

---

П - 573

15-82-206

ПОПЕКО  
Андрей Георгиевич

ИЗУЧЕНИЕ СПОНТАННОГО ДЕЛЕНИЯ  
В ПРИРОДНЫХ ОБРАЗЦАХ  
И ПОИСКИ СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Специальность: 01.04.16 - физика атомного ядра  
и элементарных частиц.

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель:  
кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник

Г.М.Тер-Акопян

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук  
профессор

Г.Н.Смирнин

кандидат химических наук  
старший научный сотрудник

О.С.Цветков

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова, Москва

Автореферат разослан " " \_\_\_\_\_ 1982 года.

Защита состоится " " \_\_\_\_\_ 1982 года в " " час на заседании Специализированного совета Д.047.01.05 при Лаборатории нейтронной физики и Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований (Московская обл., г. Дубна).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

Ю.В. Таран

#### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Изучение свойств трансурановых изотопов показало, что времена их жизни быстро сокращаются с увеличением заряда ядра  $Z$ . Согласно модели жидкой капли, ядра, характеризующиеся параметром делимости  $Z^2/A > 48-50$ , должны распадаться за времена  $\sim 10^{-20}$  с.

Результаты исследований по физике деления и структуре ядра позволили по-новому подойти к одному из наиболее сложных и актуальных вопросов ядерной физики - вопросу о границах периодической системы элементов Д.И. Менделеева. В конце шестидесятых годов была обоснована гипотеза о существовании относительно долгоживущих сверхтяжелых элементов (СТЭ) с  $Z \sim 114$  и  $N \sim 184$ .

Изучение проблемы СТЭ привлекло внимание многих исследовательских групп. Работы велись по двум направлениям: синтез новых элементов на ускорителях и поиски их в природных объектах.

Попытки искусственного синтеза сверхтяжелых элементов до сих пор не дали положительных результатов. Возможно, что неудачи связаны с принципиально непреодолимыми трудностями. Поэтому особое значение приобретает поиск новых элементов в природе, поскольку этот путь может оказаться единственным подходом к изучению гипотетических элементов.

Оценки времен жизни СТЭ и их выходов в процессах нуклеосинтеза показывают, что среднее содержание таких элементов в Солнечной системе не превышает  $10^{-13} - 10^{-14}$  г/г.

Обнаружение сверхтяжелых ядер или доказательство их отсутствия должно оказать существенное воздействие на наши представления о свойствах ядерных сил, механизмах образования элементов, эволюции Вселенной. В случае обнаружения сверхтяжелых элементов в природных объектах открывается заманчивая возможность применения этих элементов в качестве мишеней материалов для синтеза многих как более тяжелых, так и более легких изотопов.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
БИБЛИОТЕКА

Цель работы заключалась в разработке методики поиска сверхтяжелых элементов, основанной на детектировании редких актов спонтанного деления и обеспечивающей обнаружение СТЭ в количествах  $10^{-14} - 10^{-15}$  г/г (в предположении  $T_{1/2} = 10^9$  лет); в исследовании активности спонтанного деления в различных природных объектах и в изучении эффектов, способных имитировать спонтанное деление СТЭ и среди таких эффектов, особенно спонтанного деления урана-238.

#### Научная новизна и практическая ценность

Развит новый метод детектирования спонтанно делящихся изотопов по актам множественной эмиссии нейтронов, который может быть применен при определении содержания таких изотопов в различных объектах и при производстве трансурановых элементов.

Разработаны детекторы нейтронов на базе пропорциональных счетчиков с  $^3\text{He}$ , практически не уступающие по эффективности регистрации сцинтилляционным установкам и значительно превосходящие их по чувствительности, особенно при изучении деления изотопов, испускающих небольшие числа нейтронов, а также изотопов в смесях, обладающих высокой  $\gamma$ -активностью.

Предложен новый способ определения константы спонтанного деления атомных ядер, который может найти применение при изучении изотопов, основным видом распада которых является  $\alpha$ -распад.

Проведено измерение статистических характеристик распределения по множественности нейтронов, испускаемых при спонтанном делении урана-238.

Изучена активность спонтанного деления в различных природных образцах. В некоторых метеоритах, относящихся к классу хондритов, обнаружен эффект множественной эмиссии нейтронов. Проведен анализ возможного объяснения этого эффекта известными источниками фона и высказано предположение о связи наблюдаемой активности со спонтанным делением одного из изотопов сверхтяжелых элементов с  $Z \sim 114$ .

Результаты измерений нашли применение в экспериментах по химической переработке вещества метеорита Алленде, при планировании и проведении работ по выделению обнаруженного в метеоритах излучателя из некоторых земных образцов.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертация состоит из введения и пяти глав.

Введение является аннотацией работы. В нем указано на актуальность проблемы, сформулирована цель исследований и приведены основные результаты, полученные автором.

Глава I посвящена рассмотрению представлений о стабильности сверхтяжелых ядер и свойствах их радиоактивного распада.

Последовательный анализ предсказаний свойств ядер, выполненных на основании капельной модели, привел к выводу, что предельный заряд ядер не может превышать  $Z_{\text{max}} \approx 120$ , и что именно спонтанное деление будет определять границы периодической системы элементов.

Ряд экспериментальных данных не находил объяснения в рамках модели жидкой капли. Так, например, не удавалось объяснить существования спонтанно делящихся изомеров, многие изотопы имели "аномально" повышенные времена жизни и т.д.

Значительный прогресс в понимании свойств тяжелых ядер был достигнут после разработки Струтинским<sup>\*/</sup> нового метода вычисления оболочечной поправки. Многие авторы выполняли расчеты потенциальных поверхностей трансфермиевых изотопов. Было показано, что следующие за  $Z = 82$  и  $N = 126$  нуклонные оболочки должны заполняться при  $Z \sim 114$  и  $N \sim 184$ . Оценки показывали, что времена жизни таких ядер могут превышать  $10^{10}$  лет. Вместе с тем, отмечалось, что неопределенность в предсказаниях периодов полураспада может составлять  $10^{\pm 10}$ .

Ядра с временами жизни, меньшими  $10^5 - 10^6$  лет, могут быть изучены только при их искусственном синтезе. К настоящему времени как для реакций полного слияния, так и для реакций глубоконеупругих передач удалось установить лишь верхний предел поперечного сечения образования СТЭ  $\sigma < 10^{-34}$  см.<sup>2</sup>

В случае, если времена жизни СТЭ превышают  $10^5 - 10^6$  лет, является возможность их обнаружения в природных объектах. Однако для этого необходимо существование в природе процессов, приводящих к образованию таких элементов. Наиболее обоснованным представляется синтез СТЭ при вспышках сверхновых звезд.

Эксперименты по поиску сверхтяжелых элементов в природе начались более десяти лет назад. По-видимому, указанием на присутствие СТЭ в составе нуклонной компоненты космического излучения является обнаружение специфических треков в некоторых кристаллах из метеоритов.

При поиске СТЭ в земных образцах применялись различные высокочувствительные методы (исследование треков осколков деления в древних кристаллах, различные виды активационного анализа, исследование изотопного состава образцов, изучение изотопных аномалий, исследование аномальных  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -активностей и т.д.).

<sup>\*/</sup> Струтинский В.М. ЯФ, 1966, т.3, №4, с. 614-625.

В этой главе обосновывается возможность поиска СТЭ по их спонтанному делению /1/.

В заключении главы делается вывод о том, что актуальность проблемы существования сверхтяжелых элементов и возможность получения принципиально важной для целого ряда наук информации делают необходимыми дальнейшие попытки поисков таких элементов в природе, и что повышение чувствительности экспериментов может быть обеспечено совершенствованием метода детектирования спонтанного деления.

В главе II сформулированы основные требования к методу детектирования спонтанного деления при поисках СТЭ в природных объектах. Показано, что наиболее полно поставленным требованиям удовлетворяет метод, основанный на детектировании множественной эмиссии нейтронов из образцов /1/.

Применение этого метода основано на том, что при делении ядер испускается, как правило, более одного нейтрона. Акты регистрации совпадений двух и более нейтронов могут служить для детектирования деления. При этом удается исключить фон, связанный с  $\alpha$ -радиоактивными загрязнениями, реакциями  $(\alpha, n)$ ,  $(\gamma, n)$ .

Параметры распределения по множественности нейтронов при спонтанном делении СТЭ неизвестны. Теоретические оценки среднего числа нейтронов  $\bar{\nu}$  покрывают широкий диапазон  $2 \leq \bar{\nu} \leq 14$ . Это обстоятельство было учтено при разработке детектора нейтронов.

Значительные преимущества в экспериментах по поиску СТЭ в природных образцах представляют детекторы нейтронов на базе пропорциональных счетчиков с  $^3\text{He}$  /1/. Такие детекторы в течение ряда лет разрабатывались в Лаборатории ядерных реакций. Данные о некоторых детекторах приводятся в таблице I.

Таблица I

Число счетчиков	$\epsilon$	Объем образца дм <sup>3</sup>
14	0,26	10
28	0,38	10
38	0,36	22
54	0,58	6
68	0,73	0,2

Отбор событий спонтанного деления осуществлялся специальной электронной схемой /2/. Выбранная система отбора событий позволяла фиксировать следующие данные: полное число нейтронов в выбранном

временном интервале, времена поступления импульсов от нейтронов, амплитуды импульсов, номера усилительных трактов, по которым поступали импульсы, число таких трактов и астрономическое время регистрации события.

Эффективность регистрации одиночных нейтронов  $\epsilon$  определялась при помощи препаратов  $^{238}\text{U}$ ,  $^{242}\text{Pu}$  и  $^{252}\text{Cf}$  как методом детектирования совпадений нейтронов и осколков деления, так и по отношениям чисел двойных  $N_2$  и тройных  $N_3$  совпадений нейтронов.

Предложенный метод детектирования спонтанного деления позволяет не только констатировать наличие или отсутствие активности, но дает также информацию о статистических характеристиках распределения нейтронов по множественности. Мы применяли для оценки этих характеристик метод наибольшего правдоподобия. Были исследованы зависимости функции правдоподобия от эффективности регистрации нейтронов и полного числа зарегистрированных событий.

Во второй главе также рассматриваются различные источники фона при регистрации предложенным способом редких событий спонтанного деления. Рассматривались следующие источники фона /1/.

- 1) Фон аппаратуры, связанный с электромагнитными наводками, микрофонным эффектом, помехами и утечками в высоковольтных цепях.
- 2) Фон от радиоактивных загрязнений деталей установки и стен помещений.
- 3) Фон, связанный с взаимодействием космических частиц с материалом образца и деталями установки.

Влияние указанных выше источников фона проверялось при проведении измерений без образцов и с образцами, не содержащими спонтанно делящихся примесей. Для снижения фона от космических лучей установка закрывалась сборкой из счетчиков Гейгера-Мюллера. Данные о некоторых фоновых измерениях приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Глубина м.в.э.	Образец	Вес (кг)	Время измерения (час)	Число событий с кратностью $n \geq 2$
320	Hg	35	280	14
	W	26	520	26
	Al	11	225	2
1100	Pb	150	130	0
	$\text{SiO}_2 + \text{MnO}_2$	10	1500	0
	фон	0	7500	0

Все рабочие измерения выполнялись на глубине 1100 м.в.э.

4) Особого внимания требует учет вклада спонтанного деления урана и трансурановых элементов.

Источником загрязнения образцов трансурановыми изотопами могут служить испытания ядерного оружия в атмосфере и утечка материала мишеней, приготовленных из трансурановых изотопов. Как показали анализы, загрязненность образцов такими изотопами может быть определена путем измерения  $\alpha$  - активностей. Наиболее труднообнаружимым является  $^{252}\text{Cf}$ , для которого  $T_{1/2\text{sf}}/T_{1/2\alpha} = 32,7$ . Опасной оказывается примесь нескольких атомов калифорния в грамме образца. Это обстоятельство учитывалось при проведении экспериментов.

В отличие от трансурановых изотопов, уран является обязательной составной частью всех природных образцов.

Глава III посвящена изучению характеристик спонтанного деления урана -238.

При поисках редких актов деления с помощью детекторов нейтронов при проведении измерений на большой глубине под землей спонтанное деление примеси урана становится основным источником фона. Для оценки вклада урана в наблюдаемую активность необходимы данные о его содержании в образцах, периоде спонтанного деления и характеристиках распределения по множественности нейтронов, испускаемых ураном при спонтанном делении.

Нами для определения вероятностей испускания различных чисел нейтронов  $P_{\nu}$ , дисперсии распределения по множественности  $b_{\nu}^2$ , параметра формы спектра  $\Gamma_2$  и уточнения среднего числа нейтронов  $\bar{\nu}$  был выбран метод регистрации совпадений осколков и нейтронов деления /3/.

Уран наносился на электроды ионизационной камеры, которая помещалась внутри чувствительного объема детектора нейтронов. В качестве эталона использовался  $^{242}\text{Pu}$ . В таблице 3 приводятся результаты измерения множественности нейтронов при спонтанном делении урана.

Таблица 3

$N_f$	$E$	Число событий с кратностью					
		$n=0$	$n=1$	$n=2$	$n=3$	$n=4$	$n=5$
4750	$0,216 \pm 0,005$	3029	1400	294	27	0	0
8800	$0,264 \pm 0,002$	5113	2907	702	75	3	0
42682	$0,383 \pm 0,002$	18209	17522	5945	906	93	7

Величины  $\bar{\nu}$ ,  $b_{\nu}^2$  и  $\Gamma_2$  оценивались непосредственно по результатам измерений. Данные таблицы 3 позволяют определить величину  $\bar{\nu} = 1,99 \pm 0,03$ .

После усреднения результатов, полученных в трех сериях измерений, для величины  $\Gamma_2$  было получено значение  $\Gamma_2 = 0,75 \pm 0,01$ . По найденным значениям  $\bar{\nu}$  и  $\Gamma_2$  определялась величина

$$b_{\nu}^2 = 1,00 \pm 0,06.$$

Вероятности испускания чисел нейтронов вычислялись из уравнений, связывающих  $P_{\nu}$  и  $F_n$ . Для решения этой системы уравнений применялся метод наименьших квадратов. Вычисленные значения приведены в таблице 4.

Таблица 4

$P_0$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
$0,052 \pm 0,010$	$0,277 \pm 0,030$	$0,366 \pm 0,035$	$0,247 \pm 0,030$	$0,050 \pm 0,010$	$0,008 \pm 0,003$

На основании метода детектирования деления по актам множественной эмиссии нейтронов нами был предложен новый способ определения константы спонтанного деления /4/. Этот способ был применен при измерении константы, характеризующей спонтанное деление  $^{238}\text{U}$  /5/.

Для определения скорости счета актов деления описанным выше способом, измерялась скорость счета кратных совпадений нейтронов и определялась эффективность регистрации таких совпадений  $F_g$ .

Измерения проводились с тонкой пластиной металлического урана. Содержание изотопа  $^{238}\text{U}$  составляло  $P = (945,0 \pm 0,3)$  г. Скорость счета совпадений нейтронов с кратностью  $n \geq 2$  составила  $N_n = (0,972 \pm 0,003)$  I/c.

Величина  $F_g$  определялась на основании данных, помещенных в таблице 3. При измерениях совпадений осколков деления с нейтронами было зарегистрировано 42682 акта деления и 6951 совпадение осколков с двумя и более нейтронами, откуда для величины  $F_g$  было получено значение  $F_g = 0,163 \pm 0,002$ .

Проводился анализ различных источников погрешностей. Число спонтанных делений в одном грамме урана было оценено

$$\Delta N = \frac{N_n}{F_g P} = (6,31 \pm 0,25) \cdot 10^{-3} \text{ c}^{-1}\text{г}^{-1},$$

откуда для периода полураспада  $^{238}\text{U}$  относительно спонтанного деления было получено значение  $T_{1/2} = (8,8 \pm 0,4) \cdot 10^{15}$  лет. Это значение в пределах погрешностей согласуется с данными ряда других авторов.

Предложенный метод определения константы спонтанного деления может найти применение при изучении изотопов, основным видом распада которых является  $\alpha$ -распад.

Полученные данные о множестве нейтронов деления и имеющиеся данные о периоде полураспада урана относительно спонтанного деления позволили оценить предельную чувствительность обнаружения СТЭ методом регистрации множественной эмиссии нейтронов. Оценки выполнялись в предположении, что при спонтанном делении СТЭ величина

$\bar{\nu} > 2$  и  $T_{1/2} = 10^9$  лет. Было показано, что минимально обнаруживаемая концентрация СТЭ составляет  $10^{-15}$  г/г. При концентрации урана в образцах  $5 \cdot 10^{-8}$  г/г предельная чувствительность обнаружения СТЭ определяется не фоном от деления урана, а разумной длительностью измерений.

В главе IV описываются некоторые эксперименты по поиску сверхтяжелых элементов в природных образцах.

При выборе объектов для поисков СТЭ учитывались результаты предсказаний химических и физических свойств новых элементов.

На начальной стадии экспериментов нами было уделено внимание изучению руд и минералов с возможно более разнообразным составом. Поиски редких актов деления проводились в образцах сульфидных руд /6/ алюмосиликатах, обогащенных щелочными металлами, возгонах каменного литья и возгонах высокотемпературных фумарол Ключевской сопки, в образцах железо-марганцевых конкреций /7/ и т.д.

В большинстве изученных образцов не было обнаружено какой-либо избыточной активности. Эти эксперименты позволили оценить предельную концентрацию СТЭ в изученных образцах на уровне  $C_{\text{СТЭ}} < 10^{-13}$  г/г. Предпринимались попытки обогащения гипотетических СТЭ различными методами (механическое разделение руд на минеральные фракции, гидрометаллургические, электрохимические и хроматографические методы и т.д.). Если предполагать, что при химической переработке обогащение элементов с  $Z = 112 - 115$  было таким же, как и их легких аналогов, то для изученных образцов можно указать предельные содержания экартути и экаталлия -  $2 \cdot 10^{-15}$  г/г, экаспинца -  $5 \cdot 10^{-16}$  г/г, экависмута -  $2,5 \cdot 10^{-16}$  г/г.

Значительный интерес для поисков СТЭ представляют некоторые

метеориты типа хондритов /8/, относящиеся по современным представлениям к наименее дифференцированным объектам Солнечной системы.

Нами для проведения измерений были отобраны образцы метеоритов Саратов, Ефремовка и Алленде. Результаты измерений приведены в таблице 5 /9/.

Таблица 5.

Наименование образца	Содержание урана г/г	Вес кг	E	Время измер. сут.	Число событий с кратностью		
					n=2	n=3	n=4
Саратов	$3 \cdot 10^{-9}$	5,2	0,22	94	4	1	0
Алленде	$1,6 \cdot 10^{-8}$	3,9	0,22	40	3	0	0
Алленде	$1,6 \cdot 10^{-8}$	22,5	0,12	55	10	1	0
Алленде	$1,6 \cdot 10^{-8}$	10,5	0,30	45	5	2	1
Ефремовка	$4 \cdot 10^{-8}$	11,7	0,12	105	14	1	0
Фон	-	-	0,22	200	0	0	0
Свинец	$5 \cdot 10^{-9}$	150	0,30	5	0	0	0
Аналог (SiO <sub>2</sub> +MnO <sub>2</sub> )	$< 10^{-9}$	10	0,30	70	0	0	0
Фон	-	-	0,30	50	0	0	0

Низкое содержание урана в образцах позволило реализовать максимальную чувствительность метода. Во всех образцах метеоритов был наблюден эффект множественной эмиссии нейтронов. Дальнейшие усилия были направлены на выяснение связей обнаруженного эффекта с тривиальными источниками фона.

Различными методами проводилось определение содержания урана в большом количестве проб метеоритов и в представительной пробе метеорита Алленде. Для оценки возможной примеси трансурановых изотопов проводилось изучение  $\alpha$ -активностей проб. На детекторах нейтронов для учета возможных взаимодействий космического излучения с материалом образцов проводились дополнительные измерения со свинцовыми блоками и аналогом метеоритного вещества, составленным из особо чистых химических реактивов (табл. 5).

Анализ полученных результатов показал, что тривиальные источники фона не могут объяснить обнаруженный эффект множественной эмиссии нейтронов и для его объяснения представляется допустимым предположение о присутствии в изученных образцах метеоритов долгоживущего спонтанно делящегося нуклида, возможно, относящегося к области

СТЭ с Z-II4. Оценки показывают, что концентрация этого излучателя составляет  $3 \cdot 10^{-15} - 3 \cdot 10^{-14}$  г/г.

В главе У обсуждаются полученные результаты.

Для проверки полученных данных и идентификации неизвестного нуклида необходимо дальнейшее изучение метеоритов.

Присутствие излучателя могло бы быть обнаружено по трекам осколков деления в кристаллах, входящих в метеоритное вещество. Оценки показывают, что плотность таких треков должна была бы составлять  $10^5 - 10^7$  см<sup>-2</sup>. Однако поиск подходящих кристаллов представляет непростую задачу, так как метеоритное вещество отличается высокой неоднородностью. Некоторым авторам удавалось находить в метеорите Алленде кристаллы с "избыточной" плотностью треков. Однако чувствительность выполненных экспериментов пока недостаточна для решения вопроса о природе таких треков.

Предпринимались также попытки обнаружить спонтанное деление СТЭ по аномалиям в распределениях различных изотопов, особенно <sup>136</sup>Xe. Многие данные свидетельствуют о сложной природе состава благородных газов в метеорите. И, хотя нельзя полностью исключить, что распад СТЭ внес вклад в изотопные аномалии, установить величину такого вклада в настоящее время не представляется возможным.

Подтверждением предположения о связи наблюдавшейся нами множественной эмиссии нейтронов со спонтанным делением неизвестного долгоживущего нуклида могут служить результаты экспериментов Зваря, Флерова и др. <sup>\*/</sup> по концентрированию излучателя из метеорита Алленде. Трудности таких экспериментов в значительной мере могут быть объяснены отсутствием возможностей контроля за поведением СТЭ в процессе переработки и уникальностью образцов.

По-видимому, дальнейшее продвижение в изучении свойств неизвестного нуклида, возможно, содержащегося в метеоритах, без обнаружения аналогичного нуклида в земных образцах малореально.

Основное внимание исследовательских групп было направлено на поиски СТЭ в различных земных породах, рудах, минералах или в продуктах их переработки. Пока не удалось обнаружить образцы с заметным ( $10^{-11} - 10^{-12}$  г/г) содержанием СТЭ. Однако поиск таких образцов целесообразно продолжить.

Значительный интерес представляют также объекты, связанные с выносом вещества из глубинных слабо дифференцированных областей Земли. Указанием на присутствие СТЭ в земных образцах является наблюдение спонтанного деления в продуктах переработки материалов Челекенских

Гидротермальных источников.

<sup>\*/</sup> Звара И.И., Флеров Г.Н. и др. ЯФ, 1977, т. 26, №3, с. 455-460.

Задача выделения нового излучателя из сотен тонн образцов представляется хотя и трудной, но вполне разрешимой. Ее решение позволило бы определить характеристики неизвестного излучателя с помощью селективных физических методов.

Основные результаты работы можно сформулировать следующим образом:

- 1) Разработан новый метод детектирования и исследования редких событий спонтанного деления, основанный на регистрации актов множественной эмиссии нейтронов из образцов.
- 2) Разработаны детекторы нейтронов на базе пропорциональных геллий-3 счетчиков с эффективностью регистрации одиночных нейтронов до 0,7, позволяющие детектировать спонтанное деление с чувствительностью ~1 акт деления в 15-20 суток в образцах весом до 100 килограммов и пригодные для поисков сверхтяжелых элементов при концентрациях  $< 10^{-15}$  г/г.
- 3) Измерены вероятности эмиссии различных чисел нейтронов при спонтанном делении урана - 238.
- 4) Предложен новый способ определения константы спонтанного деления атомных ядер и проведено определение этой константы при спонтанном делении урана-238.
- 5) В некоторых примитивных метеоритах обнаружен эффект множественной эмиссии нейтронов, который не может быть объяснен известными источниками фона, и высказано предположение о связи этой активности со спонтанным делением одного из изотопов сверхтяжелых элементов с Z-II4.

Результаты, представленные в диссертации, опубликованы в следующих работах:

- 1) Флеров Г.Н., Тер-Акопьян Г.М., Скобелев Н.К., Попеко А.Г., Иванов М.П. Эксперименты по поиску в природе спонтанно делящихся нуклидов сверхтяжелых элементов - Яд. физ., 1974, т.20, № 9, с. 472-482.
- 2) Тер-Акопьян Г.М., Попеко А.Г., Сокол Е.А., Челноков Л.П., Смирнов В.И., Горшков В.А. Нейтронный детектор для регистрации редких актов спонтанного деления. - Дубна, 1981. - 11с. (Препринт / Объединенный институт ядерных исследований: П13-81-18).

- 3) Попеко А.Г., Смирнов В.И., Тер-Акопян Г.М., Фефилов Б.В., Челноков Л.П. Множественность мгновенных нейтронов при спонтанном делении - Яд. физ. 1976, т. 26, № 3, с. 473-476.
- 4) Попеко А.Г., Тер-Акопян Г.М. Способ определения константы спонтанного деления атомных ядер - Авт.свид. №728103 (СССР, 15.04.1980), - Бюллетень ОИПОТЗ, 1980, т. 14, с. 225.
- 5) Popoko A.G., Ter-Akopian G.M., Measurement of the  $^{238}\text{U}$  spontaneous fission half-life by detecting prompt neutrons - Nucl. Instr. & Meth. 1980, v.178, N 1, p. 163-167.
- 6) Флеров Г.Н., Тер-Акопян Г.М., Гецкий Л.С., Гончаров Г.Н., Попеко А.Г., Скобелев Н.К., Гвоздев Б.А., Цыб П.П. Поиск тяжелого аналога свинца в свинцовых рудах и минералах - Яд. физ. 1974, т. 20, № 4, с. 639-644.
- 7) Флеров Г.Н., Выропаев В.Я., Гецкий Л.С., Попеко А.Г., Скобелев Н.К., Тер-Акопян Г.М., Цыб П.П. Поиск сверхтяжелых элементов в железо-марганцевых конкрециях - Яд. физ. 1975, т. 21, № 1, с. 9-13.
- 8) Popoko A.G., Ter-Akopian G.M., Skobelev N.K., Gontsharov G.N. Search for superheavy elements in meteorites.- Phys. Lett., 1974, v.52B, N 4, p. 417-421.
- 9) Флеров Г.Н., Тер-Акопян Г.М., Попеко А.Г., Фефилов Б.В., Субботин В.Г. Обнаружение нового спонтанно делящегося нуклида в некоторых метеоритах. Яд. физ. 1977, т. 26, № 3, с. 449-456.

Рукопись поступила в издательский отдел  
18 марта 1982 года.