

Л.И. УРУЦКОЕВ^{1),3)},

доктор физ.-мат. наук, профессор, вед. научн. сотр.

Д.В. ФИЛИППОВ⁴⁾,

доктор физ.-мат. наук, вед. научн. сотр.

А.А. РУХАДЗЕ^{2),3)},

доктор физ.-мат. наук, профессор, гл. научн. сотр.

К.А. АЛАБИН²⁾,

канд. техн. наук, младший научн. сотр.

А.А. ЛЕВАНОВ³⁾,

аспирант

¹⁾ РАНХ и ГС при Президенте Российской Федерации

²⁾ Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН

³⁾ Технический университет МФТИ

⁴⁾ МГУП имени Ивана Федорова

Москва, Российская Федерация

E-mail: urleon@yandex.ru

К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ ИНДУЦИРОВАННОГО α -РАСПАДА ЯДЕР УРАНА

Приведен обзор теоретических работ, показывающих, что сверхсильное магнитное поле, за счет деформации электронной оболочки атома может влиять на вероятности протекания ядерных процессов, как β -распада, так и α -распада. Приведены результаты экспериментов по сильноточному электровзрыву титановых фольг и лазерной абляции наночастиц металлов в солях урана, в которых было зарегистрировано существенное искажение изначального изотопного состава урана и нарушение векового равновесия в уран-ториевой цепочке. Показано, что искажение изотопного состава происходит за счет увеличения вероятности α -распада ^{238}U . Отмечается, что в экспериментах не наблюдалось каких-либо значительных потоков и нейтронного γ -излучения.

Ключевые слова: α -распад, β -распад, лазерная абляция, электровзрыв, искажение изотопного состава, индуцированный распад ядер, нарушение векового равновесия.

L.I. URUTSKOEV^{1),3)},

Doctor of Phys.-Mat. Sciences, Professor, Leading
Researcher

D.V. FILIPPOV⁴⁾,

Doctor of Phys.-Mat. Sciences, Professor, Leading
Researcher

A.A. RUKHADZE^{2),3)},

Doctor of Phys.-Mat. Sciences, Professor, Principle
Researcher

K.A. ALABIN²⁾,

Cand. of Techn. Sciences, Junior Researcher

A.A. LEVANOV³⁾,

postgraduate student

¹⁾ RANEPА

²⁾ Prokhorov General Physics Institute RAS

³⁾ Moscow Institute of Physics and Technology

⁴⁾ Moscow State University of Printing Arts

ON THE POSSIBILITY OF INDUCED α -DECAY OF URANIUM

An overview of the theoretical works shows that superstrong magnetic field due to the deformation of the electron shells of an atom influence the probability of occurrence of nuclear processes such as β -decay and α -decay. The results of experiments in which it was registered the break of secular equilibrium of uranium-thorium chain and distortion originally isotopic composition of uranium are presented. It is shown that the distortion of the isotopic composition is due to increase in the probability α -decay of ^{238}U . It is noted that in these experiments was not observed any significant flow of γ - and neutron radiation.

Key words: α -decay, β -decay, laser ablation, electric explosion, the distortion of the isotopic composition, induced decay of nuclei, violation secular equilibrium.

1. Краткая история вопроса

До середины прошлого века в физике главенствовало мнение основоположников ядерной физики (Резерфорд, Чедвик, Эллис, П. Кюри, М. Кюри) о том, что вероятности радиоактивных процессов зависят только от состояния ядра и не зависят от внешних условий. Однако в 50-х годах были опубликованы работы [1...3], в которых были получены надежные экспериментальные результаты об изменении периодов полураспада, соответственно, ${}^7\text{Be}$ (k -захват) и метастабильного ${}^{99m}\text{Tc}$ вследствие различия конфигураций атомных электронных оболочек в разных химических соединениях. Позднее стало ясно, что несмотря на значительное различие атомного и ядерного масштабов энергии и размера ($\sim 10^6$), ядерные и атомные явления тесно связаны. Распад ядра в общем случае неотделим от атомной оболочки. Так как при изменении заряда ядра собственные функции атомных электронов меняются, то распад ядра с изменением заряда всегда приводит к изменению атомных электронных орбит. Следовательно, изменение энергии электронной оболочки следует учитывать при рассмотрении распада ядра [4, 5]. В 60-е годы была развита теория β -распада в связанное состояние электрона, т.е. распада, при котором β -электрон не покидает атом, а занимает свободную орбиту. Ее последующее экспериментальное подтверждение показало, что влияние атомной оболочки на периоды распада ядер может быть существенным. Так, например ядра ${}^{163}\text{Dy}$, ${}^{193}\text{Ir}$, ${}^{205}\text{Tl}$ – абсолютно стабильные в нейтральном атоме становятся β -активными при полной ионизации атома [6], а полная ионизация ${}^{187}\text{Re}$ уменьшила период полураспада в 10^9 раз (ЦЕРН, 1996 г. [7]).

2. Влияние сильного магнитного поля на вероятность β -распада ядер

Ионизация атома – это не единственный и, по-видимому, не самый эффективный способ увеличить плотность свободных электронных состояний в области ядра, тем самым увеличив вероятность β -распада. В своих работах [8...10] Кадомцев обратил внимание на перестройку атомных электронов в сверхсильных магнитных полях таких, когда ларморовский радиус электрона в магнитном поле мал по отношению к борновскому радиусу, а энергия циклотронного вращения велика по сравнению с потенциалом ионизации атома водорода. Однако вопрос об изменении вероятностей протекания ядерных процессов, происходящих с участием слабых ядерных взаимодействий, в ядрах атомов, которые

находятся в сверхсильном магнитном поле, в этих работах не исследовался.

Корректное рассмотрение увеличения вероятности β -распада атома, помещенного в сверхсильное магнитное поле, для тяжелых атомов может проводиться только в рамках уравнения Дирака. Одной из первых работ в этом направлении является [11], где в рамках уравнения Дирака исследован спектр связанных состояний электронов в кулоновском поле ядра и внешнем магнитном поле, но только для основного состояния поперечного движения. В [12] решено уравнение Дирака для электрона в центральном электрическом поле ядра и внешнем однородном магнитном поле не только для основного, но и для возбужденных уровней поперечного движения.

В [13] рассмотрен не только разрешенный β -распад нейтрона, но и разрешенные и запрещенные распады различных ядер в присутствии внешнего сверхсильного магнитного поля с учетом связанных состояний β -электрона в электрическом поле ядра. Показано, что плотность состояний непрерывного спектра не зависит от величины магнитного поля, а плотность состояний дискретного спектра электронов возрастает, и именно за счет этого возрастает вероятность распада β -активных ядер во внешнем сверхсильном магнитном поле. Из проведенного теоретического анализа следует, что сильные магнитные поля меняют вероятности β -распадов за счет изменения фазового объема рождающихся β -электронов [13]. При этом в сверхсильном магнитном поле увеличение фазового объема и, следовательно, вероятности распада, происходит взрывным образом (множитель описывается рядом с расходящейся суммой), т.е. допустимо говорить о «взрыве лептонного фазового объема». Наиболее полно и последовательно все вопросы, касающиеся изменения вероятностей протекания ядерных процессов для атомов находящихся в сверхсильном магнитном поле, изложены в докторской диссертации Д.В. Филиппова [14].

3. Влияние сильного магнитного поля на вероятность α -распада ядер

Долгое время считалось, что вероятность α -распада определяется исключительно сильными ядерными взаимодействиями. Однако в 1957 г., V. Ерма опубликовал статью [15], в которой теоретически показал, что электроны атома увеличивают вероятность α -распада по отношению к вероятности α -распада полностью ионизованного атома. Во-первых, поле атомных электронов снижает барьер для α -частицы; и, во-вторых,

при α -распаде заряд ядра уменьшается на две единицы, что приводит к изменению энергии электронной оболочки. Учет влияния атомных электронов приводит к тому, что при расчете постоянной α -распада энергию α -частицы следует заменить «эффективной» энергией, которая больше реальной $E \rightarrow E + 73Z^{1/2} + 65Z^{3/2}$ эВ. Из-за экспоненциальной зависимости вероятности α -распада от энергии α -частицы $\ln p \propto \text{const} - \sqrt{E}^{-1}$, влияние атомных электронов может быть значительно. Как и следовало ожидать, атомные электроны сильнее влияют на процессы, идущие с малыми энергиями. Например, для ^{147}Sm (энергия α -частиц $\sim 2,31$ МэВ; $T_{1/2} = 7 \times 10^{11}$ лет) наличие электронной оболочки увеличивает вероятность α -распада в 2,6 раза по сравнению с ядром полностью ионизованного атома [15].

В 1970 г. была опубликована экспериментальная работа [16] из которой следовало, что при α -распаде ^{16}N наблюдается нарушение пространственной четности. Поскольку нарушение пространственной четности свойственно для слабых ядерных взаимодействий, то стало ясно, что в явлении α -распада участвуют все три вида взаимодействий: электромагнитное, слабое и сильное ядерные взаимодействия.

Влияние сверхсильного магнитного поля на вероятность α -распада качественно можно описать следующим образом. Внешнее сверхсильное магнитное поле меняет энергию электронной оболочки атома [9] и, следовательно, энергию любого ядерного распада, т.к. энергия распада равна разнице полных энергий начальной и конечной систем с учетом энергий ионизации атомов или ионов [5].

С другой стороны, в работе [17] было обращено внимание на то, что для ряда тяжелых ядер энергетически выгодным является процесс α -распада, происходящий одновременно с β -распадом (« $\alpha\beta$ -распад»). Для такого типа распадов, также, как и для классических β -распадов, можно ожидать значительного увеличения вероятности распада при воздействии на атом внешнего сверхсильного магнитного поля. Причина такого увеличения заключается в следующем: в сверхсильном магнитном поле таком, что ларморовский радиус электрона становится малым по сравнению с боровским радиусом, фазовый объем незанятых связанных (в кулоновском поле ядра) электронных состояний неограниченно возрастает [8...14], т.е. наблюдается так называемый «взрыв фазового объема» лептонных состояний. Это приводит к увеличению количеству конечных состояний системы, в которые может произойти распад, что в свою очередь и приводит к увеличению вероятности распада.

4. Результаты экспериментальных исследований

Одной из экспериментальных возможностей достижения сильных магнитных полей – является сильноточный электровзрыв тонких проволочек. В 1997–2004 гг. в ходе работ, выполняемых в РЭКОМ (Курчатовской институт), были получены экспериментальные результаты демонстрирующие возможность изменения вероятностей ядерных процессов под действием электровзрыва при относительно небольшой вложенной энергии (~ 50 кДж).

В экспериментах по электровзрыву титановой фольги в растворах солей урана наблюдалось искажение исходного изотопного состава как титана, так и урана. Подробное описание установки, схемы эксперимента и применяемых методик изложено в [18, 19]. В этих экспериментах тщательно исследовался химический и изотопный состав раствора до и после электровзрыва. Результаты масс-анализа изотопного состава урана содержащегося в растворе представлены в таблице 1.

Таблица 1

Изотопный состав образцов

Элемент	Исходный изотопный состав, %	Изотопный состав образца после эксперимента, %
^{235}U	$21,0 \pm 0,1$	$24,5 \pm 0,4$
^{238}U	$79,0 \pm 0,1$	$75,4 \pm 0,4$

Как видно из таблицы, в пробах наблюдается дефицит ^{238}U . Искажение изотопного состава урана в пользу обеднения по ^{238}U не означает, что ^{238}U переходит в ^{235}U . Чтобы в этом убедиться были проведены эксперименты с добавлением в исходный раствор радиоактивной метки ^{137}Cs . Результаты измерений одной из проб, полученные с помощью различных методик, представлены на рисунке 1. Для того, чтобы иметь возможность сравнения результатов измерений коэффициента обогащения, полученного с помощью различных методик, было введено двойное отношение $R = ({}^{235}\text{U}/{}^{238}\text{U})_{\text{ex}} / ({}^{235}\text{U}/{}^{238}\text{U})_{\text{rs}}$, где «rs» – отношение изотопов измеренное в исходном растворе соли урана, а «ex» – то же отношение, измеренное после проведения электровзрыва. Такое представление позволяло сравнивать результаты, например, γ -, α - и масс-спектрометрии в опытах с растворами природного и обогащенного урана, представляя результаты измерений на едином графике. На рисунке проставлены величины стандартных отклонений σ_{rms} для каждой методики. Из рисунка видно, что результаты измерений всех трех методик находятся в удовлетворительном согласии друг с другом. Две крайние правые точки относятся к измерениям методом γ -спектрометрии,

концентрации изотопов U по отношению к цезиевой метке. Из рисунка видно, что концентрация обоих изотопов U в растворе в момент выстрела уменьшается за счет какого-то процесса, но концентрация ^{238}U падает сильнее, чем концентрация ^{235}U , что и воспринимается как эффективное «обогащение».

В экспериментах был обнаружен эффект нарушения векового равновесия ^{234}Th , наблюдаемый практически во всех опытах. На рисунке 2 представлен типичный результат γ -измерений пробы одного из опытов. Результат представлен в виде временной зависимости $R(t)$, где $R(t)$ – отношение интенсивности линии ^{231}Th 186 кэВ (не имеющей временной зависимости) к линии ^{234}Th 92 кэВ. Из рисунка 2 видно, что кривая имеет временной ход с $T \sim 600$ ч, что соответствует периоду наработки ^{234}Th (и соответственно $^{234\text{m}}\text{Pa}$) из ^{238}U .

В этих экспериментах была предпринята попытка регистрации γ - и нейтронных потоков в момент электровзрыва. Сцинтилляционные детекторы не регистрировали значимых потоков γ -излучения в момент электровзрыва. Превышение радиационного фона после электровзрыва, как правило, не превышало 10...20 % над уровнем γ -фона лаборатории перед экспериментом. Типичное амплитудно-временное распределение сигналов нейтронного детектора (счетчик на ^3He [18, 19]) представлено на рисунке 3. Анализ формы зарегистрированных импульсов показал, что подавляющее количество зарегистрированных сигналов не относятся к нейтронам, а являются «ложными». На рисунке 4 представлен нейтронный сигнал от калибровочного источника и типичный «ложный» сигнал. Из рисунка видно, что длительность «ложного» импульса отличается от нейтронного примерно в два раза. Причем отличие проявляется как

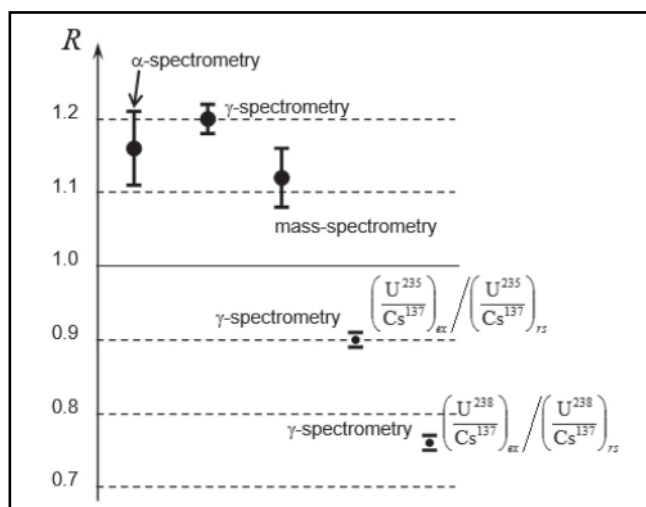


Рис. 1. Сравнение результатов измерений различных методик

в электронной, так и в ионной составляющей сигнала. По своей форме «ложные» сигналы похожи на сигналы от γ -квантов, которые, хотя и с низкой эффективностью, но также регистрировались детектором нейтронов. Однако эти сигналы нельзя было идентифицировать как γ -кванты, т.к. в таком случае, сцинтилляционные детекторы γ -излучения (NaI) должны были бы их регистрировать с гораздо более высокой эффективностью. Отнести эти сигналы к электромагнитной наводке также не представлялось возможным, поскольку сигналы регистрировалось уже после срабатывания конденсаторной батареи. Природа происхождения этих «ложных» сигналов осталось невыясненной, но на наш взгляд, они имеют не ядерное происхождение. Реальный же поток нейтронов за время импульса не превышал $I < 10^3$ нейтронов, что свидетельствовало о невозможности инициирования механизма деления урана с помощью электровзрыва.

Другой характерной особенностью экспериментов по электровзрыву титановой фольги в растворе соли урана являлись: наличие ^4He в газовой фазе, образующейся в результате электровзрыва, а также ощутимый тепловой нагрев взрывной камеры. Так образом, экспериментально регистрируемые в [18, 19] эффекты носили макроскопический характер, т.е. изменения вероятностей протекания ядерных процессов фиксировались у макроскопического числа ядер. Электрическую энергию, запасенную в конденсаторах установки отнесенную к числу атомов, претерпевших ядерные превращения, безусловно, следует считать малой по сравнению с ядерными энергиями. Кажущееся несоответствие между вложенной энергией и масштабом полученных эффектов долгое время вызывало, вполне понятный скептицизм, не только у наших коллег, но и у нас самих. Позднее было показано, что

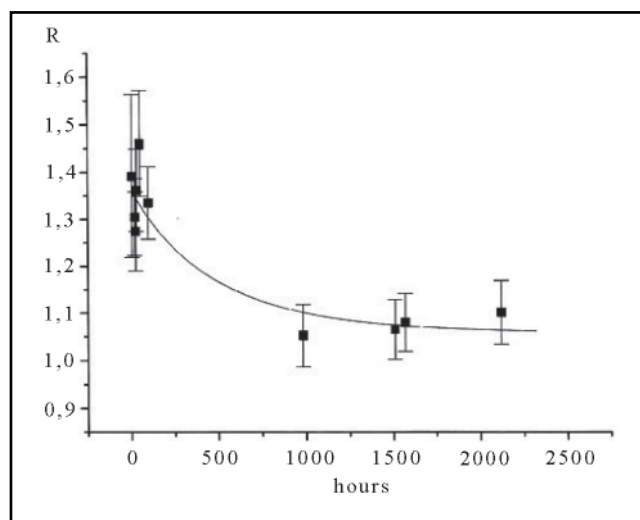


Рис. 2. Временной ход γ -активности Th

полученные результаты не только не противоречат фундаментальным законам сохранения [20...23], но и подтверждают идею о возможности влияния на вероятности протекания самопроизвольных низкоэнергетических ядерных процессов, путем возмущения атомных электронных оболочек [4, 5, 24]. Более того, в последующих теоретических работах [12, 14] было доказано, что при правильно подобранных параметрах воздействия, эффект такого опосредованного влияния всегда на порядок превышает эффекты от аналогичного прямого воздействия сверхсильного магнитного поля на атомное ядро.

Другой экспериментальной возможностью достижения сверхсильных импульсных магнитных

полей является использование мощных фемтосекундных лазеров [25...27]. Плотность энергии на мишени в импульсе длительностью меньше 100 фс достигает 10^{20} Вт/см², что соответствует напряженности магнитного поля до 10^9 Э [28]. Экспериментально подтверждено наличие магнитного поля $(0,7 \pm 0,1) \times 10^9$ Гс [29]. Несмотря на малое время воздействия ($\sim 10^{-13}$ с), этой длительности достаточно для протекания атомных процессов (для энергии 5 эВ соответствующее характерное время составляет $\sim 10^{-16}$ с) и наблюдения изменения периодов ядерных распадов.

Одной из реализаций такой возможности является эксперимент проведенный группой Г. Шафеева [30...32]. В этих экспериментах

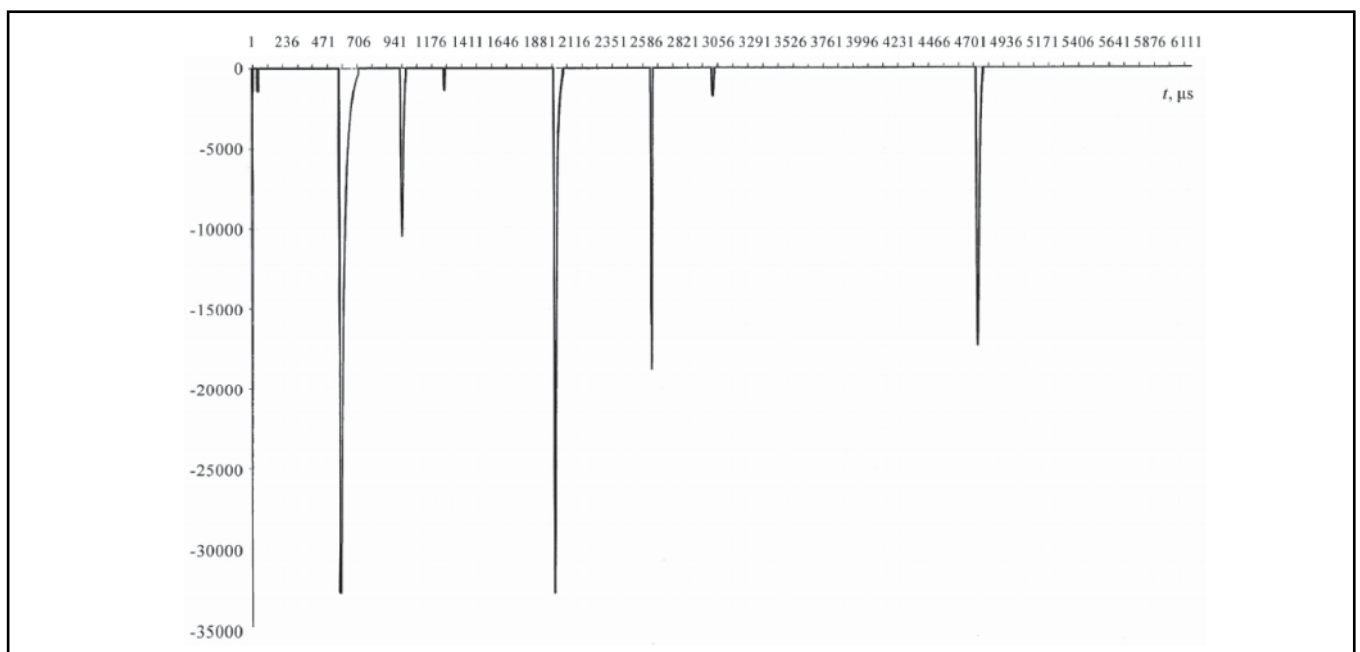


Рис. 3. Распределение амплитуд сигнала с ^3He детектора во времени. Начало отсчета совпадает с моментом начала прохождения тока

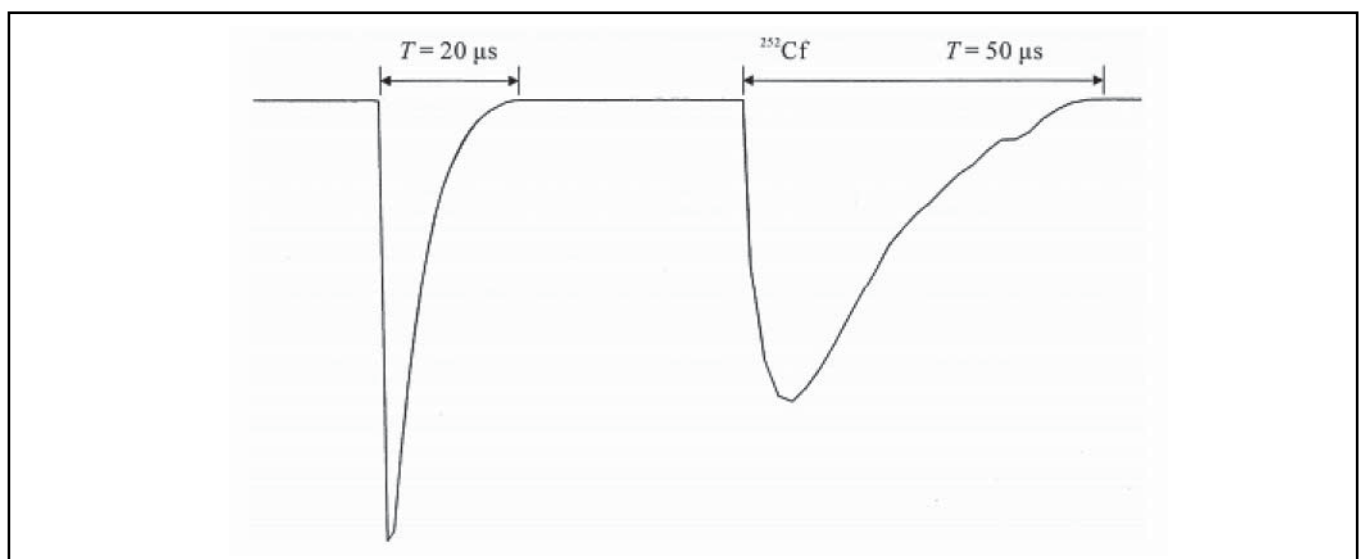


Рис. 4. Временные длительности «ложного» (левый сигнал) сигнала и сигнала с ^{252}Cf калибровочного источника

лазерное излучение поглощалось металлическими наночастицами золота, которые взрывались под действием этого излучения, образуя холодную плотную плазму. Наночастицы золота содержались (во взвешенном состоянии) в водном растворе урановой соли. Результаты γ -спектрометрических измерений показали нарушение векового равновесия в уран-ториевой цепочке.

Лазерное облучение наночастиц Au в растворе соли UO_2Cl_2 в H_2O также приводит к уменьшению активности ^{238}U . Об изменениях концентрации ^{238}U можно судить по изменению активности его дочерних ядер, ^{234}Th и ^{234}Pa . Как показано на рисунке 5, концентрация ^{235}U растет после облучения. По всей видимости, это объясняется тем, что концентрация ^{238}U падает сильнее, чем концентрация ^{235}U .

По работам [30...32] указывается, что при любых концентрациях солей U наблюдалось увеличение содержания ^{234}Th , и это значение росло с увеличением концентраций. Также наблюдалось увеличение содержания короткоживущего нуклида ^{234m}Pa . Увеличение концентрации этих ядер означает ускорение распада ^{238}U , т.к. эти ядра являются продуктами цепочки распада ^{238}U . Этот эффект действует выборочно на изотопы урана, т.к. концентрация ^{235}U не отличается от концентрации в растворе, который не подвергался лазерному облучению.

Следует подчеркнуть, что, несмотря на различные способы получения плазмы и достижения

сверхсильных магнитных полей, результаты, полученные в [31, 32], качественно согласуются с результатами, ранее опубликованными в работах [18, 19]. Совпадение результатов полученных в экспериментах различного типа, позволяет предположить о существовании единого физического механизма ускорения периода α -распада ядер урана, который ещё предстоит описать теоретически. Из проведенных экспериментов следует, что механизм реализуется при возникновении сильного нестационарного магнитного поля в плотной низкотемпературной плазме, содержащей атомы урана.

Выводы

1. Экспериментально наблюдаемое инициирование распада урана при электровзрыве фольг в растворах солей урана и абляции наночастиц в растворах солей урана, по-видимому обусловлено деформацией электронной оболочки в момент воздействия.

2. Однако сам физический механизм, приводящий к макроскопичности величины наблюдаемых эффектов, остаётся, в значительной степени, не ясным. В качестве гипотезы можно предположить, что магнитное поле приводит к «взрывному» увеличению фазового объема незанятых связанных состояний электронов, что в свою очередь приводит к значительному увеличению вероятности процессов распада ^{238}U с одновременным рождением электрона и α -частицы ($\alpha\beta$ -распад [17]).

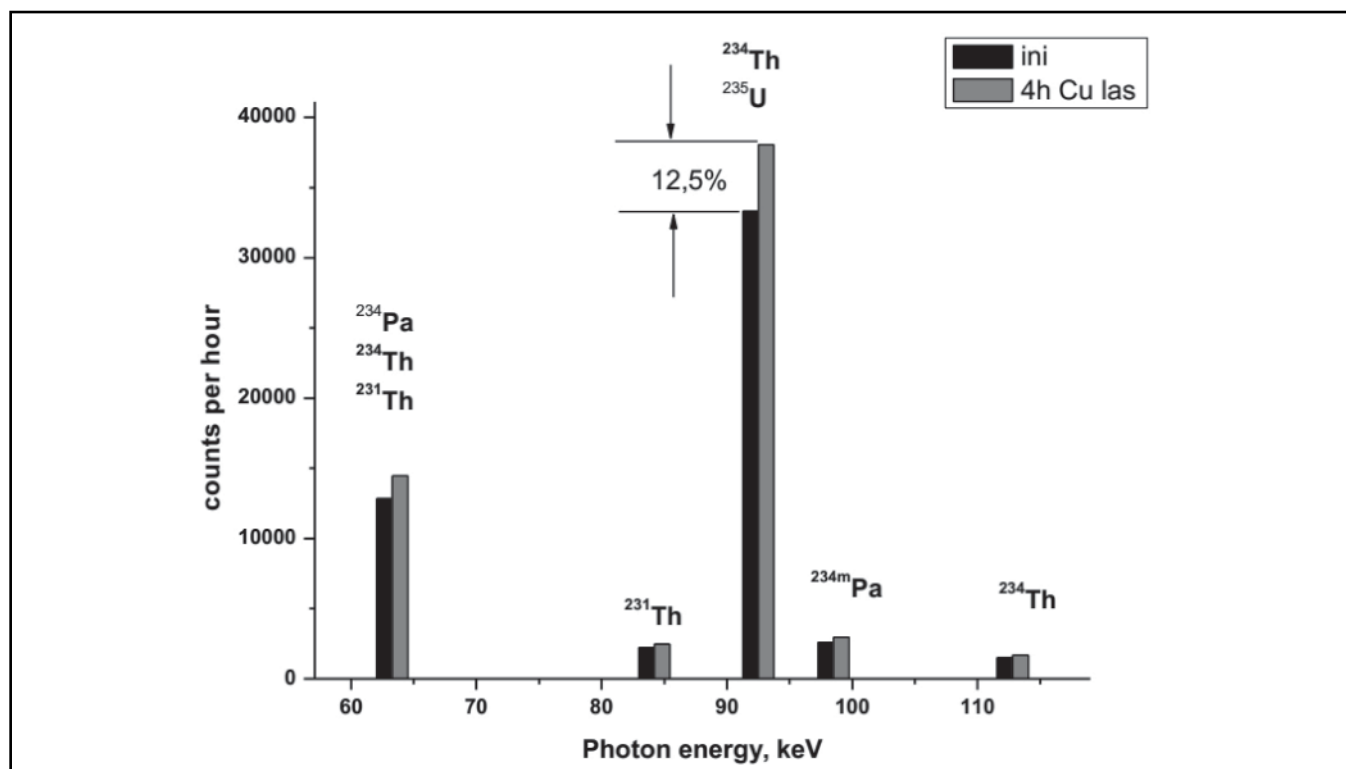


Рис. 5. Активность основных ядер до и после эксперимента. Рисунок взят из работы [31]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Segrè E., Wiegand C. E. Experiments on the Effect of Atomic Electrons on the Decay Constant of Be-7 // *Phys. Rev.* 1949. Vol. 75. № 1. Pp. 39...43.
2. Leininger R.F., Segrè E., Wiegand C.E., Experiments on the Effect of Atomic Electrons on the Decay Constant of Be-7. II // *Phys. Rev.* 1949. Vol. 76. № 7. Pp. 897...898.
3. Bainbridge K.T., Goldhaber M. Influence of the Chemical State on the Lifetime of an Isomer // *Phys. Rev.* 1951. Vol. 84. № 6. Pp. 1260...1262.
4. Стародубцев С.В., Романов А.М. *Радиоактивные превращения ядер и атомная оболочка*. Ташкент: АН Узбекской ССР, 1958. 495 с.
5. Уруцкоев Л.И., Филиппов Д.В. Условие бета-стабильности ядер нейтральных атомов // *УФН*. 2004. Т. 174. № 12. С. 1355...1358.
6. Jung M., Bosch F., Beckert K. et al. First observation of bound-state-decay // *Phys. Rev. Lett.* 1992. Vol. 69. № 15. Pp. 2164...2167.
7. Bosch F., Faestermann T., Friese J. et al. Observation Of Bound-state β -decay Of Fully Ionized Re-187: Re-187 – Os-187 Cosmochronometry // *Phys. Rev. Lett.* 1996. Vol. 77. № 26. Pp. 5190...5193.
8. Кадомцев Б.Б. Тяжелый атом в сверхсильном магнитном поле // *ЖЭТФ*. 1970. Т. 58. № 5. С. 1765...1769.
9. Кадомцев Б.Б., Кудрявцев В.С. Атомы в сверхсильном магнитном поле // *Письма в ЖЭТФ*. 1971. Т. 13. № 1. С. 61...64.
10. Кадомцев Б.Б., Кудрявцев В.С. Вещество в сверхсильном магнитном поле // *ЖЭТФ*. 1972. Т. 62. № 1. С. 144...152.
11. Ораевский В.Н., Рез А.И., Семикоз В.Б. Спонтанное рождение позитронов кулоновским центром в однородном магнитном поле // *ЖЭТФ*. 1977. Т. 72. № 3. С. 820...833.
12. Филиппов Д.В. Увеличение вероятности разрешенных электронных β -распадов в сверхсильном магнитном поле // *Ядерная физика*. 2007. Т. 70. № 2. С. 280...287.
13. Filippov D.V. Increase in the Probability of Forbidden Electron Beta Decays in a Superstrong Magnetic Field // *Physics of Atomic Nuclei*. 2007. Vol. 70. № 12. Pp. 2016...2024.
14. Филиппов Д.В. *Влияние ионизации и возбуждения атомов электромагнитным полем на условия стабильности ядер и процессы радиоактивного распада*: Дисс. на соиск. уч. ст. доктора физ.-мат. наук. Москва, 2008.
15. Erma V.A. // *Phys. Rev.* 1957. Vol. 105. P. 1784.
16. Hätting H., Hünchen K., Wäffer H., Evidence for Parity-Forbidden α -Particle Decay from the 8.87-MeV 2- State in O-16 // *Phys. Rev. Lett.* 1970. Vol. 25. № 14. Pp. 941...943.
17. Филиппов Д.В., Уруцкоев Л.И., Бирюков А.О., Рухадзе А.А., Белоус П.В. Потеря устойчивости тяжелых ядер в сверхсильном магнитном поле // *Прикладная физика*. 2012. № 4. С. 5...14.
18. Urutskoev L.I., Filippov D.V., Study of the Electric Explosion of Titanium Foils in Uranium Salts // *J. Mod. Phys.* 2010. Vol. 1. № 4. Pp. 226...235.
19. Volkovich A.G., Govorun A.P., Gulyaev A.A., Zhukov S.V., Kuznetsov V.L., Ruhadze A.A., Steblevskii A.V., Urutskoev L.I. Experimental observation of the distortion of the uranium isotopic relationship and violation of the thorium-234 secular equilibrium upon electric explosion // *Annales Fondation Louis de Broglie*. 2005. Vol. 30. № 1. Pp. 63...70.
20. Рухадзе А.А., Уруцкоев Л.И., Филиппов Д.В. Возможны ли низкоэнергетические ядерные реакции с точки зрения законов сохранения? // *Кратк. сообщ. по физ. ФИАН*. 2004. № 4. С. 39...49.
21. Уруцкоев Л.И., Филиппов Д.В. Возможна ли трансформация ядер в низкотемпературной плазме с точки зрения законов сохранения? // *Прикладная физика*. 2004. № 2. С. 30...35.
22. Filippov D.V., Urutskoev L.I. On the possibility of nuclear transformation in low-temperature plasma from the viewpoint of conservation laws // *Ann. Fond. L. de Broglie*. 2004. Vol. Hors Serie 3. № 29. Pp. 1187...1205.
23. Filippov D.V., Rukhadze A.A., Urutskoev L.I. Condensed Matter Nuclear Science // *Effects of atomic electrons on nuclear stability and radioactive decay* / Ed. by Biberian J.P. Singapore: World Scientific Publishing Co., 2006. Pp. 806...817.
24. Filippov D.V., Rukhadze A.A., Urutskoev L.I., Effects of atomic electrons on nuclear stability and radioactive decay // *Ann. Fond. L. de Broglie*. 2004. Vol. Hors Serie №3. № 29. Pp. 1207...1217.
25. Крайнов В.П., Смирнов М.Б. Эволюция больших кластеров под действием ультракороткого сверхмощного лазерного импульса // *УФН*. 2000. Т. 170. № 9. С. 969...990.
26. Косарев И.Н. Генерация быстрых протонов при взаимодействии релятивистских лазерных импульсов с тонкой фольгой // *ЖТФ*. 2005. Т. 75. № 10. С. 73...77.
27. Ложкарев В.В., Гаранин С.Г., Герке Р.Р. и др. 100-тераваттный фемтосекундный лазер на основе параметрического усиления // *Письма в ЖЭТФ*. 2005. Т. 82. № 4. С. 196...199.
28. Беляев В.С., Костенко О.Ф., Лисица В.С. Циклотронный механизм ускорения электронов в субпикосекундной лазерной плазме // *Письма в ЖЭТФ*. 2003. Т. 77. № 12. С. 784...787.
29. Wagner U., Tatarakis M., Gopal A. et al., Laboratory measurements of 0.7 GG magnetic fields generated during high-intensity laser interactions with dense plasmas // *Phys. Rev. E*. 2004. Vol. 70. P. 026401.
30. Simakin A.V., Shafeev G.A. Initiation of nuclear reactions under laser irradiation of Au nanoparticles in the presence of Thorium aqua-ions // *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*. 2010. Vol. 12. № 3. Pp. 432...436.
31. Simakin A.V., Shafeev G.A. Initiation of nuclear reactions under laser irradiation of Au nanoparticles in the

aqueous solution of Uranium salt // Applied Physics A. 2010. Vol. 101. № 1. Pp. 199...203.

32. Simakina A.V., Shafeev G.A., Accelerated Alpha Decay under Laser Exposure of Metallic Nanoparticles in Aqueous Solutions of Uranium Salt // Physics of Wave Phenomena. 2011. Vol. 19. № 1. Pp. 30...38.

REFERENCES

1. Segrè E., Wiegand C. E. Experiments on the Effect of Atomic Electrons on the Decay Constant of Be-7. Phys. Rev. 1949. Vol. 75. № 1. Pp. 39...43.
2. Leininger R.F., Segrè E., Wiegand C.E. Experiments on the Effect of Atomic Electrons on the Decay Constant of Be-7. II. Phys. Rev. 1949. Vol. 76. № 7. Pp. 897...898.
3. Bainbridge K.T., Goldhaber M. Influence of the Chemical State on the Lifetime of an Isomer. Phys. Rev. 1951. Vol. 84. № 6. Pp. 1260...1262.
4. Starodubtsev S. V., Romanov A.M. *Radioaktivnye prevrashcheniya yader i atomnaya obolochka* [Radioactive transformations nuclei and nuclear envelope]. Tashkent: Publishing House «Proc. Akad. Uzbek SSR», 1958. 495 p.
5. Urutskoev L.I., Filippov D.V. Uslovie beta-stabil'nosti yader neytral'nykh atomov [Conditions of beta-stability nuclei of neutral atoms]. *UFN* [Physics-Uspekhi]. 2004. Vol. 174. № 12. P. 1355...1358.
6. Jung M., Bosch F., Beckert K. et al. First observation of bound-state-decay. Phys. Rev. Lett. 1992. Vol. 69. № 15. Pp. 2164...2167.
7. Bosch F., Faestermann T., Friese J. et al. Observation Of Bound-state β -decay Of Fully Ionized Re-187: Re-187 – Os-187 Cosmochronometry. Phys. Rev. Lett. 1996. Vol. 77. № 26. Pp. 5190...5193.
8. Kadomtsev B.B. Tyazhelyy atom v sverkhshil'nom magnitnom pole [Heavy atom in a superstrong magnetic field]. *ZhETF* [JETP]. 1970. T. 58. №5. P. 1765...1769.
9. Kadomtsev B.B., Kudryavtsev V.S. Atomy v sverkhshil'nom magnitnom pole [Atoms in a superstrong magnetic field]. *Pis'ma v ZhETF* [JETP Letters]. 1971. Vol. 13. № 1. P. 61...64.
10. Kadomtsev B.B., Kudryavtsev V.S. Veshchestvo v sverkhshil'nom magnitnom pole [Substance in a superstrong magnetic field]. *ZhETF* [JETP]. 1972. Vol. 62. № 1. P. 144...152.
11. Oraevskiy V.N., Rez A.I., Semikoz V.B. Spontannoe rozhdienie pozitronov kulonovskim tsentrom v odnorodnom magnitnom pole [Spontaneous production of positrons by Coulomb center in a uniform magnetic field]. *ZhETF* [JETP]. 1977. Vol. 72. № 3. P. 820...833.
12. Filippov D.V. Uvelichenie veroyatnosti razreshennykh elektronnykh β -raspadov v sverkhshil'nom magnitnom pole [Increase the probability of allowed electronic β -decays in a superstrong magnetic field]. *Yadernaya fizika* [Nuclear Physics]. 2007. Vol. 70. № 2. P. 280...287.
13. Filippov D.V. Increase in the Probability of Forbidden Electron Beta Decays in a Superstrong Magnetic Field // Physics of Atomic Nuclei. 2007. Vol. 70. № 12. Pp. 2016...2024.
14. Filippov D.V. *Vliyanie ionizatsii i vzbuzhdeniya atomov elektromagnitnym polem na usloviya stabil'nosti yader i protsessy radioaktivnogo raspada* [Effect of ionization and excitation conditions of the electromagnetic field on nuclear stability and radioactive decay processes]: Diss. na soisk. uch. st. doktora fiz.-mat. nauk. Moscow, 2008.
15. Erma V.A. Phys. Rev. 1957. Vol. 105. P. 1784.
16. Hätting H., Hünchen K., Wäffer H., Evidence for Parity-Forbidden α -Particle Decay from the 8.87-MeV 2- State in O-16. Phys. Rev. Lett. 1970. Vol. 25. № 14. Pp. 941...943.
17. Filippov D.V., Urutskoev L.I., Biryukov A.O., Rukhadze A.A., Belous P.V. Poterya ustoychivosti tyazhelykh yader v sverkhshil'nom magnitnom pole [Loss of stability of heavy nuclei in ultrahigh magnetic fields]. *Prikladnaya fizika* [Applied Physics]. 2012. № 4. P. 5...14.
18. Urutskoev L.I., Filippov D.V. Study of the Electric Explosion of Titanium Foils in Uranium Salts. J. Mod. Phys. 2010. Vol. 1. № 4. Pp. 226...235.
19. Volkovich A.G., Govorun A.P., Gulyaev A.A., Zhukov S.V., Kuznetsov V.L., Rukhadze A.A., Steblevskii A.V., Urutskoev L.I. Experimental observation of the distortion of the uranium isotopic relationship and violation of the thorium-234 secular equilibrium upon electric explosion. *Annales Fondation Louis de Broglie*. 2005. Vol. 30. № 1. Pp. 63...70.
20. Rukhadze A.A., Urutskoev L.I., Filippov D.V. Vozmozhny li nizkoenergeticheskie yadernye reaktsii s tochki zreniya zakonov sokhraneniya? [Is it possible to low-energy nuclear reactions in terms of conservation laws?]. *Kratk. soobshch. po fiz. FIAN* [Bulletin of the Lebedev Physics Institute]. 2004. № 4. P. 39...49.
21. Urutskoev L.I., Filippov D.V. Vozmozhna li transformatsiya yader v nizkotemperaturnoy plazme s tochki zreniya zakonov sokhraneniya? [Can the nuclear transformation in low-temperature plasma in terms of conservation laws?]. *Prikladnaya fizika* [Applied Physics]. 2004. № 2. P. 30...35.
22. Filippov D.V., Urutskoev L.I. On the possibility of nuclear transformation in low-temperature plasma from the viewpoint of conservation laws. *Ann. Fond. L. de Broglie*. 2004. Vol. Hors Serie 3. № 29. Pp. 1187...1205.
23. Filippov D.V., Rukhadze A.A., Urutskoev L.I. Condensed Matter Nuclear Science. Effects of atomic electrons on nuclear stability and radioactive decay. Ed. by Biberian J.P. Singapore: World Scientific Publishing Co., 2006. Pp. 806...817.
24. Filippov D.V., Rukhadze A.A., Urutskoev L.I. Effects of atomic electrons on nuclear stability and radioactive decay. *Ann. Fond. L. de Broglie*. 2004. Vol. Hors Serie №3. № 29. Pp. 1207...1217.

25. Kraynov V.P., Smirnov M.B. Evolyutsiya bol'shikh klasterov pod deystviem ul'trakorotkogo sverkhmoshchnogo lazernogo impul'sa [The evolution of large clusters under the action of an ultrashort superpower laser pulse]. *UFN* [Physics-USpekhi]. 2000. Vol. 170. № 9. P. 969...990.
26. Kosarev I.N. Generatsiya bystrykh protonov pri vzaimodeystvii relyativistskikh lazernykh impul'sov s tonkoy fol'goy [Generation of fast protons in the interaction of relativistic laser pulses with thin foil]. *ZhTF*. 2005. Vol. 75. № 10. P. 73...77.
27. Lozhkarev V.V., Garanin S.G., Gerke R.R. et al. 100-teravattnyy femtosekundnyy lazer na osnove parametricheskogo usileniya [100 terawatt femtosecond laser based on parametric amplification]. *Pis'ma v ZhETF* [JETP Letters]. 2005. Vol. 82. № 4. P. 196...199.
28. Belyaev V.S., Kostenko O.F., Leesitsa V.S. Tsiklotronnyy mekhanizm uskoreniya elektronov v subpikosekundnoy lazernoy plazme [Cyclotron mechanism of electron acceleration in the subpicosecond laser plasma]. *Pis'ma v ZhETF* [JETP Letters]. 2003. Vol. 77. № 12. P. 784...787.
29. Wagner U., Tatarakis M., Gopal A. et al. Laboratory measurements of 0.7 GG magnetic fields generated during high-intensity laser interactions with dense plasmas. *Phys. Rev. E*. 2004. Vol. 70. P. 026401.
30. Simakin A.V., Shafeev G.A. Initiation of nuclear reactions under laser irradiation of Au nanoparticles in the presence of Thorium aqua-ions. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*. 2010. Vol. 12. № 3. Pp. 432...436.
31. Simakin A.V., Shafeev G.A. Initiation of nuclear reactions under laser irradiation of Au nanoparticles in the aqueous solution of Uranium salt. *Applied Physics A*. 2010. Vol. 101. № 1. Pp. 199...203.
32. Simakin A.V., Shafeev G.A., Accelerated Alpha Decay under Laser Exposure of Metallic Nanoparticles in Aqueous Solutions of Uranium Salt. *Physics of Wave Phenomena*. 2011. Vol. 19. № 1. Pp. 30...38.

Сведения об авторах

^{1),3)} **Уруцкоев Леонид Ирбекович**, доктор физ.-мат. наук, профессор, ведущий научный сотрудник
E-mail: urleon@yandex.ru

⁴⁾ **Филиппов Дмитрий Витальевич**, доктор физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник

^{2),3)} **Рухадзе Анри Амвросьевич**, доктор физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник
E-mail: rukh@fpl.gpi.ru

²⁾ **Алабин Кирилл Алексеевич**, канд. техн. наук, младший научный сотрудник
E-mail: alabin.kirill@gmail.com

³⁾ **Леванов Алексей Александрович**, аспирант
E-mail: seminlevanov@gmail.com

¹⁾ РАНХ и ГС при Президенте Российской Федерации
119571, Москва, Российская Федерация, пр. Вернадского, 82

²⁾ Институт общей физики РАН
119991, Москва, Российская Федерация, ул. Вавилова, 38

³⁾ Московский Физико-Технический Институт
141700, г. Долгопрудный, Российская Федерация, Институтский пер., д. 9

⁴⁾ МГУП имени Ивана Федорова
127550, Москва, Российская Федерация, ул. Прянишникова, 2А

Information about authors

^{1),3)} **Urutskoev Leonid I.**, Doctor of Phys.-Math. Sciences, Leading Researcher
E-mail: urleon@yandex.ru

⁴⁾ **Filippov Dmitry V.**, Doctor of Phys.-Math. Sciences, Leading Researcher
E-mail: filippov-atom@ya.ru

^{2),3)} **Rukhadze Anri A.**, Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor, Principle Researcher
E-mail: rukh@fpl.gpi.ru

²⁾ **Alabin Kirill A.**, Cand. of Techn. Sciences, Junior Researcher
E-mail: alabin.kirill@gmail.com

³⁾ **Levanov Alexey Alexandrovich**, postgraduate student
E-mail: seminlevanov@gmail.com

¹⁾ RANEP
119571, Moscow, Russian Federation, pr. Vernadskogo, 82

²⁾ Prokhorov General Physics Institute RAS
119991, Moscow, Russian Federation, Vavilova street 38

³⁾ Moscow Institute of Physics and Technology
141700, Moscow reg., Dolgoprudny, Russian Federation, Institute lane, 9

⁴⁾ Moscow State University of Printing Arts
127550, Moscow, Russian Federation, Pryanishnikova, 2A