // Nucl. Phys. A. 1969. Vol. 128. Pp. 609.
10. Tillack G.-R. Two-Dimensional Langevin Approach to Nuclear Fission Dynamics // Physics Letters B. 1992. Vol. 278. P. 403.

Andrey L. LITNEVSKY¹

**THE INFLUENCE OF THE FISSIONING
NUCLEI CHARACTERISTICS ON THE PARAMETERS
OF SMOOTHED DEPENDENCE OF FISSION RATE ON TIME***

¹ Cand. Sci. (Phys.-Math.), Omsk State Technical University
a_lit@list.ru

Abstract

This paper discusses the influence of the basic parameters of the nuclear fission process modeling on the smoothed dependence of fission rate on time. As the main fissioning nuclei parameters in this study, the author considers the excitation energy and the damping coefficient, which varied widely in the simulation. The simulation was performed on the example of nuclear fission of Thorium-220 using two collective potentials that differ in the region of oblate forms of fissioning nuclei. The dependences of the average time of achievement by fission rate a half of its quasistationary value, as well as diffuseness of the smoothing function on friction coefficient for different excitation energies were calculated. It was found that these dependences can be approximately considerate as linear. The average values of angles tangent of the dependence also were calculated. It allowed to detect the presence of a significant correlation of the smoothing function parameters under consideration. Based on this conclusion, it is possible to link them analytically, without going beyond the permissible errors. In the future, an attempt will be made to replace the two discussed parameters with one generalized parameter that should make it easily to predict the type of smoothing function depending on the modeling parameters. The results are intended to be used to improve statistical models of nuclear fission in order to improve the realism of calculations and the accuracy of the results.

Keywords

Nuclear fission, fission rate, statistical modeling, approximation, relaxation stage, collective potential, damping coefficient, excitation energy.

* The research was supported by tht Russian Foundation for Basic Research
(project no 16-32-00379 mol_a).

Citation: Litnevsky A. L. 2018. "The Influence of the Fissioning Nuclei Characteristics on the Parameters of Smoothed Dependence of Fission Rate on Time". Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy, vol. 4, no 1, pp. 122-131. DOI: 10.21684/2411-7978-2018-4-1-122-131

DOI: 10.21684/2411-7978-2018-4-1-122-131

REFERENCES

1. Adeev G. D., Gontchar, I. I., Pashkevich V. V., Pischasov N., Serdyuk O. I. 1988. "Diffuzionnaya model' formirovaniya raspredeleniy oskolkov deleniya" [Diffusion Model of Generation of Fission Fragments Distributions]. *Fizika elementarnykh chastits i atomnogo yadra*, vol. 19, p. 1229.
2. Adeev G. D., Karpov A. V., Nadtochiy P. N., Vanin D. V. 2005. "Mnogomernyy stokhasticheskiy podkhod k dinamike deleniya vzbuzhdennykh yader" [Multidimensional Stochastic Approach to the Dynamics of Excited Nuclei Fission]. *Fizika elementarnykh chastits i atomnogo yadra*, vol. 36, p. 731.
3. Litnevsky A. L. 2016. "Approksimatsiya zavisimosti skorosti deleniya vzbuzhdennykh yader ot vremeni gladkoy funktsiy" [The Approximation of the Time Dependence of Excited Nuclei Fission Rate on the Smooth Function]. *Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy*, vol. 2, no 2, pp. 96-104. DOI: 10.21684/2411-7978-2016-2-2-96-104
4. Litnevsky A. L., Gontchar I. I. 2015. "Analiz vliyaniya formy kollektivnogo potentsiala v oblasti splyusnutykh form yadra na kvazistatsionarnuyu skorost' deleniya. Popravka k klassicheskim formulam Kramersa" [The Analysis of the Impact of the Collective Potential Shape in the Oblate Nuclear Configurations Region on the Quasistationary Fission Rate. The Correction Factor to the Classical Kramers's Formulas]. *Vestnik ToGU*, no 1 (36), p. 17.
5. Blann M., Komoto T. T. 1984. "Computer Codes ALERT I and ALERT II". LLNL. CA 94550.
6. Bohr N., Wheeler J. A. 1939. "The Mechanism of Nuclear Fission". *Physical Review*, vol. 56, p. 426.
7. Chaudhuri G., Pal S. 2002. "Prescission Neutron Multiplicity and Fission Probability from Langevin Dynamics of Nuclear Fission". *Physical Review C*, vol. 65, no 5, 054612.
8. Gontchar I., Litnevsky L.A., Fröbrich P. 1997. "A C-Code for Combining a Langevin Fission Dynamics of Hot Nuclei with a Statistical Model Including Evaporation of Light Particles and Giant Dipole γ -Quanta". *Computer Physics Communications*, vol. 107, p. 223.
9. Hasse R. W. 1969. "Dynamical Model of Asymmetric Fission". *Nuclear Physics A*, vol. 128, p. 609.
10. Tillack G.-R. 1992. "Two-Dimensional Langevin Approach to Nuclear Fission Dynamics". *Physics Letters B*, vol. 278, p. 403.