

Секция 6

***ТЕХНИКА И МЕТОДЫ
ЯДЕРНЫХ И РАДИАЦИОННЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ***

Секция 6. ТЕХНИКА И МЕТОДЫ ЯДЕРНЫХ И РАДИАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ПРОРАСТАНИЯ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ

**В. М. Авдюхина, У. А. Близинок,
П. Ю. Борщеговская, С. Н. Еланский,
А. С. Илюшин, И. С. Левин,
Ф. Р. Студеникин, А. П. Черняев**

Физический факультет МГУ
им. М. В. Ломоносова
119991, Москва, ГСП-1,
Ленинские горы, МГУ, д. 1, стр. 2
8(495)9394946, uabliznyuk@gmail.com

Одной из перспективных технологий обработки клубней картофеля с целью подавления их прорастания является воздействие ионизирующим излучением. В основном, для этого используют радиоактивные источники (^{60}Co или ^{137}Cs) [1], а также пучки ускоренных электронов [2]. Работами разных авторов показано, что для ингибирования прорастания пригодны дозы от 20 до 150 Грей, причем доза зависит от сорта, температуры хранения, времени обработки клубней: при закладке на хранение или в начале прорастания клубней [3]. Целью данной работы является экспериментальная проверка эффективности использования рентгеновского излучения для обработки картофеля, а также поиск минимальной дозы, необходимой для подавления прорастания клубней. В качестве объектов были выбраны клубни картофеля восьми сортов: «Невский», «Удача», «Лорх», «Ред Скарлетт», «Жуковский», «Алена», «Лидер», «Взрыв» выращенных на базе Всероссийского научно-исследовательского института картофельного хозяйства им. А.Г. Лорха. Клубни картофеля облучали рентгеновским излучением от рентгеновской трубки типа БСВ-23, материал анода – молибден. Ток трубки во всех экспериментах составлял 20 мА, напряжение – 50 кВ. Экспери-

менты и дальнейшее хранение происходили при температуре 16–18 °С. Время облучения варьировалось от 2 до 60 минут. Далее измерялась длина проростков в течение 60 суток после проведения облучения. По полученным экспериментальным значениям строились зависимости средней длины проростков от времени после проведения облучения для каждого сорта. Для оценки поглощенной дозы в картофеле проводилось моделирование с использованием программного кода GEANT4. В результате моделирования было получено, что мощность поглощенной дозы в картофеле массой 100 г составляла примерно 0,01 Гр/с. Экспериментально получено, что с увеличением времени облучения, и поглощенной дозы соответственно, средняя длина проростков клубней, подвергавшихся воздействию рентгеновского излучения, уменьшалась по сравнению с контрольными необлученными образцами. Например, для сорта «Невский» ингибирование прорастания произошло при дозах более 15 Гр, для сорта «Любава» – при дозах более 21 Гр. Для всех исследуемых сортов картофеля подавление прорастания происходило в диапазоне доз от 15 до 21 Гр. Таким образом, обработка клубней картофеля рентгеновским излучением является эффективным методом подавления их прорастания.

Список литературы

1. Burton W. G., Hannan R. S. Use of γ -radiation for preventing the sprouting of potatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1957. V. 8. I. 12. p. 707–715.
2. Алимов А. С. Практическое применение электронных ускорителей. Препринт НИИЯФ МГУ, 2011. № 13/877.
3. Rezaee M., Almassi M., Farahani A., Minaei S., Khodadadi M. Potato Sprout I nhi bi ti on and Tuber Quality after Post Harvest Treatment with Gamma Irradiation on Different Dates // *J. Agr. Sci. Tech.* 2011.V. 13. P. 829–842.

USE OF X-RAYS FOR INHIBITION OF POTATO SPROUTING

V. M. Avduhina, U. A. Bliznyuk,
P. Ju. Borchegovskaya, S. N. Elansky,
A.S. Ilushin, I. S. Levin, F. R. Studenikin,
A. P. Chernyaev

Physical Department of the MSU
named by M.V. Lomonosov
119991, Moscow, GSP-1, Leninsky Gory, MSU, 1-2
8(495)9394946, uabliznyuk@gmail.com

One of the most perspective technologies of treatment on potato tubers to inhibit sprouting is irradiation using gamma-radiation [1] and electron beams [2]. It was shown that irradiation in doses from 20 Gy to 150 Gy stops tuber sprouting, the required dose depends on the type of potato, temperature of storage, time of treatment (before storage or during preplant preparation) [3]. The main goal of this study is to test the efficiency of X-rays for inhibition of tuber sprouting and to determine the optimal dose of irradiation for the partial or complete inhibition of tuber sprouting in different types of potato. Eight types of potato ("Nevsky", "Udacha", "Lorh", "Red Scarlett", "Jukovsky", "Aliona", "Lider", "Bzriv") were used in experiments. X-ray irradiation of the tubers was carried out using X-ray tube BSV-23 with molybdenum anode, power source PUR5/50, tube current 20 mA, voltage 50 kV, operating power 1 kW. The time of exposure varied from 2 to 60 minutes. The survey and subsequent storage occurred at 16–18 °C. After the irradiation the kinetics of irradiated samples germination was compared with the kinetics of nonirradiated tubers. The code GEANT4 was used to estimate the absorbed dose in potato tubers after irradiation during different periods. The study determined the optimal dose of X-rays for partial or complete inhibition of tuber sprouting in different types of potato. It was shown that X-rays in doses from 15 Gy to 21 Gy stops sprouting for different types of potato.

References

1. W. G. Burton, R. S. Hannan. «Use of γ -radiation for preventing the sprouting of potatoes». Journal of the Science of Food and Agriculture V. 8. I. 12. p. 707–715.1957.

2. Alimov A. S. «Application of electron accelerators» Preprint SINP MSU № 2011 13/877.

3. Rezaee M., Almassi M., Farahani A., Minaei S., Khodadadi M. Potato Sprout Inhibition and Tuber Quality after Post Harvest Treatment with Gamma Irradiation on Different Dates // J. Agr. Sci. Tech. 2011. V. 13. P. 829–842.



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫХОДОВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕДИЦИНСКИХ РАДИОНУКЛИДОВ ^{67}Cu , $^{69\text{m}}\text{Zn}$ И ^{161}Ho В РЕАЦИЯХ (γ , p) ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТОРМОЗНЫХ ФОТОНОВ С $E_{\text{M}} = 55.6$ МЭВ

Р. А. Алиев², С. С. Бельшев², Л. З. Джилавян³,
Б. С. Ишханов^{1,2}, А. А. Кузнецов¹,
К. А. Стопани¹, В. В. Ханкин¹

¹Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета
им. М. В. Ломоносова,

119234, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

²Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова,

119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

³Институт ядерных исследований РАН,
117312, Москва, В-312, пр. 60-летия Октября, 7а
т.:(495)9392558, ф.:(495)9395631.

e-mail: belyshev@depni.sinp.msu.ru

В работе представлено текущее состояние экспериментальных исследований по наработке медицинских радиоизотопов на тормозном пучке разрезного микротрона РТМ-55 НИИЯФ МГУ при энергии электронов 55,6 МэВ. Исследуется возможность получения медицинских радиоизотопов необходимых для позитронно-эмиссионной томографии и радиотерапии в результате фото-ядерных реакций (γ, p) и (γ, pn). Измерение выходов радиоизотопов основано на методике гамма-активационного анализа [1]. Описан способ наработки радиотерапевтического радионуклида ^{67}Cu в результате фотопротонной реакции на ес-

тественной смеси изотопов цинка. Для выделения ^{67}Cu из облученной цинковой мишени использовалась экстракционно-хроматографическая методика. В работе также обсуждается возможность получения $^{69\text{m}}\text{Zn}$ и ^{161}Ho и приведены экспериментальные выходы фотоядерных реакций $^{71}\text{Ga}(\gamma, pn)^{69\text{m}}\text{Zn}$ и $^{162}\text{Er}(\gamma, p)^{161}\text{Ho}$. Для анализа полученных выходов использовались расчеты, основанные на статистической модели ядерных реакций.

Список литературы

1. Belyshev S. S. et al., Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. Sect. 2014. A 745, 133–137.



PRODUCTION OF MEDICAL RADIOISOTOPES WITH 55 MEV ELECTRON ACCELERATOR

R. A. Aliev², S. S. Belyshev², L. Z. Dzhilavyan³,
B. S. Ishkhanov^{1,2}, V. V. Khankin¹,
A. A. Kuznetsov¹, K. A. Stopani¹

¹Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics,
Lomonosov Moscow State University, 1(2),
Leninskie gory, GSP-1, Moscow 119991,
Russian Federation

²Lomonosov Moscow State University,
Leninskie Gory, 1, 119991 Moscow, Russia

³Institute for Nuclear Research of the Russian
Academy of Sciences.

60th October Anniversary Prospect, 7a,
117312 Moscow, Russia
phone: (495) 939-25-58, fax (495) 939-56-31,
e-mail: belyshev@depni.sinp.msu.ru

Current status of experimental studies of medical radioisotope production using the bremsstrahlung beam of the RTM-55 racetrack microtron at SINP MSU at the electron energy of 55.6 MeV is presented. Feasibility of using (γ, p) and (γ, pn) reaction to produce radioisotopes for positron-emission tomography and radiotherapy is studied. The radioisotope yields are measured using the photon activation technique [1]. A method of

production of a radiotherapy nuclide ^{67}Cu using the photoproton reaction on natural zinc is described. Extraction chromatography technique was used to extract ^{67}Cu from the irradiated zinc target. Production of $^{69\text{m}}\text{Zn}$ and ^{161}Ho is discussed, and experimental yields of the $^{71}\text{Ga}(\gamma, pn)^{69\text{m}}\text{Zn}$ and $^{162}\text{Er}(\gamma, p)^{161}\text{Ho}$ reactions are obtained. Statistical model calculations were used to analyze the measured yields.

References

1. Belyshev S. S. et al., Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. Sect. 2014. A 745, 133–137.



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗЫ ПРИ ФОТОННОМ ОБЛУЧЕНИИ

А. В. Белоусов¹, Г. А. Крусанов^{1,2},
А. П. Черняев^{1,2}

¹Физический факультет Московского
Государственного Университета
им. М. В. Ломоносова,

²Научно-исследовательский институт ядерной
физики им. Д.В.Скобельцына МГУ, 119991,
ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1,
строение 2, +7-495-9394946,
krusanov@physics.msu.ru

В работе методом компьютерного моделирования оценено глубинное распределение эквивалентной дозы монохроматического фотонного излучения в водном фантоме. Эквивалентная доза H оценивается с учетом вклада всех вторичных частиц в поглощенную дозу D . Оценки выполнены согласно $H = k * D$, где k – табулированное значение радиационного взвешивающего фактора или коэффициента качества, который вычислен по полученным в моделировании значениям линейной передачи энергии. В качестве результата приводится глубинное распределение эквивалентной дозы и средних значений коэффициента k , рассчитанного двумя способами. Показано, что статистически значимые расхождения наблюдаются на глубинах более 5 см.

EQUIVALENT DOSE DISTRIBUTION AT PHOTON BEAM IRRADIATION

A. V. Belousov¹, G. A. Krusanov^{1,2},
A. P. Chernyaev^{1,2}

¹Faculty of Physics M. V. Lomonosov MSU,
²SINP MSU, 119991 Leninskie Gory,
Moscow Russia, +7-495-9394946,
krusanov@physics.msu.ru

Computer simulation is used to estimate the depth distribution of the equivalent dose of monochromatic photon radiation in the water phantom. Equivalent dose H is evaluated taking into account the contribution of secondary particles to the absorbed dose D . Evaluation is made by $H = k * D$, where k is the tabulated value of radiation weighting factor, or quality factor, which is calculated according to the linear energy transfer values obtained in the simulation. The result is the equivalent dose depth distribution and average values of the coefficient k , calculated in two ways. It is shown that statistically significant differences are observed at depths greater than 5 cm.



ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ БЕРИЛЛИЕВЫХ ОБРАЗЦОВ НА УСТАНОВКЕ «МИКРОЗОНД-ЭГП-10»

М. Э. Бузоверя, И. А. Карпов, А. А. Городнов,
И. В. Шишпор, В. И. Кирейчева

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»
Институт ядерной и радиационной физики
(ИЯРФ)



Известно, что микроструктура оказывает существенное влияние на свойства делящихся и конструкционных материалов. В условиях внедрения замещающих технологий требуется разработка новых аналитических методов, позволяющих проводить диагностику структуры современных конструкционных материалов. Разнообразие материалов, применяемых в новых различных технологиях и/или являющихся ре-

зультатом этих технологий, ставит задачу по созданию универсальных методов исследования, обладающих широким практическим применением, высокой разрешающей способностью и позволяющих при этом достоверно определять локальные свойства исследуемых объектов.

Ядерная сканирующая зондовая микроскопия относится к современным методам исследования материалов, дающим возможность проведения локального элементного анализа и картирования поверхности объектов.

В настоящее время на комплексе «Микрозонд ЭГП-10» реализован метод ядерного сканирующего микрозондирования, который может использоваться для решения различных задач в материаловедении: анализ структур, элементного состава, распределение элементов по поверхности и глубине образца, наличие дефектов структуры.

В процессе работы проведен микроструктурный элементный анализ на установке Микрозонд ЭГП-10 методами PIXE и RBS образцов бериллия, полученных по разным технологиям. В результате определен общий химический состав и природа включений. Метод картирования позволил выявить структурные особенности образцов: выделить зерна основного вещества разного размера и химического состава, визуализировать границы раздела областей разного состава, описать характер распределения примесей в образцах.

**ИССЛЕДОВАНИЕ
РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ
СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА
 γ -ПОГЛОЩЕНИЯ В ШИРОКОМ
ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ γ -КВАНТОВ**

**Ю. М. Бурмистров, С. В. Зуев,
Е. С. Конобеевский, М. Н. Лифанов,
М. В. Мордовской, В. Г. Недорезов**

Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
Институт ядерных исследований РАН
117312 Москва, пр. 60-летия Октября д.7а
Тел.: (499)135 7760. Факс: (499)135 2268.
E-mail: mvmordovsk@mail.ru

В данной работе узкий коллимированный пучок гамма-квантов применялся для исследования коэффициента ослабления в образцах материалов, используемых при изготовлении специальной радиационно-защитной одежды.

Облучение исследуемых материалов производилось на специальном стенде набором гамма-источников ОСГИ (^{137}Cs $E_\gamma = 662$ кэВ, ^{57}Co $E_\gamma = 122$ кэВ, и др.), так и активированных на нейтронном источнике ИН-ЛУЭ Института ядерных исследований [1] (^{152}Eu ($E_\gamma = 122$ и 344 кэВ), ^{186}Re ($E_\gamma = 137$ кэВ) и др.). В последнем случае анализ коэффициента ослабления проводился непосредственно на источнике ИН-ЛУЭ.

В детектирующей системе стенда использовался гамма-спектрометр на основе кристалла NaI (Tl). Использование широкого диапазона энергий облучателей позволяет с хорошей точностью определять коэффициент линейного ослабления и содержание тяжелых элементов в материале. Конструкция стенда позволяет проводить исследование однородности протяженных образцов защитного материала. Подобная система также может быть использована для исследования однородности других материалов.

Активация образцов из исследуемых материалов нейтронами в нейтронном источнике и последующий активационный анализ гамма-спектров на низкофоновом HPGe-спектрометре [2] дает дополнительную информацию о составе поглощающих материалов в образцах.

Работа была поддержана Российским научным фондом, грант 16-12-10039.

Список литературы

1. Andreev A. V., Burmistrov Yu. M., Gromov A. V., Konobeevsky E. S., Mordovskoy M. V., Soloduhov G. V., Zuev S. V. // Book of abstracts of LXV International Conference "NUCLEUS 2015" (June 29–July 3) Saint-Petersburg, Russia, 2015. P. 252.
2. Andreev A. V., Burmistrov Yu. M., Zuev S. V., Konobeevskiy E. S., Mordovskoy M. V., Firsov V. I. // Nucl. Phys. and Eng. 2013. V. 4 P. 879–882.



**STUDY OF RADIATION-PROTECTIVE
PROPERTIES OF MATERIALS
USING γ -RAY ATTENUATION METHOD
IN A WIDE RANGE OF γ -ENERGIES**

**Yu. M. Burmistrov, E. S. Konobeevsky,
M. N. Lifanov, M. V. Mordovskoy,
V. G. Nedorezov, S. V. Zuyev**

Institute for Nuclear Research of the Russian
Academy of Sciences
117312, Moscow, prospekt 60-letiya Oktyabrya, 7a
Tel.: (499)135 7760. Fax: (499)135 2268.
E-mail: mvmordovsk@mail.ru

In this paper, we use a narrow collimated beam of gamma rays to determine the linear attenuation coefficient for samples of materials used in the production of special radiation-protective clothing. The irradiation of the studied materials was performed at a special stand by a set of gamma emitters, consisting of standard gamma sources OSGI (^{137}Cs $E_\gamma = 662$ keV, ^{57}Co $E_\gamma = 122$ keV etc.) and those activated at the neutron source IN-LUE of the Institute for Nuclear Research [1] (^{152}Eu ($E_\gamma = 122$ и 344 keV), ^{186}Re ($E_\gamma = 137$ keV) etc). In the latter case the attenuation factor analysis was performed directly at the IN-LUE neutron source.

In the data acquisition system of the stand the gamma spectrometer on the base of NaI (Tl)

detector was used. Applying gamma sources in a wide range of energies allows us to measure with good accuracy the coefficient of linear attenuation, and to determine the content of heavy elements in the materials. The construction of the stand allows to perform an examination of homogeneity of extended samples of protecting material. Such a system may also be used to study the homogeneity of other materials.

Irradiation of samples by thermal neutrons at the neutron source and the following activation analysis of gamma spectra by low-background HPGe spectrometer [2] provides an additional information on the composition of absorbing materials in the samples.

This work was supported by grant 16-12-10039 of the Russian Science Foundation.

References

1. Andreev A. V., Burmistrov Yu. M., Gromov A. V., Konobeevsky E. S., Mordovskoy M. V., Soloduhov G. V., Zuev S. V. // Book of abstracts of LXV International Conference "NUCLEUS 2015" (June 29–July 3) Saint-Petersburg, Russia, 2015. P. 252.

2. Andreev A. V., Burmistrov Yu. M., Zuev S. V., Konobeevskiy E. S., Mordovskoy M. V., Firsov V. I. // Nucl. Phys. and Eng. 2013. V. 4 PP. 879–882.



ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГАММА КВАНТОВ С ЭНЕРГИЕЙ 1 МЭВ С ЖИДКОЙ СРЕДОЙ

Ф. Ф. Валиев

Санкт-Петербургский государственный
университет, Россия,
E-mail: valiev@hiex.phys.spbu.ru

Изучение особенностей излучения, формируемого при взаимодействии гамма излучения с жидкой средой, в оптическом диапазоне прове-

дено в [1]. Теоретические расчеты выполнены в частотном представлении [2]. Формулы для вычисления компонент электромагнитного поля в вакууме в пространственно-временном представлении, получены в работе [3]. В [4] расчеты поля, вызываемого свободными электронами, возникающими в газовой среде при прохождении через нее гамма квантов, выполнены с использованием полуклассического подхода.

В данной работе, техника расчета поля, создаваемого импульсным узконаправленным пучком гамма-квантов в газовой среде [5], применена для расчета полей создаваемых гамма квантами с энергией 1 МэВ, проходящими через воду. Получено пространственно-временное распределение электромагнитного поля на различных расстояниях от источника электромагнитного излучения.

Результаты расчетов, проводимые по данной методике, могут быть использованы при конструировании детекторов для экспериментов в физике высоких энергий.

Работа выполнена при поддержке гранта из средств СПбГУ 11.38.193.2014 и с использованием оборудования ресурсного центра «Вычислительный центр СПбГУ»

Список литературы

1. Черенков П. А. Видимое свечение чистых жидкостей под действием γ -радиации. // ДАН СССР, 1934. т. 2, № 8. С. 451–454.

2. Тамм И. Е. , Франк И. М. Когерентное излучение быстрого электрона в среде // ДАН СССР. 1937. Т. 14. № 3. С. 107–112.

3. Борисов. В. В. Электромагнитные поля неустановившихся токов. СПб.: С.-П. Университет, 1996. С. 208.

4. Valiev F. F. Electromagnetic fields formed upon the interaction of ionizing radiation with matter. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2011. V. 75. № 7. P. 1001–1006.

5. Valiev F. F. Electromagnetic fields formed by ionization of the gas environment by hard nuclear radiation // Proceedings of the International Conference Days on Diffraction 2013. DD 2013, P. 151–153.



ELECTROMAGNETIC FIELDS GENERATED BY INTERACTION OF GAMMA RAYS WITH ENERGY OF 1 MEV IN A LIQUID MEDIUM

F. F. Valiev

St. Petersburg State University, Russia
E-mail: valiev@hiex.phys.spbu.ru

The study of radiation characteristics formed by the interaction of gamma radiation with a liquid medium in the optical range was carried out in [1]. Theoretical calculations have been performed in [2] in the frequency domain. The formulas for calculating electromagnetic field components in a vacuum in the representation of space-time, were obtained in [3].

Field caused by free electrons produced in the gas atmosphere during the passage through it of gamma rays is calculated using the semi-classical approach [4]. The approach is to use the results of quantum electrodynamics for the source and the solution of the classical electrodynamic problem.

A method of calculating electromagnetic field variations generated by the electrons passing through the gas medium [5] is used to describe the field produced by the interaction of gamma radiation with an energy of 1 MeV with water.

We obtained the space-time distribution of the electromagnetic field at different distances from the source of electromagnetic radiation.

The results of calculations carried out by this method can be used in the construction of the detectors for experiments in high energy physics.

The work was done with support of grant funds from SPSU 11.38.193.2014 and using equipment resource center «computing center SPBU».

References

1. Cherenkov P. A. Visible glow of pure liquids under the influence of γ -rays // DAN SSSR, 1934. V. 2, p. 451–454.
2. Frank I. M. , Tamm I. E. Coherent radiation of fast electron in medium, 1937, DAN SSSR, 1937, V. 14, p. 107–112
3. Borisov V. V. The electromagnetic field of the transient currents. 1996. St-Petersbug State University Press. St-Petersbug. P. 208.
4. Valiev F. F. Electromagnetic fields formed upon the interaction of ionizing radiation with

matter. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2011. V. 75. № 7. p. 1001–1006.

5. Valiev F. F. Electromagnetic fields formed by ionization of the gas environment by hard nuclear radiation // Proceedings of the International Conference Days on Diffraction 2013. DD 2013, p. 151–153.



ФОКУСИРОВКА ПРОТОННОГО ПУЧКА С ПОМОЩЬЮ КАПИЛЛЯРОВ НА УСТАНОВКЕ «МИКРОЗОНД»

К. С. Величко, И. А. Карпов, А. Д. Тумкин.,
Д. А. Федотов

РФЯЦ-ВНИИЭФ
607188, г. Саров, Нижегородская обл.,
пр. Мира, 37. Факс: (83130) 4-55-69

PROTON BEAM FOCUSING WITH THE AID OF CAPILLARIES ON «MICROBEAM» FACILITY

K. S. Velichko, I. A. Karpov, A. D. Tumkin,
D. A. Fedotov

Russian Federal Nuclear Center – All-Russia
Research Institute of Experimental Physics
607188, Sarov, Nizhnii Novgorod region,
Mira ave, 37. Fax: (831 30) 4-55-69

Интерес к взаимодействию заряженных частиц с диэлектрическими капиллярами возник в 2002 году, когда было обнаружено, что при прохождении положительных ионов через диэлектрические капилляры значительная их часть не испытывает соударений со стенками [1]. На основе этого явления в настоящее время разрабатываются новые системы управления и транспортировки частиц, в частности, системы для фокусировки ионов в пучки микронных и субмикронных размеров, которые могут быть использованы в микроструктурном анализе материалов.

В работе представлены результаты экспериментов по исследованию фокусирующего свойства сужающегося диэлектрического капилляра диаметром выходного отверстия 0,5 мкм при прохождении через него протонов с энергией 3 МэВ.

Список литературы

1. N. Stolterfoht, J.-H. Bremer, V. Hoffmann et al. //Phys.Rev.Lett. 2002. V.88, p. 133201.



ВЫДЕЛЕНИЕ РЕДКИХ ЯДЕРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ИЗ ФОНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МЕТОДОМ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Н. В. Еремин, А. А. Пасхалов

Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, 119991 Москва, Ленинские горы, НИИЯФ МГУ

Традиционные методы регистрации ядерного излучения основаны на измерении числа импульсов N за определенный временной промежуток T . В данной работе рассмотрен способ выделения редких ядерных превращений из превышающих по интенсивности в несколько раз фоновых событий (например, при определении наличия радиоактивного источника на удаленном расстоянии от детектора), основанный на использовании данных о временах прихода импульсов с детектора и обработки их с помощью метода скользящего среднего [1,2].

Сущность метода заключается в следующем: в начале эксперимента измеряется уровень фонового излучения и рассчитывается среднее время между импульсами $\tau_{\text{фона}}$. Далее идет набор статистики в присутствии источника ядерного излучения – когда число поступивших с детектора импульсов сравнивается с заданным размером анализируемой выборки сигналов N и рассчитывается среднее время $\tau_{\text{источник+фон}}$ между импульсами для данной выборки. В предположении о пуассоновском характере распределения событий во времени оценивается величина отклонения среднего времени $\tau_{\text{источник+фон}}$ от $\tau_{\text{фона}}$ [3,4]. При поступлении следующего, $N + 1$ импульса с детектора, происходит сдвигка временных границ выборки на один шаг, и снова

проводится анализ временного ряда в «on-line»-режиме и т. д.

Приводятся результаты измерения распределений времен регистрации нейтронов из источника ^{252}Cf сборкой из пяти счётчиков коронного разряда СНМ-13 с твердым ^{10}B -радиатором для разных соотношений между интенсивностями фонового и нейтронного излучений. Активность источника ^{252}Cf составляла 10^4 нейтрон/с. Каждый из счётчиков имел габариты $\varnothing 8,5 * 85$ мм и массу – 11, 5 г. В качестве замедлителя использовался полиэтилен плотностью $0,94 \text{ г/см}^3$ фиксированной толщиной 4 см.

Список литературы

1. Chambers W. H., Atwater H. F., Fehlau P. E. et al. Portal monitor for diversion safeguards. Preprint of Los Alamos scientific laboratory of the University of California. Num. LA-5681, 1974. 1–32.

2. Fehlau P. E. Comparing a recursive digital filter with the moving-average and sequential probability-ratio detection methods for SNM portal monitors. IEEE Transactions on Nuclear Science. V.40, NO.2, 1993, 143-146.

3. Кокс Д., Льюис П. Статистический анализ последовательностей событий. М.: Мир, 1969.

4. Яноши Л. Теория и практика обработки результатов измерений. М.: Мир, 1968.



THE SEPARATION OF RARE NUCLEAR TRANSFORMATIONS FROM BACKGROUND RADIATION BY A METHOD OF TIME SERIES

N. V. Eremin, A. A. Paskhalov

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics of Lomonosov Moscow State University, 119991 Moscow, Leninskie gory, MSU SINP

Traditional registration methods of nuclear radiation are based on measuring the number of pulses N within a certain time period T . In this paper, the method of separation of rare nuclear transformation from background with excising

intensity by several times (for example, when determining of a radioactive source presence away from the detector), based on information about the arrival times of pulses from the detector and processing them by using moving average method [1,2] is presented.

The essence of the method is: in the beginning of experiment they measure the level of background radiation and calculate the average time between the pulses. Further is a set of statistics with a source of nuclear radiation. The number of received pulses from the detector are compared with a predetermined size of the analyzed sample signal N and are calculated the average time $\tau_{\text{source+background}}$ between pulses. The value of the variation of the average time $\tau_{\text{background}}$ from $\tau_{\text{source+background}}$ is estimated assuming Poisson distribution of events in time [3,4]. When the next $N + 1$ pulse from the detector is received, there is a shift of the time boundaries of the sample on one step, and the analysis of time series «on line»-mode begins again, etc.

The results of measurement of distributions of registration times of neutrons from the ^{252}Cf source by an assembly of the five corona counters CHM-13 with a solid ^{10}B -radiator for various ratios between the intensities of background and neutron radiation are presented. The activity of the source ^{252}Cf was 10^4 neutron/s. The dimensions of each counter was $\varnothing 8.5 * 85$ mm and weight was 11.5 g, as a moderator was used a polyethylene with a density of $0,94 \text{ g/cm}^3$ with thickness ~ 4 cm.

References

1. Chambers W. H., Atwater H. F., Fehlau P. E. et al. Portal monitor for diversion safeguards. Preprint of Los Alamos scientific laboratory of the University of California. Num. LA-5681, 1974, 1–32.
2. Fehlau P. E.. Comparing a recursive digital filter with the moving-average and sequential probability-ratio detection methods for SNM portal monitors. IEEE Transactions on Nuclear Science. V. 40, N. 2, 1993, 143–146.
3. Cox D., Lewis P. Statistical analysis of sequences of events. Publishing M.: Mir, 1969.
4. L. Yanoshi. Theory and practice of processing of measurement results. Publishing M.: Mir, 1968.



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЫСТРЫХ ВРЕМЕННЫХ ОСЦИЛЛОГРАФОВ В СОВПАДАТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ ДЕТЕКТОРАМИ

Н. В. Еремин, А. А. Пасхалов

Научно-исследовательский институт ядерной
физики им. Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета
им. М. В. Ломоносова,
119991 Москва, Ленинские горы, НИИЯФ МГУ

В последнее время возрос интерес к изучению редких ядерных превращений, происходящих при взаимном влиянии атомных и ядерных процессов и приводящих к изменению постоянной α -распада вследствие перестройки атомной оболочки, к интерференционным эффектам в выходах тормозных фотонов, сопровождающих α -распад, к ядерному возбуждению в электронных переходах. Вероятности протекания этих процессов находятся на уровне $\sim 10^{-3}$, $\dots 10^{-10}$ от основной моды распада, что предъявляет определенные требования к регистрирующей аппаратуре. Замена аналоговых блоков временными осциллографами в случае малого числа детектирующих каналов повышает стабильность работы в течение длительного (от несколько месяцев до года) времени, позволяет проводить детальный анализ в режиме «off-line» зарегистрированных событий и т. п.

Важным параметром в экспериментах по изучению редких ядерных превращений с использованием методики совпадений между различными продуктами реакции является отношение числа событий, соответствующих истинным совпадениям, к числу событий, соответствующих случайным совпадениям. Эта величина обратно пропорциональна как ширине ΔE суммарного энергетического разрешения детекторов, так и временному разрешению методики совпадений τ .

Представлены данные по использованию быстрых временных осциллографов в экспериментах по регистрации γ - γ совпадений от источника ^{60}Co ($E\gamma = 1173$ и 1332 кэВ). В качестве стартового сигнала использовался сигнал от быстрого пластикового сцинтилляционного детектора, в качестве стопового сигнала – сигнал от

детектора из сверхчистого Ge большого объема, CdTe-детектора и сцинтилляционного детектора на основе BGO. Как видно из представленных в таблице 1 данных, наименьшим значением параметра $\Delta E\tau$ обладает полупроводниковый детектор γ -излучения на основе сверхчистого Ge.

Таблица 1

Результаты измерения энергетического ΔE и временного τ разрешений различных детекторов в γ - γ совпадениях с источником ^{60}Co

тип детектора	размеры, мм	энергетическое разрешение ΔE , кэВ	временное разрешение, τ , нс	параметр $\Delta E\tau$, кэВ * нс
сверхчистый Ge	$\varnothing 71 \times 57$	2,2	24	53
CdTe	$\varnothing 10,8 \times 1,65$	4,2	16	67
BGO	$\varnothing 71 \times 71$	130	1,5	195



THE USING OF FAST DIGITAL OSCILLOSCOPES IN COINCIDENCE EXPERIMENTS WITH SEMICONDUCTOR DETECTORS

N. V. Eremin, A. A. Paskhalov

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics of Lomonosov Moscow State University, 119991 Moscow, Leninskie gory, MSU SINP

Recently, the interest in the study of rare nuclear reactions occurring during the mutual influence of atomic and nuclear processes and leading to change of α -decay constant due to the restructuring of the atomic shell, interference effects in the yield of the bremsstrahlung photons accompanying α -decay and nuclear excitation by electronic transitions is increased. The probabilities of these processes are at the level of $\sim 10^{-3}$ - 10^{-10} to the main decay mode that requests certain requirements for registering equipment.

Replacement analog blocks by digital oscilloscopes in the case of a small number of detection channels increases the stability during long-term (from several months to \sim one year) experiments allows for detailed analysis in the «off-line» registered events, etc.

An important parameter in these types of experiments using the method of coincidences between the various products of the nuclear reaction is the ratio of the number of true coincidences events to the number of random coincidences events. This value is inversely proportional to the width of the detectors energy resolution ΔE , and time resolution of the coincidence technique τ .

Experimental data for the registration of γ - γ coincidences from the ^{60}Co source ($E_\gamma = 1173$ and 1332 keV) by fast digital oscilloscope is presented. The signal from the fast plastic scintillation detector was used as a “start” and the signal from the detector from ultra-pure Ge large volume, CdTe-detector and scintillation detector based on BGO was used as a “stop”. It’s shown in table 1, the smallest value of the parameter $\Delta E\tau$ was for a semiconductor detector of γ -radiation based on ultra-pure Ge.

Table 1

Measurements of energy resolution ΔE and time resolution τ of the various detectors of γ - γ coincidences with the ^{60}Co source.

type of detector	size, mm	energy resolution ΔE , keV	Time resolution τ , ns	$\Delta E\tau$, keV * ns
ultra-pure Ge	$\varnothing 71 \times 57$	2,2	24	53
CdTe	$\varnothing 10,8 \times 1,65$	4,2	16	67
BGO	$\varnothing 71 \times 71$	130	1,5	195



**НАХОЖДЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ
СИГНАЛОВ С ДЕТЕКТОРОВ
ЯДЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ,
ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ БЫСТРЫМ
ЦИФРОВЫМ ОСЦИЛЛОГРАФОМ,
МЕТОДОМ ВЕЙВЛЕТ
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ**

Н. В. Еремин, А. А. Пасхалов

Научно-исследовательский институт ядерной
физики им. Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета
им. М. В. Ломоносова,
119991 Москва, Ленинские горы, НИИЯФ МГУ

На примере данных по γ - γ совпадениям от источника ^{60}Co , измеренных с помощью детекторов из пластического сцинтиллятора (стартовый сигнал) и из сверхчистого Ge большого объема (стоповый сигнал), представлены алгоритмы обработки формы импульсов с временного осциллографа TDS 7000. Сохраненные в файлы осциллограммы совпадательных событий обрабатывались в режиме off-line на персональном компьютере с помощью разработанных цифровых алгоритмов в пакетах C++ и Fortran. Для визуализации результатов обработки данных был разработан графический интерфейс, который позволял:

- строить время-пролетные спектры совпадений между детекторами;
- строить энергетические спектры для каждого детектора;
- просматривать все записанные импульсы с точками временной привязки и все отбракованные алгоритмом импульсы.

Алгоритм обработки формы импульсов состоял из трех основных частей: алгоритма временной привязки к импульсу, алгоритма определения энергии импульса и алгоритма обработки наложенных импульсов.

Одним из факторов, определяющих временную неопределенность, является зашумленность сигнала. Поэтому сначала импульсы с детекторов обрабатывались вейвлет-преобразованием Хаара на глубину до 7 уровня. Выбор вейвлет-преобразования Хаара по сравнению с преобразованием Добеши (D-4) был обусловлен тем обстоятельством, что вейвлет-преобразование D-4 приводит к появлению нефизических выбросов в конечных точках и на вершине сигнала.

Для сигнала с Ge-детектора использовался т.н. ARC-метод, который является разновидностью CF-метода с временем задержки между прямым и инвертированным сигналами, не превышающим величину

$$\tau_d = \tau_f * (1 - f) \quad (1)$$

где τ_f – длительность фронта (время нарастания) сигнала; f – порог дискриминации.

Значение порога дискриминации f устанавливалось на высоте $f = 1/3$ от амплитуды импульса.

Алгоритм определения энергии импульса был основан на нахождении площади под импульсом. Площадь под импульсом находилась в определенном временном окне относительно точки временной привязки к импульсу. Границы временных окон выбирались из условия наилучшего энергетического разрешения γ -спектрометра.



**DETERMINATION OF DETECTOR
SIGNAL PARAMETERS FROM
NUCLEAR RADIATION REGISTERED
BY A FAST DIGITAL OSCILLOSCOPE
BY THE WAVELET TRANSFORM
METHOD**

N. V. Eremin, A. A. Paskhalov

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics
of Lomonosov Moscow State University,
119991 Moscow, Leninskie gory, MSU SINP

Using the γ - γ coincidences data for ^{60}Co source, which were measured by detectors of plastic scintillator (start signal) and large volume ultra-pure Ge (stop signal) the algorithms for processing the pulse shape with fast digital oscilloscope TDS 7000 are presented. Saved waveforms of coincidences events were processed off-line on a personal computer using the developed digital algorithms in packages C++ and Fortran. For visualization of results data processing was developed a graphical interface that allowed:

- to build a time-of-flight spectra of coincidences between detectors;
- to build energy spectra for each detector;
- to browse all recorded pulses with a timing reference points and the all rejected waveforms by the algorithm.

Pulse shape algorithm consisted of three main parts: algorithm for determining timing reference points of pulse, the algorithm for determining the pulse energy and the processing algorithm of the overlapped pulses.

One of the factors that determine the time uncertainty of timing reference point is the noise signal. At first, pulses from the detectors were processed by wavelet Haar transformation to a depth of 7th level. The choice of the Haar wavelet transform in comparison with the Daubechies wavelet transform (D-4) was due to the fact that the wavelet transform D-4 leads to non-physical overswings in the endpoints and at the top of the signal.

So-called ARC-a method for a signal from Ge-detector was used. It is the variation of the CF-method with the time delay between the direct and inverted signals which is not exceeding the value

$$\tau_d = \tau_f * (1 - f)$$

where τ_f – rise time signal, f – threshold discrimination

The value of the discrimination threshold f was set at a height of $f = 1/3$ of the pulse amplitude.

The algorithm to obtain the pulse energy was based on the determination of the area under the pulse. It was calculated in a specific time window relative to the time reference point of the pulse. The time window boundaries were chosen from the condition of the best energy γ -spectrometer resolution.



ДВЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАДОНОВОГО ОНКОРИСКА, УСИЛЕННОГО ЭМАНАЦИЕЙ ВБЛИЗИ ТЕКТОНИЧЕСКОГО РАЗЛОМА

**Ю. А. Зарипова, В. В. Дьячков, А. В. Юшков,
З. М. Бияшева, О. Х. Хамдиева**

НИИ экспериментальной и теоретической физики Казахского национального университета им. аль-Фараби, Республика Казахстан, 050040, г. Алматы, аль-Фараби 71, Тел., факс: 7(727)3 773174, E-mail: ZJ_KazNU@mail.ru

TWO REGULARITIES OF RADONIC ONKORISK STRENGTHENED BY THE EMANATION NEAR THE TECTONIC BREAK

**Y. A. Zaripova, V. V. Dyachkov, A. V. Yushkov,
Z. M. Biyasheva, O. Kh. Khamdiyeva**

Scientific Research Institute of Experimental and Theoretical Physics, Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan, 050040, Almaty, al-Farabi av., 71
Phone-fax: 7(727)3 773174, E-mail: ZJ_KazNU@mail.ru

Изучение механизмов радиационного поражения людей от природных изотопов радона ^{219}Rn , ^{220}Rn , ^{222}Rn является актуальной задачей в связи с тем, что по данным МКРЗ основная доля онкологических заболеваний легких и бронхов вызывается именно радоновой эманацией и ДПР. В Казахстане рак лёгкого занимает второе место среди онкологических заболеваний. Целью настоящей работы явилось исследование влияния глобального Алматинского тектонического разлома на статистику онкозаболеваемости людей, проживающих вблизи этого разлома. Анкетированием были охвачены N_0 пациентов с диагнозом «рак легких», находящихся на лечении в Алматинском онкологическом центре и проживающих в городе Алматы. Выявлена связь этажности проживания h с риском W заболевания раком легких $W = W_0 \exp\left[-Mg \frac{h-h_0}{RT}\right]$. Под понятием риск принято соотношение $W = N/N_0$.

При исследовании распределения риска онкозаболеваемости V от расстояния до Алматинского разлома r была выявлена новая закономерность $V = V_0/r^2$. Исходя из результатов исследований, однозначно доказано, что риску онкозаболеваемости подвержены жители первых этажей и все сельские жилые одноэтажные дома. По результатам нашей работы можно дать практические рекомендации. Во-первых, необходимо резко повысит проветриваемость малоэтажных домов. Во-вторых, следует обязательно стремиться строить второй этаж, в котором располагать спальные помещения. Это связано с тем, что существует суточная вариация радона, в результате которой в ночное время эманация резко возрастает. В-третьих, необходимо убедиться, что дом построен не на тектоническом разломе.



ЯДЕРНЫЕ ЧАСЫ И ТЕХНОЛОГИИ СЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ

Ф. Ф. Карпешин¹, М. Б.Тржасковская²

¹Всероссийский научно-исследовательский
Институт метрологии им. Д. И. Менделеева

²Петербургский институт ядерной физики
им. Б. П. Константинова

E-mail: fkarpeshin@gmail.com

Большой интерес представляют нуклиды, в которых есть возбужденное состояние с чрезвычайно низкими энергиями, в масштабе е нескольких эВ или кэВ: ²⁰¹Hg, ¹⁸⁹Os, ²³⁷Np, ²³⁵U, ²²⁹Th и другие нуклиды. Такие уровни являются изомерами вследствие малости их энергий. Они эффективно смешиваются с близкими атомными уровнями, образуя резонансы в оптической области. Это дает ускорения их распада в резонансном поле лазерного излучения. В отличие от атомных спектров, ядерные линии устойчивы к воздействию внешних полей и окружающей среды. Они обладают достаточно узкой ширины. Эти преимущества делают их использование привлекательным во многих аспектах, в том числе создание опорных точек частоты в оптическом диапазоне. Это дает основу для развития

новых ядерных технологий, основанных на применении лазеров для овладения ядерными процессами. С этой точки зрения, одним из наиболее перспективных выглядит ²²⁹Th, в котором ядра расщепление основного и возбужденных уровней минимальна и составляет менее 10 эВ. Есть проекты создания атомных часов на этом переходе с погрешностью в пределах 10⁻²¹.

Нами предприняты расчеты схемы двухфотонной оптической накачки изомерного уровня этого нуклида. Отметим следующие результаты.

1) Вычисленное время оптической накачки составляет 15 с.

2) Вычислено время жизни ядра в изомерном состоянии в однократно-ионизованном атоме ²²⁹Th: $\tau \approx 165$ секунд.

3) Показано, что атом после возбуждения изомера наиболее вероятно останется в возбужденном $7s$ -состоянии. Поэтому энергию полученного таким путем изомера надо будет считать равной не $\hbar(\omega_1 + \omega_2)$, а за вычетом энергии $7s$ -уровня.



THE NUCLEAR CLOCK AND THE RELATED TECHNOLOGIES OF THE NEXT GENERATION

F. F.¹ Karpeshin and M. B.² Trzhaskovskaya

¹ D. I. Mendeleev Institute for Metrology;

² PNPI Kurchatov center

E-mail: fkarpeshin@gmail.com

Of great interest are nuclides, in which there are excited state with extremely low energies, within the scale of e few eV or keV [1]: ²⁰¹Hg, ¹⁸⁹Os, ²³⁷Np, ²³⁵U, ²²⁹Th and other nuclides. Such levels are isomeric owing to small their energies. They effectively mix up with close atomic levels, forming resonances in the optical domain [2]. This gives the chance to operate with the lifetimes of these isomers in a resonant field of laser radiation. Unlike the atomic spectra, the nuclear lines are stable against influence of external fields and environment. They possess rather narrow widths. These advantages do their use attractive in many aspects, including

creation of reference points of frequency in the optical range. This gives basis for development new nuclear technologies, founded on application of lasers for mastering nuclear processes. From such standpoint, one of the most perspective looks ^{229}Th , in which nucleus the splitting of the basic and excited levels is minimum and makes less than 10 эВ [3]. There are projects of creation of an atomic clock on this transition with an uncertainty within 10^{-21} [4].

Topical issues of study of this isomer are considered: experimental determination of exact energy of this isomer and optical pumping the isomeric atoms through one- and two-photon absorption. It is shown that in both cases the decisive contribution occurs still from the resonant $8s - 7s$ electronic transition. Details of the optimum scheme of experiment in neutral atoms and ions are discussed. Estimated time of the two-photon pumping in single ions of $^{229}\text{ThII}$ makes about 1.5 s with at intensity of the fields of each laser of 1 V/cm.

References

1. Emery G. T. // Annu. Rev. Nucl. Sci. 1972. V. 22. P. 105.
2. Karpeshin F. F. Fission in muonic atoms and the resonance conversion. Saint-Petersburg, Nauka: 2006.
3. Sakharov S. L. // Yad. Fiz. 2010. V. 73. P. 3. [Phys. Atom. Nucl. 2010. V. 73. P. 1.].
4. Peik E. and Tamm Chr. // Europhys. Lett. 2003. V. 61. P. 181.



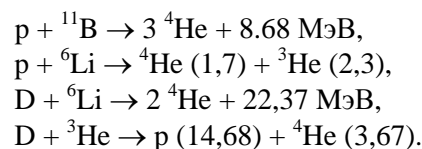
ЦЕПНЫЕ ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА НА ОСНОВЕ БЕЗНЕЙТРОННЫХ И МАЛОРАДИОАКТИВНЫХ ТОПЛИВ

**В. В. Кузенов, М. Р. Коршунова,
Т. Н. Полозова, С. В. Рыжков**

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
МГТУ им. Н. Э. Баумана

105005, Москва, ул. 2-ая Бауманская, д. 5, стр. 1
8(499)263-65-70, svryzhkov@gmail.com

Ряд термоядерных реакций обладает преимуществом, заключающемся в том, что дальнейшие ядерные реакции могут генерировать высокоэнергетичные протоны, поддерживая цепную реакцию:



Энерговыведение в скобках указано в МэВ, причем во всех случаях отсутствует прямая радиоактивность, т. е. нет нейтронов n и трития T среди продуктов реакции.

Представлена и обсуждается новая версия библиотеки Fusion Evaluated Nuclear Data FENDL-3.1b, вышедшая 15 октября 2015 г. [<https://www-nds.iaea.org/fendl/>]

Для расчета скоростей основных термоядерных реакций (в $\text{м}^3/\text{с}$) в узком диапазоне температур (2–100 кэВ), характерных для магнитно-инерциального термоядерного синтеза (МИТС), может быть использована упрощенная формула, которая дает меньше 1 % погрешности по сравнению с экспериментальными данными и библиотечными базами:

$$\begin{aligned} \langle \sigma v \rangle = & \left(A_0 + A_1 T + A_2 T^2 + A_3 T^3 + \right. \\ & \left. + A_4 T^4 + A_5 T^5 + A_6 T^6 \right) \cdot 10^{-30}, \end{aligned}$$

где $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$ – соответствующие аппроксимационные коэффициенты для скорости реакций.

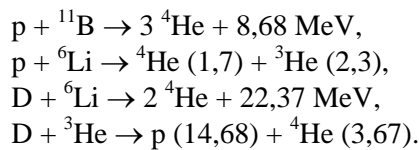
Результаты исследования были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 13.79.2014/К.

NUCLEAR CHAIN REACTIONS BASED ON ANEUTRONIC FUSION

S. V. Ryzhkov, M. R. Korshunova,
V. V. Kuzenov

Bauman Moscow State Technical University,
2-nd Bauman Street, 5, 1, Moscow, Russia
8(499)263-65-70, E-mail: svryzhkov@bmstu.ru

A number of fusion reactions has the advantage that further nuclear reactions can generate high-energy protons, maintaining a chain reaction [1–3]:



The energy in MeV, and in all cases there is no direct radioactivity, i.e. no neutrons and tritium among the products of the fusion reactions listed above.

The new version of FENDL-3.1b: Fusion Evaluated Nuclear Data Library Ver.3.1b (Released on 15 October 2015) [<https://www-nds.iaea.org/fendl/>] is discussed.

Improved thermonuclear reaction rates for main and aneutronic reactions are presented. The simplified formula [6] can be used for the calculation of thermonuclear reactions rates (m^3/s) in a narrow temperature range (2–100 keV), typical for magneto-inertial fusion (MIF) [4–6], which gives less than 1% error compared with the known database:

$$\langle \sigma v \rangle = \left(A_0 + A_1 T + A_2 T^2 + A_3 T^3 + A_4 T^4 + A_5 T^5 + A_6 T^6 \right) \cdot 10^{-30},$$

where $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$ are the corresponding approximation coefficients for fusion reaction.

This research has been supported by the Russian Ministry of Education and Science (Project № 13.79.2014/K).

References

1. Belyaev V. S., Krainov V. P., Zagreev B. V., et al. // *Physics of Atomic Nuclei*. 2015. V. 78. P. 537.
2. Dmitriev V. F. // *Physics of Atomic Nuclei*. 2009. V. 72, № 7. P. 1165–1167.

3. Voronchev V. T., Kukulin V. I. // *Phys. Atom. Nucl.* 2010. V. 73. P. 1376.

4. S.V.Ryzhkov // *Bull. of the Russian Academy of Sciences. Physics*. 2014. V. 78. P. 456.

5. Kuzenov V. V., Ryzhkov S. V. // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics*. 2016. V. 80.

6. Kostyukov I. Yu., Ryzhkov S. V. // *Plasma Physics Reports*. 2011. V. 37, № 13. P. 1092.



НЕКОТОРЫЕ НОВЫЕ ПУЧКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИКЛОТРОНОВ

А. А. Оглоблин¹, В. Н. Унежев¹,
В. А. Загрядский¹, А. И. Рязанов¹,
С. Т. Латушкин¹, В. И. Новиков¹

¹Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт", Россия, 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1, 8 (499) 196-96-39, ogloblina@bk.ru

Пучки заряженных частиц давно находят применение в различных отраслях промышленности и в смежных с ядерной физикой областях науки. В докладе дан обзор некоторых пучковых технологий, как реализованных в последнее время, так и разрабатываемых на циклотроне Курчатовского института. К ним относятся:

Технология исследования износа синтетических материалов с помощью пучков радиоактивных ядер бериллий-7

Новый метод получения радиоизотопов тербия для одновременной альфа-терапии и ПЭТ-диагностики

Новый метод получения стронция-82 для стронций – рубидиевых генераторов.

Развитие технологии серийного производства радиоизотопа иод-123.

Исследования влияния пучков быстрых частиц на образование радиационных повреждений и механизмов радиационной стойкости в сверхпроводящих материалах для магнитов и коллиматоров Большого Адронного Коллайдера.

SOME NEW TECHNOLOGIES OF CYCLOTRON BEAMS APPLICATIONS

A. A. Ogloblin¹, V. N. Unezhev¹,
V. A. Zagryadskii¹, A. I. Ryasanov¹,
S. T. Latushkin¹, V. I. Novikov¹

¹National Research Centre “Kurchatov Institute”,
Moscow 123182, Russia, Academic Kurchatov
sq. 1, 8 (499) 196-96-39, ogloblina@bk.ru

Charge particle beams are widely used in various branches of industry and science fields close to nuclear physics. A review of some beam applications both recently realized and being under development at the Kurchatov institute cyclotron is given in the talk. They include:

Technology of studying wear of synthetic materials with the beams of radioactive ⁷Be nuclei.

New method of production of radioactive nuclides of Terbium for simultaneous alpha-particle therapy and PET-diagnostics.

New method of production of ⁸²Sr for strontium – rubidium generators

Development of technology of serial production of radioactive isotope ¹²³I.

Study of influence of fast particles irradiation on formation of radiation damages and mechanisms of radiation durability in superconductive materials for magnets and collimators of the Large Hadron Collider

технологических подходов к решению актуальной проблемы стерилизации костных имплантатов. Проведен анализ существующих подходов и методик стерилизации биоимплантатов, наиболее широко используемых в настоящее время в практике тканевых банков, дана оценка преимуществ и недостатков отдельных методик стерилизации, степени их эффективности, а также технологических и медицинских проблем, связанных с их применением.

Показано, что в современной практике изготовления костных имплантатов преимущественной технологией их стерилизации является радиационная стерилизация с использованием гамма-квантов или пучков быстрых электронов. Проведена оценка основных факторов, определяющих как преимущества данной технологии, так и проблемы, связанные с ее применением, что дало возможность обосновать необходимость разработки нового подхода к созданию инновационной технологической цепочки, позволяющей получить качественно новый результат на основании комбинированного воздействия различных физических и химических факторов. Осуществлен первый цикл установочных экспериментов, направленных на обоснование рабочих диапазонов параметров такого воздействия. В качестве экспериментальной базы использовался ускоритель электронов мощностью 1 МэВ НИИЯФ МГУ. Комбинированные методики воздействия и микробиологические исследования проводились на базе совместной с ВИЛАР лаборатории биомедицинских технологий.



НОВЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗВИТИЮ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СТЕРИЛИЗАЦИИ КОСТНЫХ ИМПЛАНТАТОВ

В. В. Розанов, И. В. Матвейчук,
Ю. Ю. Литвинов, А. П. Черняев,
А. А. Николаева

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Целью цикла исследований является медико-биологическое и технологическое обоснование необходимости и путей совершенствования



NEW APPROACHES TO DEVELOPMENT OF THE COMBINED TECHNOLOGIES OF BONE IMPLANTS STERILIZATION

V. V. Rozanov, I. V. Matveychuk,
Yu. Yu. Litvinov, A. P. Chernyaev,
A. A. Nikolaeva

Lomonosov Moscow State University

The purpose of a cycle of researches is medicobiological and technological justification of

need and ways of improvement of technological approaches to the solution of an actual problem of bone implants sterilization. The analysis of the existing approaches and techniques of sterilization of bioimplants, the most widely now in use in practice of fabric banks is carried out, the assessment of advantages and shortcomings of separate techniques of sterilization, degree of their efficiency, and also the technological and medical problems connected with their application is given.

It is shown that in modern practice of production of bone implants primary technology of their sterilization is radiation sterilization with use of gamma quanta or bunches of fast electrons. The assessment of the major factors defining both advantages of this technology, and the problems connected with its application that has given the chance to prove need of development of new approach to creation of the innovative technological chain allowing to receive qualitatively new result on the basis of the combined influence of various physical and chemical factors is carried out.

The first cycle of the adjusting experiments directed to justification of working ranges of parameters of such influence is carried out. As experimental base the accelerator of electrons with a power of 1 Mev of Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics of Lomonosov Moscow State University. The combined techniques of influence and microbiological researches were conducted on the basis of laboratory of biomedical technologies, joint with Russian Institute of medicinal and aromatic plants.



ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОЯДЕРНЫХ ТОПЛИВ

**Ж. Б. Сексембаев, О. Б. Баяхметов,
С. К. Сахиев**

Евразийский Национальный Университет
им. Л. Н. Гумилева, ул. К.Сатпаева 2, Астана,
010008, Казахстан, тел.+7(7172)709500,
факс +7(7172)709457, e-mail: jandos_s90@mail.ru

Рассмотрен принцип реализации термоядерной процесса с использованием плотной D^3He -плазмы с подходящими условиями.

D^3He -топливо для эффективного термоядерного процесса является более предпочтительным, чем традиционная DT -плазмы по той причине, что, несмотря на то, что эти два вида топлива имеют почти равный энергывыход, основная энергия в D^3He -плазме выносится заряженными частицами, в то время как в DT -плазме основную энергию несут быстрые нейтроны. Они, в свою очередь, имеют относительно малые сечения взаимодействия с ионами топлива, и вследствие этого практически не участвуют в процессе горения. Это приводит к выработке энергии при использовании D^3He топлива почти в 5 раз больше, чем при использовании традиционного топлива DT [1]. Однако температура воспламенения топлива D^3He имеет большее значение. Самоподдерживающееся горение достигается с высокими плотностями сжатия. Следует знать скорости реакций горения, так как этот фактор влияет на энергывыход сверхплотной плазмы. Удержание в экстремальных условиях (высокая температура, высокая плотность) возможно в течение очень короткого времени, и скорость горения играет главную роль.

Для расчета выхода энергии в плотной D^3He плазме необходимо определить локальную область горения, чтобы иметь самоподдерживающийся процесс горения топлива. В данной работе рассмотрено повышение температуры локального объема горения за счет квазиупругого рассеяния высокоэнергетических продуктов в реакциях горения. Это включает в себя основные реакции: $D(D,p)T$, $D(D,n)^3He$, $D(^3He,p)^4He$, $^3He(^3He,pp)^4He$, $D(T,n)^4He$, $T(T,nn)^4He$. В работе рассчитаны средние потери энергии высокоэнергетическими частицами в квазиупругом рассеянии. Оценен энергетический выход процесса горения. Результаты сравнены с результатами для традиционных DT , DD топлив.

Список литературы

1. Ворончев В. Т., Кукулин В. И. // Ядерная физика, 2010. Т. 73. № 1. С.41–61.
2. Баско М. М. Физические основы инерциального термоядерного синтеза. М.: НИЯУ МИФИ, 2009. С. 173.



THERMONUCLEAR FUEL CHARACTERISTICS

Zh. B. Seksembayev, O. B. Bayakhmetov,
S. K. Sakhiyev

L. N. Gumilyov Eurasian National

¹University, str. K. Satpayev, Astana, 010008,
Kazakhstan, tel.+7(7172)709500,
факс +7(7172)709457, e-mail: jandos_s90@mail.ru

The principle of thermonuclear process realization using dense D³He-plasma with convenient conditions is considered. Using the D³He-fuel for efficient thermonuclear process is more preferable rather than traditional DT-plasma. This is due to the reason that in spite of fact that these two kind of fuel have almost same amount of the energy yield, bulk energy in D³He-plasma is carried out by charged particles, whereas in DT-plasma bulk energy is carried out by fast neutrons. Those have comparatively small interaction cross sections and are not acting in the burning process. This leads to energy production using D³He fuel almost 5 times more than using traditional DT fuel [1]. However the ignition temperature for the D³He fuel has greater value. The self-supporting conditions are reached by high compression densities.

One should know the rate of fuel burning as this factor affects the energy yield release out from very dense plasma. The confinement at extreme conditions (high temperature, high density) is possible for a very short time and the burn rate is on the main role.

For energy yield calculation in dense D³He plasma we should determine the local burning volume in order to have self-supporting fuel burning process. In this paper we consider the temperature rise of local burning volume due to quasi-elastic scattering of high-energetic product in burn reactions. This includes main reactions: D(D,p)T, D(D,n)³He, D(³He,p)⁴He, ³He(³He,pp)⁴He, D(T,n)⁴He, T(T,nn)⁴He.

The average energy loss of high-energetic particle in quasi-elastic scattering is calculated. The burning process energy yield is estimated. The results are compared with those for traditional DT, DD fuels.

References

1. Voronchev V. T., Kukulkin V. I. Realization of thermonuclear fusion in the D³He-Be plasma

based on Z-pinch in a combination with ultrafast laser ignition // Yadernaya fizika, 2010.-Vol.73.- №1.-P.41-61.

2. Basko M. M. Fizicheskie osnovy inertzialnogo termoyadernogo sinteza. - M.: NIYaU MIPhI, 2009.- 173 p.



ПОИСК НОВЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ДЛЯ БРАХИТЕРАПИИ

А. П. Черняев, А. В. Белоусов, А. А. Белянов

МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1,
стр. 2, физический факультет
+7 (495) 939-49-46 belousovav@physics.msu.ru

Брахитерапия – это подход к лечению онкологических заболеваний путём ввода радиоактивных веществ внутрь или рядом с опухолью. Очень немногие радионуклиды нашли широкое применение в терапии: ⁶⁰Co, ¹³⁷Cs, ¹⁹²Ir, ¹²⁵I, ¹⁰³Pd, ⁹⁰Sr/⁹⁰Yt. Настоящая статья посвящена подходу к поиску новых радионуклидов. Требования к новым источникам включают простоту получения, время полураспада не менее 10 дней и интенсивность гамма-излучения с энергией более 10 кэВ должна быть более 10%. Применяя упомянутые критерии было отобрано 63 кандидата. Следующий этап исследования включал расчёт точечных дозных ядер методом Монте-Карло и детальный анализ продуктов распада. После этого все перспективные радионуклиды были проверены на возможность их получения при помощи облучения p, d, h, и альфа-частицами на программе TALYS. Конечный этап включает моделирование конкретной геом



FINDING NEW RADIONUCLIDES FOR BRACHYTHERAPY

A. P. Chernyaeв, A. V. Belousov, A. A. Belianov

Lomonosov Moscow State University,
Moscow, Russia
MSU, Faculty of Physics, Russia,
119991, Moscow, GSP-1, 1-2 Leninskiye Gory
+7 (495) 939-49-46 belousovav@physics.msu.ru

Brachytherapy is an approach for treating cancer by injecting radioactive materials inside or near the tumor. Very few types of radionuclides are widely used for the therapy: ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{192}Ir , ^{125}I , ^{103}Pd , $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$. This paper presents an approach for finding new radionuclides. The requirements for new sources include easiness of obtaining, half-life not less than 10 days and the intensity of gamma-radiation with energy higher than 10 keV has to be higher than 10 %. By applying mentioned selection criteria 63 candidates were selected. Next stage of research included calculation of point dose kernels using Monte-Carlo and detailed analysis of particles created by decay. After that all perspective radionuclides were tested for the possibility of their production with irradiation by p, d, h and alpha particles using TALYS software code. The final step includes simulation of certain geometry of the sealed brachytherapy seed in Geant in water phantom.



ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЗИТРОНОВ В ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

А. П. Черняев, К. В. Коков

Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова
119991, ГСП-1, Москва,
Ленинские горы, дом 1, стр. 2
+7(495)939-49-46, kvkokov@yandex.ru

В настоящее время одним из действенных способов лечения онкологических заболеваний

является применение различных видов ионизирующих излучений. В последнее время все больше получают развитие методы, совмещающие в себе два фактора: терапевтический и диагностический. Примером служит установка под названием Томотерапия, в которой встроенное устройство визуализации определяет и проверяет локализацию опухолевой ткани, которую затем подвергают высокоточному облучению.

В этой связи представляет интерес поиск и развитие нового двухфакторного ядерно-физического метода в радиационной онкологии, состоящего в совмещении лучевой терапии и ПЭТ-томографии. В этом методе могут использоваться пучки позитронов. При наличии вокруг области облучения схемы совпадений можно установить точное место аннигиляции позитрона в веществе и, таким образом, контролировать поглощенную дозу в динамике [1].

Кроме того, в установку может быть введен третий фактор – магнитное поле (поперечное или продольное). Его включение позволяет сконцентрировать дозу в интересующей нас области и усилить эффект от облучения. Для исследования возможности разработки данного метода было проведено моделирование глубинных распределений дозы пучка позитронов с энергией 20 МэВ как без магнитного поля, так и с поперечным магнитным полем различной величины: 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5 Тл.

Глубинные распределения дозы вдоль оси пучка позитронов в поперечном магнитном поле 0,5–2,5 Тл, как показали исследования, мало отличаются от аналогичных распределений дозы для пучка электронов. Различие между ними в максимуме глубинного распределения дозы в магнитном поле $B = 2,5$ Тл не превышает 7 %. Эффективность облучения мишени пучком позитронов практически такая же, как и для пучка электронов. Доза, передаваемая среде электронами и позитронами, практически одинакова. Отличие составляет ~2 %.

Использование пучков позитронов в лучевой терапии может быть полезно, и представляется возможным развить метод лучевой терапии на пучках позитронов в будущем.

Список литературы

1. Черняев А. П. Ускорители в современном мире. М.: Издательство Московского университета, 2012. С. 368.

POSITRONS USAGE IN RADIATION THERAPY POSSIBILITY RESEA RCH

A. P. Chernyaev, K. V. Kokov

Lomonosov Moscow State University
Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia
+7(495)939-49-46, kvkokov@yandex.ru

Currently, one of the most effective ways of tumor treating is the usage of various types of ionizing radiation. Recently more and more methods are being developed that combine two factors: therapeutic and diagnostic. An example is the Tomotherapy technology, in which integrated imaging device detects and verifies the localization of tumor tissue, which is then exposed to irradiation.

In this regard, it is of interest the search and development of a new two-factor nuclear physical methods in radiation oncology, which consists in combining radiotherapy and PET-imaging. In this method positron beams can be used. If there is a coincidence circuit around the irradiation area the exact location of positron annihilation can be defined and thus it is possible to control the absorbed dose in dynamics [1].

In addition, third factor can be introduced – magnetic field (longitudinal or transverse). This

inclusion allows to concentrate the dose in the region of interest and to enhance the effect of radiation. To investigate the possibility of developing this method simulation of the depth dose distributions by positron beam with 20 MeV was carried out. It was done with the absence of magnetic field and with transverse magnetic field of various values: 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 Tesla.

Dose depth distributions along the positron beam axis in a transverse magnetic field of 0.5-2.5 Tesla, as studies have shown, differ little from those of dose distributions for the electron beam. The difference between the depth dose distribution maximum in a magnetic field $B = 2.5$ Tesla does not exceed 7%. Positron beam irradiation target efficiency is essentially the same as for the electron beam. Doses transmitted to medium by electrons and positrons is almost the same. The difference is about 2%.

Positron beams usage in radiation therapy may be helpful, and it is possible to develop a method of radiation therapy with beams of positrons in the future.

Bibliography

1. A. P. Chernyaev. Accelerators in the world today. M.: Moscow University Press, 2012. P. 368.

