



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ**

ИФВЭ 2009–12  
ОРИ

В.Е. Бородин, О.В. Зятков, Г.И. Крупный, Л.П. Обращикова,  
В.Н. Пелешко, Я.Н. Расцветалов, Ю.С. Федотов

**Наведённая радиоактивность конструкционных материалов  
при развитии межъядерного каскада, инициированного  
протонами энергией 50 ГэВ**

Направлено в АЭ

Протвино 2009

**Аннотация**

Бородин В.Е. и др. Наведённая радиоактивность конструкционных материалов при развитии межъядерного каскада, инициированного протонами энергией 50 ГэВ: Препринт ИФВЭ 2009–12. – Протвино, 2009. – 15 с., 22 рис., 10 табл., библиогр.: 4.

Описана установка для изучения наведенной радиоактивности конструкционных материалов под действием высокоэнергетических протонов. Приведены экспериментальные данные по нуклидному составу и распадным кривым наведенной радиоактивности в 9 видах конструкционных материалов. Полученные данные важны в задачах обеспечения радиационной безопасности на ускорителях протонов, а также могут использоваться как реперные данные для верификации соответствующих расчетных кодов.

**Abstract**

Borodin V.E. et al. Induced Radioactivity of Constructive Materials at Condition of Intranuclear Cascade in Matter Initiated by 50 GeV Protons: IHEP Preprint 2009–12. – Protvino, 2009. – p. 15, figs. 22, tables 10, refs.: 4.

The set-up for constructional materials induced radioactivity study under high energy protons is described. The experimental data on radionuclides content and decay curves for 9 constructional materials types are given. Data obtained are important for radiation safety on proton accelerators and so could be used as a reference data for relevant calculation codes benchmarking.

## **Введение**

При решении задач обеспечения радиационной безопасности на высокоэнергетических ускорителях протонов возникает потребность в прогнозных оценках уровней наведенной радиоактивности, радионуклидного состава и времени выдержки конструкционных материалов и оборудования, подвергающихся воздействию пучков протонов. При этом нужно учитывать, что с увеличением толщины исследуемого материала вдоль направления прохождения пучка в нем развивается каскад вторичных частиц (см., например, [1]) и, следовательно, изменяется компонентный состав, пространственные и энергетические распределения частиц, ответственных за наведенную радиоактивность материала. Экспериментальные данные по нуклидному составу наведенной радиоактивности конструкционных материалов в таких условиях могут играть роль реперных данных для верификации соответствующих расчетных кодов. В качестве среды для формирования межъядерного каскада под действием высокоэнергетических протонов был выбран свинец.

## **Установка**

Установка для моделирования условий развития межъядерного каскада в веществе под действием высокоэнергетических протонов показана на рис. 1. Она состоит из свинцового основания толщиной 100 мм размером 200x600 мм<sup>2</sup> и вертикально установленных на нем 9 свинцовых блоков толщиной 50 мм размером 100x200 мм<sup>2</sup> с воздушными промежутками между ними (10 мм) для размещения образцов конструкционных материалов (КМ). Ось пучка протонов параллельна свинцовому основанию и проходит на 10 мм выше его плоскости. Вдоль этого направления в промежутках между свинцовыми блоками размещаются образцы КМ. Суммарная толщина свинца вдоль оси пучка – 450 мм.

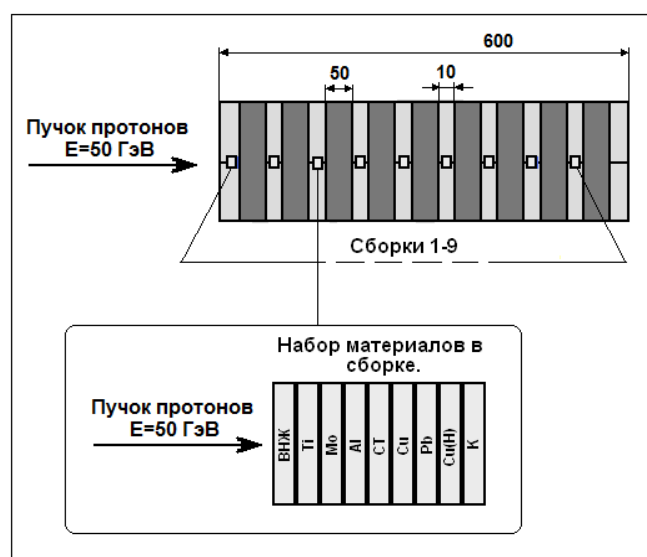


Рис. 1. Схема установки по облучению сборок с образцами КМ (вид сверху).

Исследовались 9 видов конструкционных материалов. Образцы КМ: ВНЖ (сплав вольфрама, никеля и железа), титан, молибден, АМГ (алюминиевый сплав), сталь 20, медь, свинец, медь нагартованная и уран-238 были изготовлены в виде дисков диаметром 20 мм и толщиной 1 мм. Подготовлено к проведению эксперимента 9 сборок, состоящих из 9 образцов каждого вида КМ.

Номер сборки соответствовал номеру экспериментального места (зазора) в установке. Сборка 1 находилась на лицевой стороне первого свинцового блока. Перед ней помещалась мониторинговая алюминиевая фольга толщиной 200 микрон и диаметром 20 мм.

Поскольку в число КМ включен уран, необходимо знать нуклидный состав и степень радиоактивности образцов этого материала до облучения.

Активности урана-234 и урана-235 до облучения определены на полупроводниковом гамма-спектрометре с кристаллом из особо чистого германия [2]. В полученном амплитудном спектре идентифицированы и обработаны линия 186 кэВ, принадлежащая  $^{235}\text{U}$ , а также линия 1001 кэВ, принадлежащая  $^{234}\text{Pa}$ . Этот нуклид с периодом полураспада 6,7 часа переходит ( $\beta$ -распад) в уран-234. Активности [А] в единицах Бк/г для всех образцов одинаковы в пределах погрешностей измерений ( $\sim 5\%$ ), поэтому в табл. 1 приведены данные для одного образца.

На основании данных табл. 1 доли ядер урана-235 и урана-234 в образцах урана до облучения составили 0,13% и 0,052% соответственно. По литературным данным [3] в природном (естественном) уране эти доли равны 0,14% и 0,057% соответственно. Собственные гамма-линии  $^{238}\text{U}$  с энергиями 49,55 кэВ и 113,5 кэВ, дающие незначительный вклад в суммарную активность, не определялись.

Таблица 1. Исходные данные для образца урана до облучения.

Образец	Масса, г	Контактная мощность $\gamma$ -дозы, мкЗв/ч	$^{235}\text{U}$		$^{234}\text{Pa} \Rightarrow ^{234}\text{U}$		Число ядер в образце $N_{act}$	
			A, Бк	[A], Бк/г	A, Бк	[A], Бк/г	$^{235}\text{U}$ $\cdot 10^{19}$	$^{234}\text{U}$ $\cdot 10^{17}$
U	5,637	0,92	556 $\pm 5\%$	99	65619 $\pm 5\%$	11600	1,78	7,33

## Мониторирование

До начала облучения образцов КМ была проведена настройка устройств быстрого вывода пучка ускоренных до 50 ГэВ протонов таким образом, чтобы он попал в центр сборок КМ, т.е. проходил на высоте 10 мм от поверхности свинцовой платформы. Диаметр выводимого пучка равнялся 1 мм.

Наведение пучка контролировалось с помощью телекамеры по свечению сцинтиллятора размером 10x10x10 мм<sup>3</sup>, установленного в том месте, где затем размещалась сборка 1. Перед облучением образцов сцинтиллятор был удален.

Для определения числа выведенных на установку протонов по реакции  $^{27}\text{Al} (p, spall) ^7\text{Be}$  [4] использовалась алюминиевая фольга.

## Облучение

Облучение образцов КМ выполнено на выведенном пучке протонов энергией 50 ГэВ ускорительного комплекса ГНЦ ИФВЭ (У-70). Длительность облучения – 1 минута. В результате обработки алюминиевой фольги на полупроводниковом спектрометре определено число протонов, прошедших через установку, –  $(1,4 \pm 0,1) \cdot 10^{13}$ . Погрешность определения активности  $^7\text{Be}$  – 6%, погрешность сечения образования  $^7\text{Be}$  ( $\sigma = 8$  мбарн) в реакции  $^{27}\text{Al} (p, spall) ^7\text{Be}$ , по нашим данным, ~10%.

## Нуклидный состав

Активности образуемых после облучения радионуклидов в образцах также измерены на полупроводниковом спектрометре. Ввиду достаточно длительного набора статистики (1 – 1,5 ч) для измерений нуклидного состава была взята только сборка с максимальными уровнями наведенной радиоактивности – сборка 3. В качестве примера на рис. 2 показан аппаратурный спектр облученного образца из свинца через 173 суток после конца облучения.

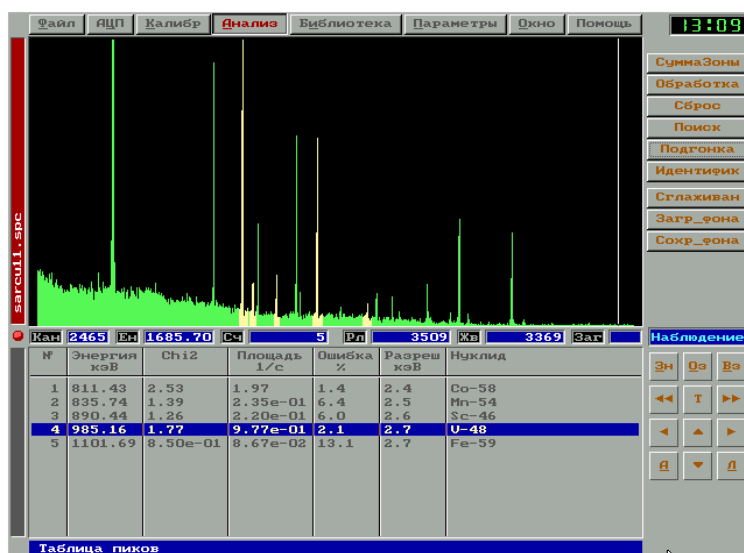


Рис. 2. Аппаратурный спектр гамма-радионуклидов свинца, облученного в сборке 3. Время выдержки 173 суток.

Данные об удельной активности образующихся после облучения долгоживущих радионуклидов (период полураспада более суток) в исследуемых образцах сборки 3 на конец облучения приведены в табл. 2 – 9.

### **Пространственно-временные зависимости уровней наведенной активности образцов в сборках 1 – 9**

Для относительных измерений наведенной активности образцов был использован сцинтилляционный радиометр (кристалл NaJ(Tl)) из состава прибора РГГ-01Т. Эффективность регистрации гамма-квантов оценивалась с помощью набора образцовых источников ОСГИ. Результаты измерений приведены в табл. 10.

Таблица 10. Эффективность регистрации гамма-квантов.

Радионуклид	<sup>22</sup> Na	<sup>60</sup> Co	<sup>133</sup> Ba	<sup>137</sup> Cs	<sup>152</sup> Eu
Эффективность регистрации, %	4,8	4,0	4,9	5,2	4,4

Градуировочные источники и образцы с наведенной активностью помещались по центру кристалла на расстоянии 20 мм от его поверхности и от каждого из них регистрировались соответствующие скорости счета. Переход от скорости счета к флюенсу гамма-квантов в первом приближении (без учета различий в спектрах образцовых источников и спектров наведенной активности в образцах) можно осуществить с помощью среднего значения эффективности регистрации гамма-квантов (4,7%).

Дозиметрическая привязка на том же расстоянии (20 мм) с помощью компаратора-дозиметра ДРБП-03 дает усредненный по всем образцам коэффициент перехода от скорости счета к мощности дозы –  $1,3 \cdot 10^{-3}$  (мкЗв/ч)/имп/с.

Продольная зависимость (вдоль оси установки) скорости счёта для всех видов образцов показана на рис. 3 – 11. Характерной особенностью представленных данных является наличие максимума наведенной радиоактивности для всех образцов КМ на глубине 12 см свинца.

Зависимость изменения скорости счёта (кривые распада) в образцах приведены на рис. 12 – 20. Для всех образцов КМ наблюдается достаточно резкий спад суммарной наведенной активности в первые 30 суток и более плавное уменьшение активности в последующее время. Наименее активными, как и следовало ожидать, оказались образцы из АМГ.

Зависимость изменения скорости счёта (кривые распада) для всех образцов в сборке 3 показаны на рис. 21 – 22.

Представленные здесь данные показывают вариации уровней наведенной активности для различных образцов КМ.

### **Заключение**

В данной работе в одних и тех же условиях получен обширный материал по характеристикам наведенной радиоактивности различных видов конструкционных материалов КМ при развитии межъядерного каскада в свинце, инициированного пучком протонов энергией 50 ГэВ.

Результаты эксперимента могут быть использованы при решении задач радиационной защиты и обеспечения радиационной безопасности на высокоэнергетических протонных ускорителях.

Полученные экспериментальные результаты и, прежде всего, данные по радионуклидному составу наведенной радиоактивности в образцах КМ могут являться реперными для верификации соответствующих расчетных кодов.

Руководствуясь полученными экспериментальными данными по изотопному составу и периоду полураспада образуемых долгоживущих радионуклидов после облучения конструкционных материалов протонным пучком, можно систематизировать образуемые РВ и РАО и решать оперативные вопросы по организации временного хранения и выдержки РВ и РАО.

Авторы выражают благодарность Ю.В. Белецкой и А.М. Мамаеву за помощь в обчете экспонированных образцов.

### Список литературы

- [1] А.И. Волынчиков, В.Б. Гетманов, Г.И. Крупный и др. Препринт ИФВЭ 83-86. – Серпухов, 1983.
- [2] Г.И. Крупный, Г.Н. Стеценко, А.А. Янович. Препринт ИФВЭ 2000-30. – Протвино, 2000.
- [3] К. Бекурц, К. Виртц. Нейтронная физика. – М.: Атомиздат, 1968.
- [4] Г.И. Крупный, Д.В. Снитко, А.А. Янович. Препринт ИФВЭ 2000-13. – Протвино, 2000.

*Рукопись поступила 30 июня 2009 г.*

Таблица 2. Образец: ВНЖ, m=4,489 г

Радионуклид	Период полураспада, сутки	Энергия $\gamma$ -кванта, кэВ	Выход $\gamma$ -квантов, отн. единицы	Удельная активность, Бк/г	Погрешность, $\pm\%$
Sc-46	83,83	889,2	$1,00 \cdot 10^0$	9,4	11
Mn-54	312,5	834,8	$1,00 \cdot 10^0$	6,2	10
Fe-59	44,529	1099	$5,61 \cdot 10^{-1}$	14,3	6
Co-56	78,76	846,8	$9,99 \cdot 10^{-1}$	10,5	12
Co-58	70,8	810,8	$9,94 \cdot 10^{-1}$	60,0	5
Y-88	106,64	898,0	$9,34 \cdot 10^{-1}$	6,5	11
Zr-88	83,4	392,9	$1,00 \cdot 10^0$	13,0	7
Tc-95m	61,0	204,1	$6,32 \cdot 10^{-1}$	23,6	9
Te-121	17,0	573,1	$8,03 \cdot 10^{-1}$	103,4	20
Gd-146	48,3	633,2	$4,80 \cdot 10^{-1}$	90,7	5
Yb-169	32,01	198,0	$3,59 \cdot 10^{-1}$	272,9	5
Lu-173	500,05	272,0	$1,30 \cdot 10^{-1}$	44,3	9
Hf-175	70,0	343,4	$8,69 \cdot 10^{-1}$	260,9	4
Hf-181	42,4	482,0	$8,60 \cdot 10^{-1}$	13,6	17
Ta-182	115	1231	$1,16 \cdot 10^{-1}$	51,7	13
Re-184	38,0	792,1	$3,75 \cdot 10^{-1}$	36,1	10
Re-184m	165,0	161,3	$6,64 \cdot 10^{-2}$	98,0	12

Таблица 3. Образец: титан, m=1,407 г

Радионуклид	Период полураспада, сутки	Энергия $\gamma$ -кванта, кэВ	Выход $\gamma$ -квантов, отн. единицы	Удельная активность, Бк/г	Погрешность, $\pm\%$
K-43	0,942	617,5	$8,05 \cdot 10^{-1}$	$7,1 \cdot 10^3$	16
Sc-44m	2,44	271,2	$8,66 \cdot 10^{-1}$	$4,0 \cdot 10^3$	5
Sc-46	83,83	889,2	$1,00 \cdot 10^0$	$7,2 \cdot 10^2$	9
Sc-47	3,351	159,4	$6,80 \cdot 10^{-1}$	$1,7 \cdot 10^4$	4
Sc-48	1,82	983,5	$1,00 \cdot 10^0$	$7,2 \cdot 10^3$	6

Таблица 4. Образец: молибден, m=2,969 г

Радионуклид	Период полураспада, сутки	Энергия $\gamma$ -кванта, кэВ	Выход $\gamma$ -квантов, отн. единицы	Удельная активность, Бк/г	Погрешность, $\pm\%$
V-48	16,238	983,5	$1,00 \cdot 10^0$	64	9
Mn-54	312,5	834,8	$1,00 \cdot 10^0$	81	8
Co-56	78,76	846,8	$9,99 \cdot 10^{-1}$	109	5
Co-58	70,8	810,8	$9,94 \cdot 10^{-1}$	119	7
As-71	2,7	174,9	$9,11 \cdot 10^{-1}$	1325	6
As-74	17,76	595,8	$5,92 \cdot 10^{-1}$	88	10
Se-75	119,8	264,7	$5,94 \cdot 10^{-1}$	61	12
Rb-83	86,2	520,3	$4,61 \cdot 10^{-1}$	191	8
Rb-84	32,77	881,5	$7,10 \cdot 10^{-1}$	63	7
Sr-85	64,84	514,0	$9,80 \cdot 10^{-1}$	407	11
Y-87	3,346	484,0	$9,22 \cdot 10^{-1}$	8050	4



Y-88	106,64	898,0	$9,34 \cdot 10^{-1}$	86	5
Zr-88	83,4	392,9	$1,00 \cdot 10^0$	266	4
Zr-89	3,268	909,2	$9,99 \cdot 10^{-1}$	9296	4
Nb-92m	10,15	934,5	$9,92 \cdot 10^{-1}$	946	4
Nb-95m	3,61	234,7	$2,59 \cdot 10^{-1}$	903	13
Nb-95	35,15	765,8	$1,00 \cdot 10^0$	428	4

Таблица 5. Образец: алюминий (АМГ), m=0,836 г

Радионуклид	Период полураспада, сутки	Энергия $\gamma$ -кванта, кэВ	Выход $\gamma$ -квантов, отн. единицы	Удельная активность, Бк/г	Погрешность, $\pm\%$
Be-7	53,3	477,6	$1,03 \cdot 10^{-1}$	286	4
Na-22	949,73	1275,0	$9,99 \cdot 10^{-1}$	29	4
Mn-54	312,5	834,8	$1,00 \cdot 10^0$	5,4	5

Таблица 6. Образец: Ст.20, m=2,421 г

Радионуклид	Период полураспада, сутки	Энергия $\gamma$ -кванта, кэВ	Выход $\gamma$ -квантов, отн. единицы	Удельная активность, Бк/г	Погрешность, $\pm\%$
Sc-44m	2,442	271,2	$8,66 \cdot 10^{-1}$	2287	5
Sc-46	83,83	889,2	$1,00 \cdot 10^0$	132	21
Sc-47	3,351	159,4	$6,80 \cdot 10^{-1}$	836	8
V-48	16,238	983,5	$1,00 \cdot 10^0$	1074	5
Cr-51	27,704	320,1	$9,83 \cdot 10^{-2}$	1475	16
Mn-52	5,591	744,2	$9,00 \cdot 10^{-1}$	2111	5
Mn-54	312,5	834,8	$1,00 \cdot 10^0$	250	11

Таблица 7. Образец: медь, m=2,394 г.

Радионуклид	Период полураспада, сутки	Энергия $\gamma$ -кванта, кэВ	Выход $\gamma$ -квантов, отн. единицы	Удельная активность, Бк/г	Погрешность, $\pm\%$
Sc-44m	2,442	271,2	$8,66 \cdot 10^{-1}$	1266	9
Sc-46	83,83	889,2	$1,00 \cdot 10^0$	51	8
Sc-47	3,351	159,4	$6,80 \cdot 10^{-1}$	512	8
Sc-48	1,82	983,5	$1,00 \cdot 10^0$	1943	22
V-48	16,238	983,5	$1,00 \cdot 10^0$	401	4
Cr-51	27,704	320,1	$9,83 \cdot 10^{-2}$	535	7
Mn-52	5,591	744,2	$9,00 \cdot 10^{-1}$	851	4
Mn-54	312,5	834,8	$1,00 \cdot 10^0$	48	4
Fe-59	44,529	1099,0	$5,61 \cdot 10^{-1}$	47	13
Co-56	78,76	846,8	$9,99 \cdot 10^{-1}$	83	5
Co-57	270,9	122,1	$8,56 \cdot 10^{-1}$	69	19
Co-58	70,80	810,8	$9,94 \cdot 10^{-1}$	444	4
Co-60	1923,92	1332,0	$1,00 \cdot 10^0$	14	11

Таблица 8. Образец: свинец, m=3,530 г

Радионуклид	Период полураспада, сутки	Энергия $\gamma$ -кванта, кэВ	Выход $\gamma$ -квантов, отн. единицы	Удельная активность, Бк/г	Погрешность, $\pm\%$
Co-58	70,80	810,8	$9,94 \cdot 10^{-1}$	8,0	13
Rb-83	86,2	520,3	$4,61 \cdot 10^{-1}$	11,0	13
Rb-84	32,77	881,5	$7,10 \cdot 10^{-1}$	22,0	14
Y-88	106,64	898,0	$9,34 \cdot 10^{-1}$	10,0	9
Zr-88	83,4	392,9	$1,00 \cdot 10^0$	10,0	9
Nb-95	35,15	765,8	$1,00 \cdot 10^0$	32,0	9
Ru-103	39,28	497,1	$8,64 \cdot 10^{-1}$	17,0	10
Rh-99	16,0	527,7	$4,05 \cdot 10^{-1}$	5014	25
Te-123m	119,7	159,0	$8,42 \cdot 10^{-1}$	6,0	9
Ce-139	137,66	165,9	$7,91 \cdot 10^{-1}$	5,0	13
Eu-147	24,0	197,3	$2,58 \cdot 10^{-1}$	200	9
Yb-169	32,01	177,2	$2,23 \cdot 10^{-1}$	48,0	11
Hf-175	70,0	343,4	$8,69 \cdot 10^{-1}$	47,0	4
Ta-182	115	1121,0	$3,49 \cdot 10^{-1}$	21,0	11
Os-185	94,0	646,1	$8,11 \cdot 10^{-1}$	51,0	4
Hg-203	46,6	279,2	$8,15 \cdot 10^{-1}$	41,0	6
Tl-202	12,23	439,6	$9,14 \cdot 10^{-1}$	1057	5

Таблица 9. Образец: уран, m=5,637 г

Радионуклид	Период полураспада, сутки	Энергия $\gamma$ -кванта, кэВ	Выход $\gamma$ -квантов, отн. единицы	Удельная активность, Бк/г		Погрешность, $\pm\%$	
Rb-84	32,77	881,5	$7,10 \cdot 10^{-1}$	127		8	
Y-88	106,6	898,0	$9,34 \cdot 10^{-1}$	18		7	
Zr-95	63,98	724,2	$4,45 \cdot 10^{-1}$	390		4	
Nb-95	35,15	765,8	$1,00 \cdot 10^0$	612		4	
Ru-103	39,28	497,1	$8,64 \cdot 10^{-1}$	577		4	
Sn-113	115,1	255,1	$1,85 \cdot 10^{-2}$	403		14	
Sb-124	60,2	602,7	$9,58 \cdot 10^{-1}$	37		7	
Sb-126	12,4	414,8	$8,57 \cdot 10^{-1}$	190		8	
Ba-140	12,74	537,3	$2,44 \cdot 10^{-1}$	1242		12	
Ce-141	32,5	145,4	$4,80 \cdot 10^{-1}$	53		9	
Eu-156	15,19	811,8	$1,02 \cdot 10^{-1}$	826		11	
Ta-182	115,0	1121,0	$3,49 \cdot 10^{-1}$	20		12	
Os-185	94,0	646,1	$8,11 \cdot 10^{-1}$	14		13	
Pa-233	27,0	312,0	$3,60 \cdot 10^{-1}$	160		9	
U-234	$2,45 \cdot 10^5$ лет	1001,03	$8,42 \cdot 10^{-3}$	11600*)	11405	5 *)	5
U-235	$7,04 \cdot 10^8$ лет	185,7	$5,40 \cdot 10^{-1}$	96 *)	99	5 *)	5

\*) – данные для образца из урана до облучения.

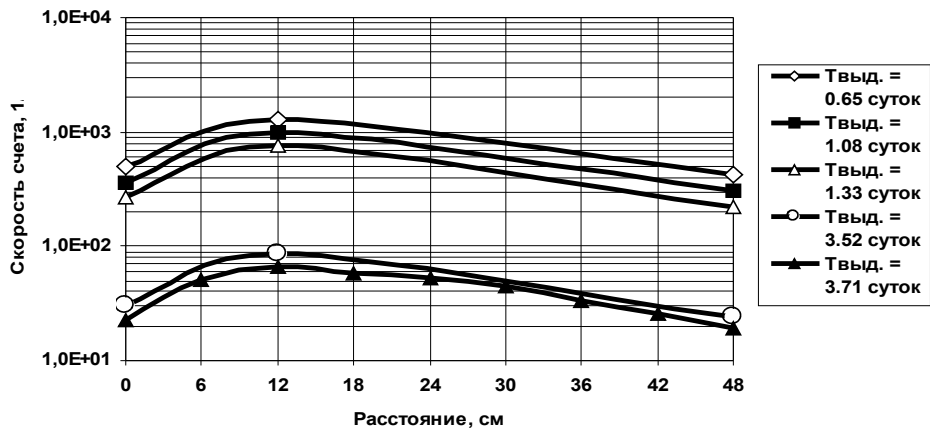


Рис. 3. Продольные распределения скорости счета в образцах из АМГ.

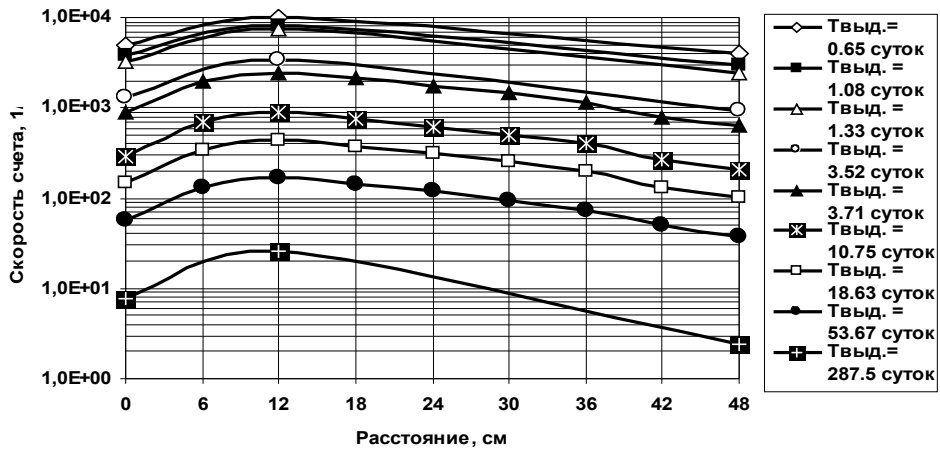


Рис. 4. Продольные распределения скорости счета в образцах из ВНЖ.

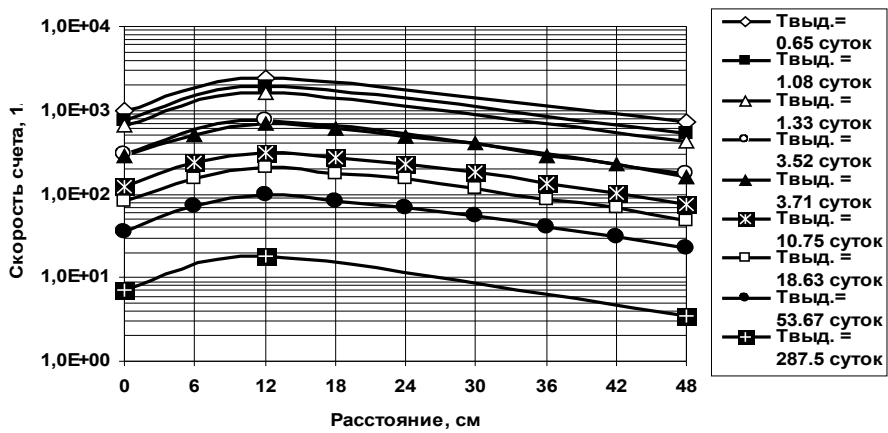


Рис. 5. Продольные распределения скорости счета в образцах из меди М1.

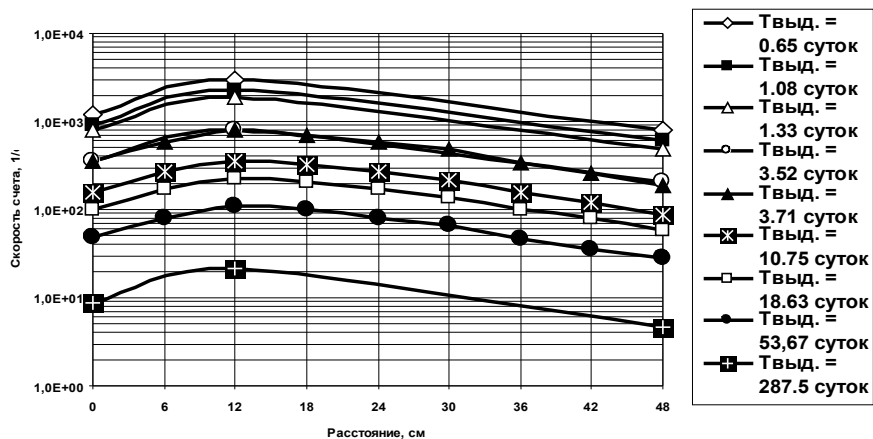


Рис. 6. Продольные распределения скорости счета в образцах из меди нагартованной.

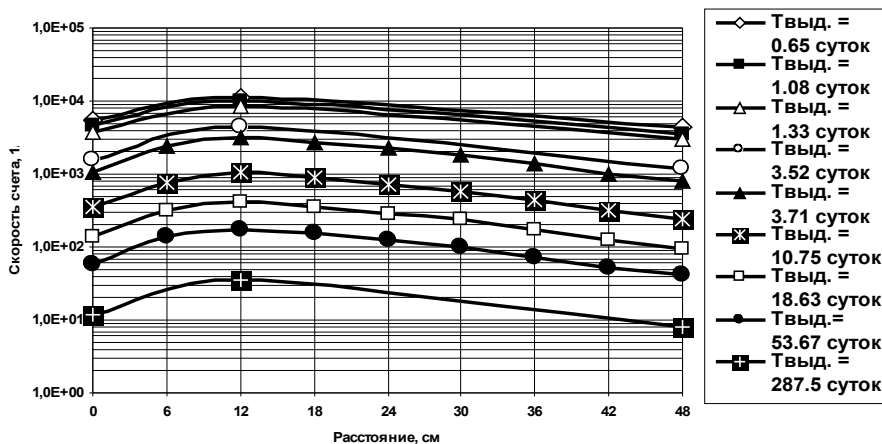


Рис. 7. Продольные распределения скорости счета в образцах из молибдена.

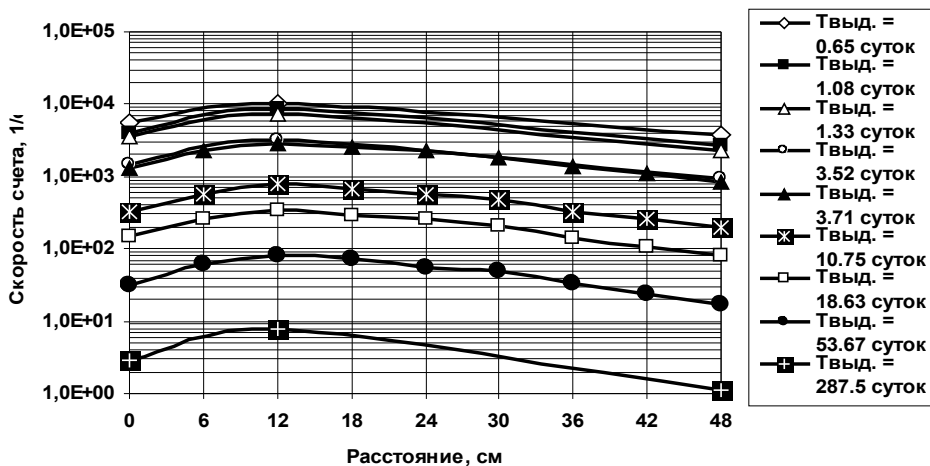


Рис. 8. Продольные распределения скорости счета в образцах из свинца.

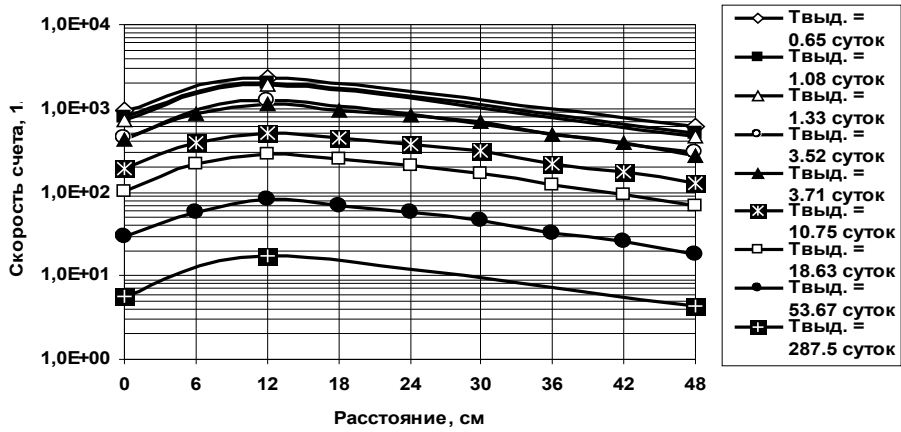


Рис. 9. Продольные распределения скорости счета в образцах из стали 20.

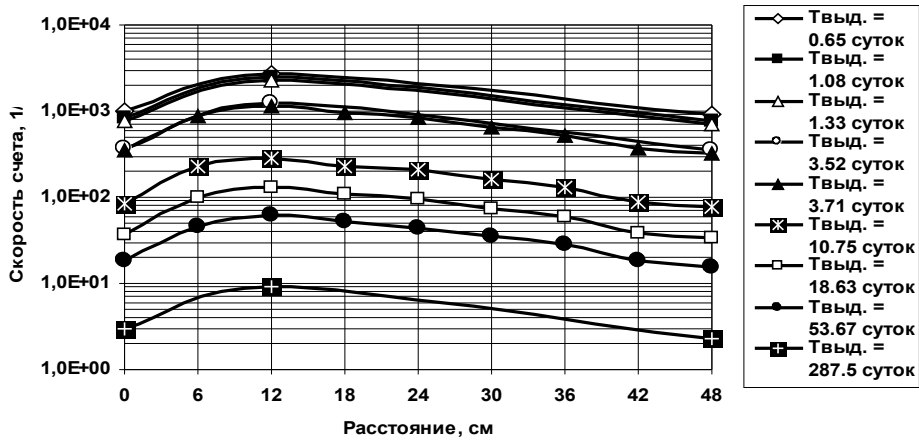


Рис. 10. Продольные распределения скорости счета в образцах из титана.

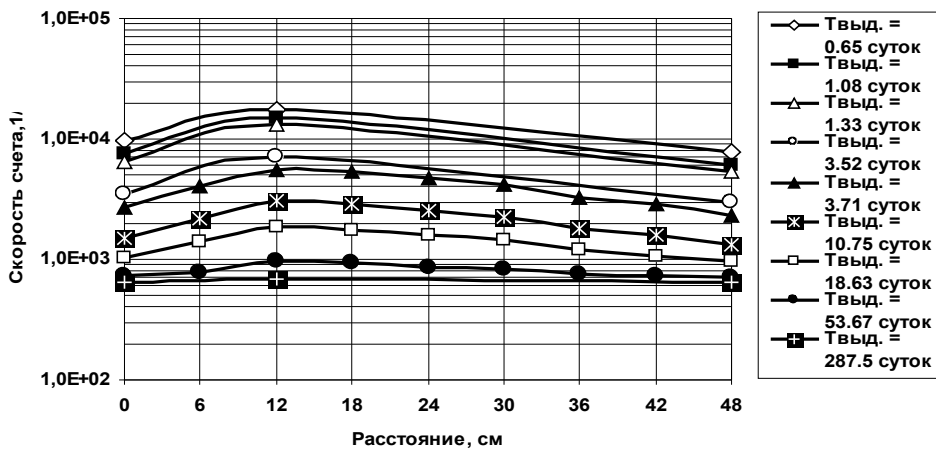


Рис. 11. Продольные распределения скорости счета в образцах из обедненного урана.

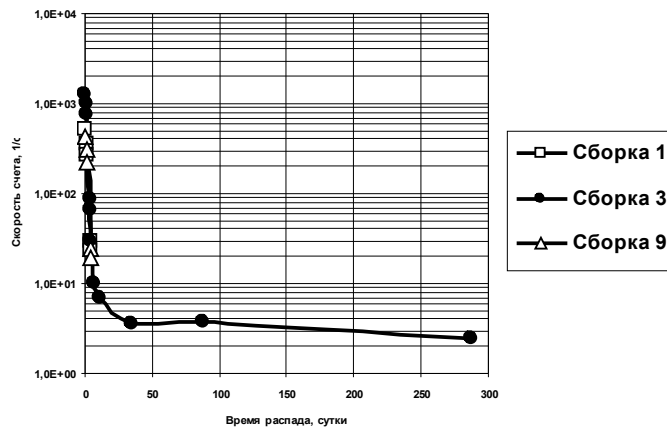


Рис. 12. Зависимость изменения скорости счёта (кривые распада) в образцах из АМГ.

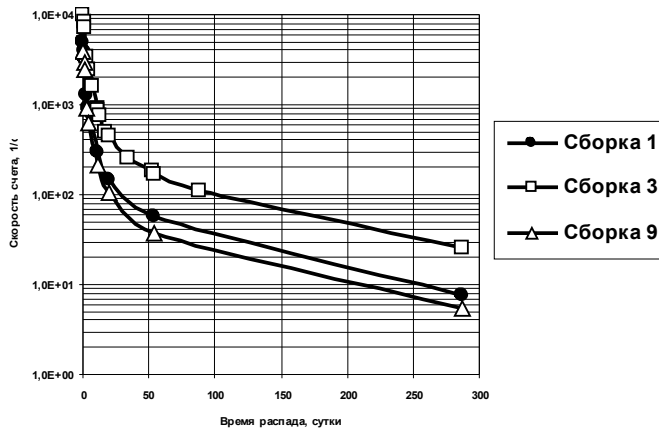


Рис. 13. Зависимость изменения скорости счёта (кривые распада) в образцах из ВНЖ.

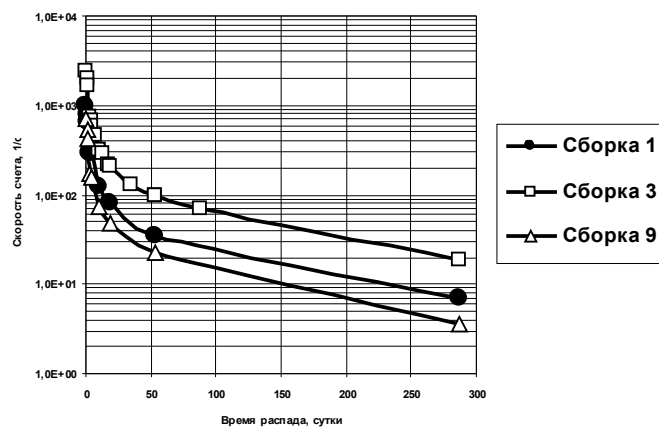


Рис. 14. Зависимость изменения скорости счёта (кривые распада) в образцах из меди М1.

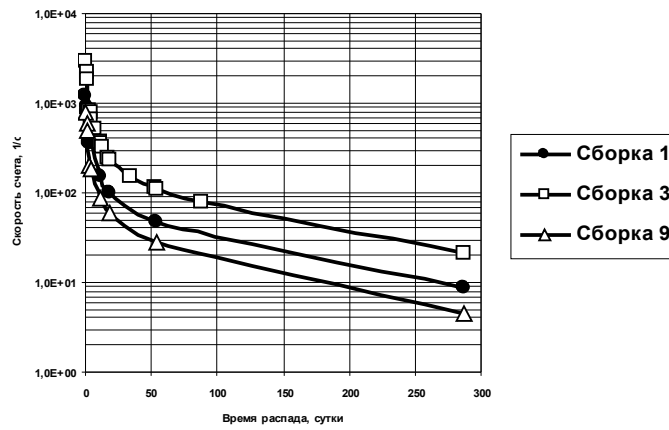


Рис. 15. Зависимость изменения скорости счёта (кривые распада) в образцах из меди нагартованной.

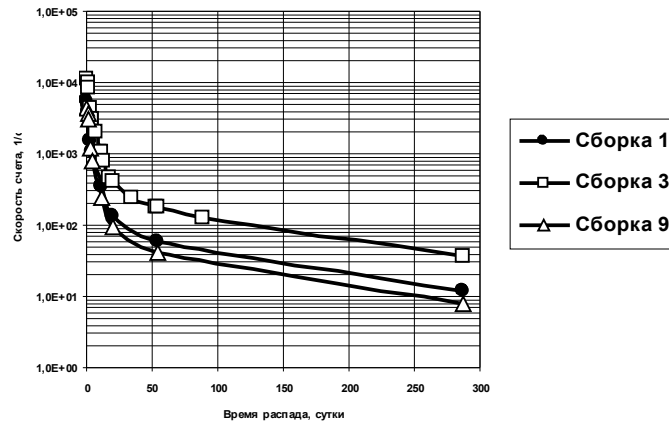


Рис. 16. Зависимость изменения скорости счёта (кривые распада) в образцах из молибдена.

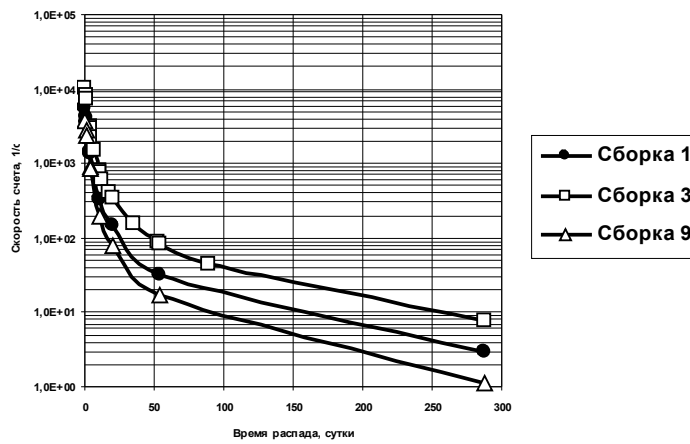


Рис. 17. Зависимость изменения скорости счёта (кривые распада) в образцах из свинца.

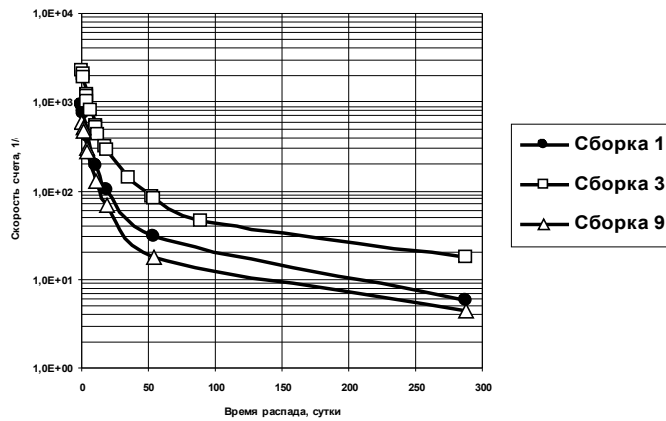


Рис. 18. Зависимость изменения скорости счёта (кривые распада) в образцах из стали 20.

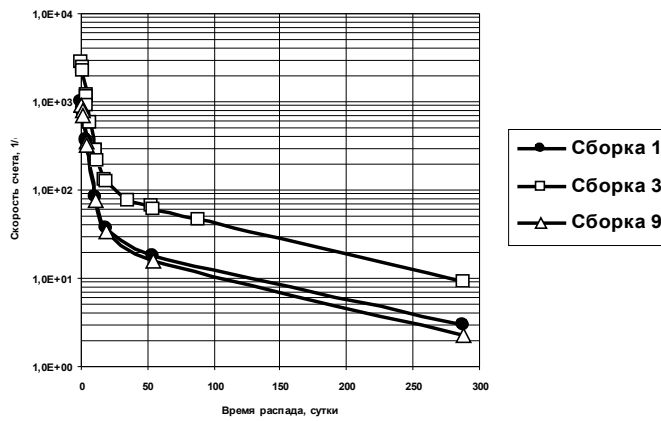


Рис. 19. Зависимость изменения скорости счёта (кривые распада) в образцах из титана.

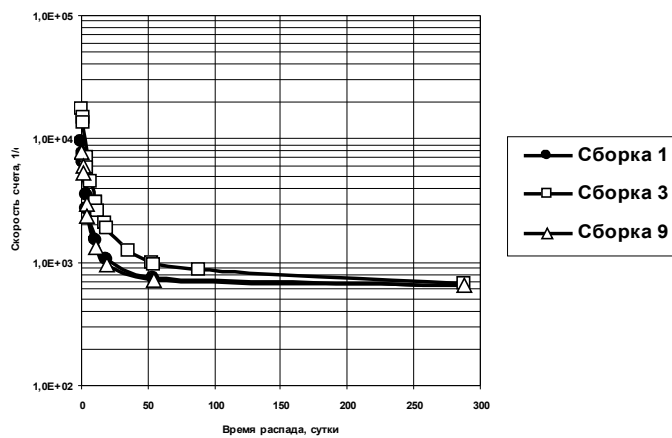


Рис. 20. Зависимость изменения скорости счёта (кривые распада) в образцах из обедненного урана.



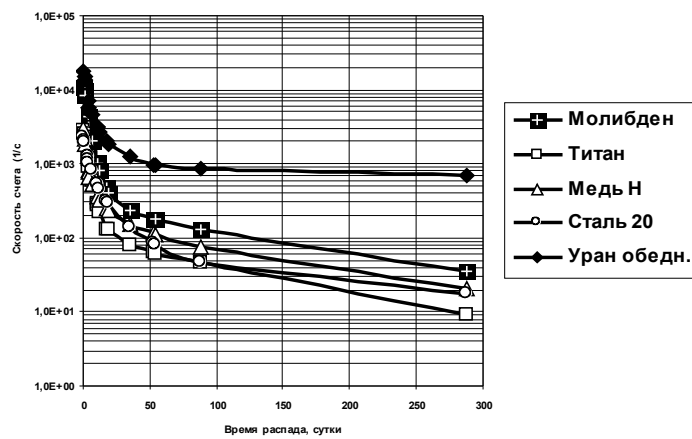


Рис. 21. Зависимость изменения скорости счёта (кривые распада) для образцов в сборке 3.

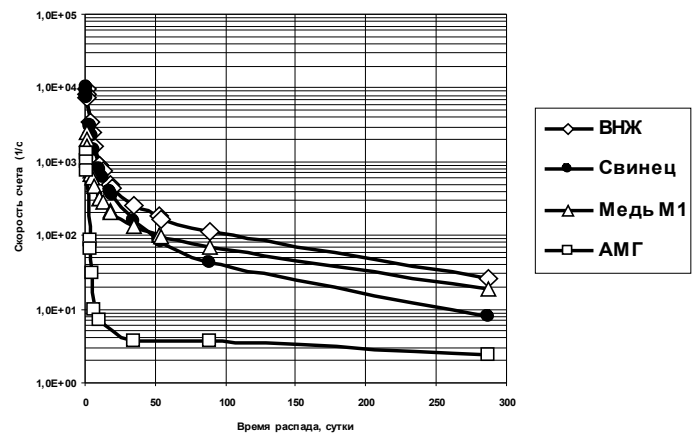


Рис. 22. Зависимость изменения скорости счёта (кривые распада) для образцов в сборке 3.

В.Е. Бородин и др.

Наведённая радиоактивность конструкционных материалов при развитии межъядерного каскада, инициированного протонами энергией 50 ГэВ.

Редактор Л.Ф. Васильева.

---

Подписано к печати 06.07.2009.      Формат 60 × 84/8.      Офсетная печать.  
Печ. л. 2,125.    Уч.- изд. л. 1,7.    Тираж 80.    Заказ 42.      Индекс 3649.

---

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий,  
142281, Протвино Московской обл.

Индекс 3649

---

ПРЕПРИНТ 2009-12, ИФВЭ, 2009

---