

## 6 - Атомная, ядерная физика, физика элементарных частиц

Вититнев Александр Николаевич, 5 курс  
Архангельск, Северный (Арктический) федеральный университет, институт естественных наук и биологии  
**Исследование баунс-резонанса при накоплении заряженных частиц в ловушке Сурко установки LEPTA**  
Есеев Марат Каналбекович, к.ф.-м.н.  
e-mail: [vitiitnev.alexandr@yandex.ru](mailto:vitiitnev.alexandr@yandex.ru) стр. 200

Кучер Инна Владимировна, 5 курс  
Днепропетровск, Днепропетровский национальный университет, физики, электроники и компьютерных систем  
**Асимметрия выделения сигнала Z бозонов в лептонных процессах**  
Скалозуб Владимир Васильевич, д.ф.-м.н.  
e-mail: [kucher.inna1991@gmail.com](mailto:kucher.inna1991@gmail.com) стр. 201

Мингажева Ризалина Вилевна, 4 курс  
Москва, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, физический  
**Детектирование нейтринных осцилляций в эксперименте OPERA**  
Полухина Наталья Геннадьевна, д.ф.-м.н.  
e-mail: [rizalinko@gmail.com](mailto:rizalinko@gmail.com) стр. 203

Филатов-Рожин Виталий Михайлович, аспирант 1 года обучения  
Якутск, Северо-Восточный федеральный университет, физический  
**Метод сухой сортировки отходов добычи урана и золота дозиметрическими и ядерно-спектрометрическими методами**  
Степанов Валерий Егорович, д.ф.-м.н.  
e-mail: [filat1990@mail.ru](mailto:filat1990@mail.ru) стр. 204

Шадрин Никита Сергеевич, магистрант 1 года обучения  
Новосибирск, Новосибирский государственный технический университет, физико-технический  
**Исследование деградации полупроводниковых детекторов под действием излучения в области мягкого рентгена**  
Николенко Антон Дмитриевич, к.ф.-м.н.  
e-mail: [n.s.shadrin@gmail.com](mailto:n.s.shadrin@gmail.com) стр. 206

# Исследование баунс-резонанса при накоплении заряженных частиц в ловушке Сурко установки LEPTA

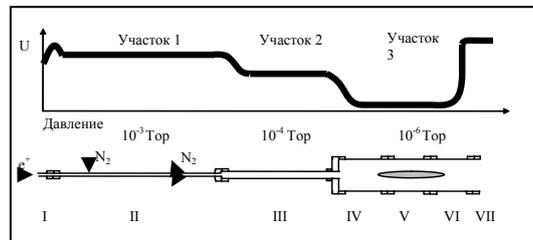
*Вититнев Александр Николаевич*

*Северный Арктический федеральный университет имени М.В. Ломоносова*

*Есеев Марат Каналбекович*

*Vititnev.alexandr@yandex.ru*

В атомной, ядерной физике и физике элементарных частиц часто используются ловушки для накопления и удержания атомов, ионов и их компонентов. Особенно важны ловушки при накоплении экзотических атомов, антивещества. Для того, чтобы исключить возможную в таких случаях аннигиляцию используют высокий вакуум, интенсивные электромагнитные поля и т.д. Использование ловушек позволило осуществить генерацию и длительное удержание атомов антиводорода (антиатом по отношению к водороду, состоит из позитрона и антипротона) в проекте ATHENA/ALPHA [1]. В ловушке Сурко пучок заряженных частиц может быть сжат радиально, если к нему приложить вращающееся дипольное электрическое поле. Это позволяет накапливать большее число частиц для эксперимента, увеличить время жизни сгустка. Этот результат хорошо согласуется с экспериментальными данными, полученными на установке LEPTA в ОИЯИ. Установка LEPTA состоит из источника позитронов и накопительного кольца для генерации позитрония. Ловушка Сурко работает в импульсном режиме, накапливая позитроны из источника. Очень важно увеличить количество позитронов в ловушке и их времени жизни, а значит, подобрать оптимальные параметры ловушки, таких как распределение потенциала, распределение давления буферного газа (см. рис. 1), сохранение однородности магнитного поля [2].



*Рис.1. Распределение потенциала на оси камеры и давление буферного газа. Продольный разрез ловушки*

Рассмотрим поля и силы, действующие в поперечном и продольном срезе ловушки на частицы. Здесь  $\mathbf{B}$  – продольное магнитное поле (направлено вдоль оси ловушки),  $\mathbf{E}_R$  – электрическое поле пространственного заряда (направлено от центра сгустка частиц),  $\mathbf{E}_{b,z}$  – продольная компонента электрического поля электродов ловушки,  $\mathbf{E}_{b,r}$  – поперечная компонента электрического поля электродов ловушки. Действие буферного газа может быть описано как вязкое трение ( $\mathbf{F}_{fr} = -k\mathbf{V}$ ). В итоге уравнение движения для заряда  $e$  с массой  $m$  может быть записано следующим образом:

$$m\ddot{\mathbf{r}} = e(\vec{E}_R + \vec{E}_b + \vec{E}_\omega) + \frac{e}{c}[\vec{V} \times \vec{B}] - k\vec{V}$$

в продольном направлении это дает:

$$\ddot{z} = -\omega_z^2 z - K\dot{z}, \tag{1}$$

где  $K = \frac{k}{m}$ ,  $U(z,r) = \frac{U_0(z^2 - \frac{r^2}{2})}{2d^2}$  - запирающие потенциалы ловушки,  $\omega_z = \sqrt{\frac{eU_0}{md^2}}$  - баунс-частота,

$d^2 = \frac{1}{2}(z_0^2 - \frac{R_0^2}{2})$  - определяется геометрией ловушки. Если считать влияние трения незначительным, то в

проекции на ось  $z$  частицы будут совершать гармонические баунс-колебания (1). Поперечное движение является дрейфовым вращением. Мы заметили [3], что резонансная частота вращающегося поля при которой накопление наиболее эффективно существенно зависит от длины области накопления. При помощи электродов изменялась длина области накопления (ширина потенциальной ямы). При этом частота продольных колебаний сгустка так же будет меняться ( $\omega_z \sim 1/L$ ). В этом случае изменение частоты вращающегося поля существенно меняло количество накапливаемых частиц в различные моменты времени. Резонансная частота увеличивалась при уменьшении длины области накопления. Так же была определена зависимость времени жизни сгустка накапливаемых частиц на частоту вращающегося поля при различной длине накопления. Возможно наблюдение нескольких пиков на кратных частотах (рис. 2). Объяснение экспериментально наблюдаемых зависимостей видится нам в том, что продольные осцилляции должны быть сфазированы с действием вращающегося электрического поля. Это позволяет оказывать вращающемуся полю систематическое действие, производя пространственную группировку накапливаемых частиц, уменьшая дрейф частиц на стенки ловушки.

Мы хотим поблагодарить профессора И.Н. Мешкова и к.ф.-м.н. С.Л. Яковенко за помощь и полезные обсуждения. Работа выполнена при поддержке ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России", соглашение № 14.А18.21.1302.

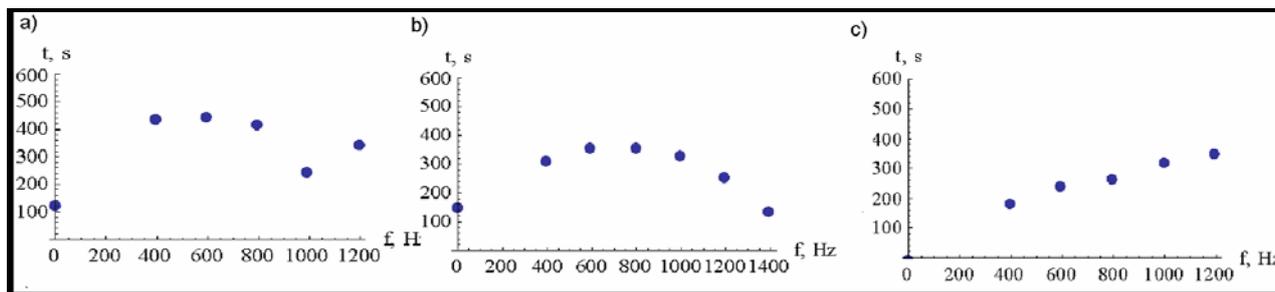


рис.2. Зависимость времени жизни пучка частиц от частоты вращающегося поля, при различных длинах области накопления: а)  $L=72\text{см}$ , б)  $L=48\text{см}$ , в)  $L=32\text{см}$ .

Список публикаций:

- [1] G.B. Andresen, M.D. Ashkezari, M. Baquero-Ruiz et al. // *Nature*, 468 (2010), P. 673.  
 [2] Ахманова Е. В., Есеев М. К., Кобец А. Г., И.Н. Мешков и др. // *Письма в ЭЧАЯ*. 2012. Т. 9. № 4-5. С. 618.  
 [3] M.K. Eseev, E. V. Ahmanova, A. N. Vititnev, A.G. Kobets, I. N. Meshkov, A. Yu. Rudakov, A. A. Sidorin, S. Yakovenko *Compression and confinement of positron clouds in the Surko trap of LEPTA facility* // *Proceedings of RuPAC-2012, Saint-Petersburg, Russia. JACoW*. (2012) P. 319.

## Асимметрия выделения сигнала $Z'$ бозонов в лептонных процессах

Кучер Инна Владимировна

Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара

Скалозуб Владимир Васильевич, д.ф.-м.н.

[kucher.inna1991@gmail.com](mailto:kucher.inna1991@gmail.com)

$Z'$ -бозон является нейтральным, бесцветным, со спином равным 1 состоянием, которое расширяет Стандартную модель. Его поиски являются важной задачей в физике частиц.  $Z'$  бозон возможно учитывать благодаря расширенному Лагранжиану Стандартной модели, введенным в [1]. Теоретические подходы и экспериментальные данные из источников [1]-[4].

В работе был рассмотрен процесс  $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ . К Стандартно-модельному сечению данного процесса добавили слагаемое, которое несет вклад от  $Z'$ .

$$\frac{d\sigma}{d\cos\theta} = \frac{d\sigma_{SM}}{d\cos\theta} + \frac{d\sigma_{Z'}}{d\cos\theta}, \quad (1)$$

где  $\frac{d\sigma}{d\cos\theta}$  - суммарное сечение рассеяния,  $\frac{d\sigma_{SM}}{d\cos\theta}$  - Стандартно-модельное сечение рассеяния,  $\frac{d\sigma_{Z'}}{d\cos\theta}$  -

вклад от взаимодействия с  $Z'$  в сечение рассеяния. В сечении рассеяния от  $Z'$  из 4х факторов при комбинациях констант связи  $A^2$ ,  $AV_e$ ,  $AV_\mu$ ,  $V_eV_\mu$ , был выделен фактор при  $A^2$ , остальными факторами пренебрегли, в силу их малости.

$A$  – аксиальная константа связи

$V_e$  - векторная константа связи  $Z'$  с электроном

$V_\mu$  - векторная константа связи  $Z'$  с мюоном

$$\frac{d\sigma_{Z'}}{d\cos\theta} = f_1 \cdot A^2 + f_2 \cdot AV_e + f_3 \cdot AV_\mu + f_4 \cdot V_eV_\mu \quad (2)$$

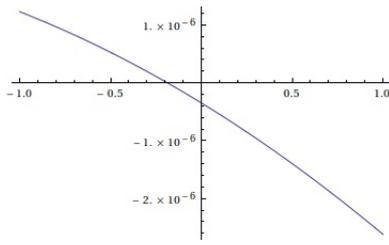


рис.1. Зависимость  $f_1(\cos \theta)$

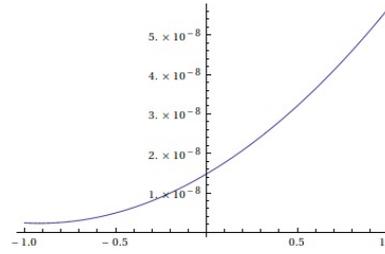


рис.2. Зависимость  $f_2(\cos \theta)$

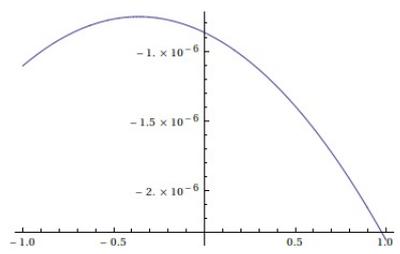


рис.3. Зависимость  $f_4(\cos \theta)$

$$\begin{aligned}
 \int_{-1}^a f_1(\cos \theta) d \cos \theta - \int_a^b f_1(\cos \theta) d \cos \theta &\approx 10^{-7} \\
 \int_{-1}^a f_2(\cos \theta) d \cos \theta - \int_a^b f_2(\cos \theta) d \cos \theta &\approx 10^{-9} \\
 \int_{-1}^a f_3(\cos \theta) d \cos \theta - \int_a^b f_3(\cos \theta) d \cos \theta &\approx 10^{-14} \\
 \int_{-1}^a f_4(\cos \theta) d \cos \theta - \int_a^b f_4(\cos \theta) d \cos \theta &\approx 10^{-15}
 \end{aligned} \tag{3}$$

Граница интегрирования была выбрана из соображений максимального вклада  $f_1$  и симметрии границ. Нами была оценена аксиальная константа связи  $A$ , методом  $\chi^2$ . Массу  $Z'$  принимаем в качестве параметра:

$$\chi^2 = \sum \frac{\sigma_{theor}^2 - \sigma_{exp}^2}{\delta \sigma^2}, \tag{5}$$

$$\sigma_{theor} = \int_{-1}^a \frac{d\sigma}{d \cos \theta} d \cos \theta - \int_a^b \frac{d\sigma}{d \cos \theta} d \cos \theta \tag{6}$$

является построенной асимметрией. После минимизации  $\chi^2$ , получаем  $A$ .

При нормировке можно увидеть, что результат (табл. 1) хорошо совпал с данными, представленными [4]. Указаны такие полученные значения для  $A_n, TeV^{-2}$ :  $-0.0025_{-0.0023}^{+0.0018}$ ,  $-0.0018_{-0.0019}^{+0.0016}$ ,  $-0.0015 \pm 0.0015$ ,  $-0.0009 \pm 0.0012$ ,  $-0.0013 \pm 0.0017$ ,  $-0.0011 \pm 0.0015$ .

$$A_n = \frac{A \cdot M_{Z'}^{-2}}{4}. \tag{7}$$

$M_{Z'}, TeV$	1	1.2	1.4	1.6
$A_n, TeV^{-2}$	-0.005525	-0.003860	-0.002846	-0.002179

Табл.1. Нормированная аксиальная константа связи при различных массах  $Z'$

Новизна наших расчетов состоит в том, что данным методом, а именно построением асимметрии и  $\chi^2$  методом было оценено значение аксиальной константы связи.

Список публикаций:

- [1]. A. V. Gulov, V. V. Skalozub "Model independent search for  $Z'$ -boson signals", 2009, //arxiv.org/abs/0905.2596v2
- [2] T.G.Rizzo "Z' Phenomenology and the LHC", 2006, //arXiv.org/abs/hep-ph/0610104v1
- [3] J. Abdallah etc, "Measurement and interpretation of fermion-pair production at LEP energies above the Z resonance" Eur.Phys.J. C49,411–437(2007)
- [4] V.I. Demchik, A.V. Gulov, V.V. Skalozub, and A.Yu. Tischenko "Signals of the Abelian  $Z'$  boson within the analysis of the LEP2 data", 2003 // arXiv:hep-ph/0302211v1

## Детектирование нейтринных осцилляций в эксперименте OPERA

Мингажеева Ризалина Вилевна

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова

Полухина Наталья Геннадьевна, д.ф.-м.н.

[rizalinko@gmail.com](mailto:rizalinko@gmail.com)

В Стандартной модели нейтрино являются безмассовыми частицами, которые в процессе распространения со скоростью света не изменяют свой аромат и, следовательно, не смешиваются, так как законы сохранения лептонного числа постулированы эмпирически для трёх семейств лептонов.

В 1957 г. Бруно Понтекорво выдвинул гипотезу о существовании квантово-механического явления нейтринных осцилляций. Когда нейтрино одного аромата проходит некоторое расстояние, оно может иметь уже другой аромат. Он предположил, что электронные нейтрино, возникающие в центре Солнца, по пути к Земле могут преобразовываться в нейтрино другого поколения. Р. Дэвиса обнаружил недостаток электронных нейтрино в эксперименте с солнечными нейтрино. Этот фундаментальный результат явился прямым экспериментальным указанием нейтринных осцилляций.

OPERA стал первым экспериментом на появление  $\nu_\tau$  в пучке  $\nu_\mu$  [4]. Он использует нейтринный пучок (CNGS — CERN Neutrinos to Gran-Sasso), направленный из ЦЕРНа в Гран Сассо (Италия), где на расстоянии 730 км от источника на глубине около 2 км под землей расположен детектор эксперимента. Он состоит из двух независимых супермодулей, которые включают в себя мишенные блоки и мюонные спектрометры. Основной элемент детектора — ядерные фотоэмульсии, обладающие уникальным пространственным разрешением, позволяют регистрировать  $\nu_\tau$  по топологии распада тау-лептона [3]. Основные каналы его распада:

$$\tau^- \rightarrow e^- \nu_\tau \bar{\nu}_e X \quad \tau^- \rightarrow \mu^- \nu_\tau \bar{\nu}_\mu X \quad \tau^- \rightarrow h^- \nu_\tau (n\pi^0) .$$

Вероятности электронного, мюонного и адронного распадов равны соответственно 17.8%, 17.7% и 49.5%. При распаде образуется излом трека (kink), который при исследовании топологии события является основным признаком образования  $\tau$ -лептона. Основным фоном являются чармированные частицы, имеющие похожую топологию распада [1].

Обработка данных происходит на автоматизированных микроскопах [6]. Такой автоматизированный комплекс мирового уровня существует и в ФИАНе — Полностью Автоматизированный Измерительный КОМПЛЕКС «ПАВИКОМ» [2, 5, 7]. Комплекс состоит из трех микроскопов. Ни один из микроскопов ПАВИКОМА не был полностью произведен промышленностью, многие элементы конструкции были придуманы и сделаны в ФИАНе или собраны из комплектующих разных производителей. Универсальность и потенциально большие аппаратные возможности комплекса ПАВИКОМ, предусмотренные в ходе его создания, позволили использовать его для существенно более широкого круга задач. На ПАВИКОМе обрабатываются практически все известные типы твердотельных трековых детекторов. Это и ядерные эмульсии, и рентгеновские пленки, и полимерные детекторы CR-39, и другие.

В докладе будет подробно рассмотрена специфика обработка данных эксперимента OPERA и реконструкция нейтринных событий.

Список публикаций:

[1] Полухина Н.Г., докторская диссертация, Москва, ФИАН, 2006.

[2] Фейнберг Е.Л., Полухина Н.Г., Котельников К.А. «Полностью автоматизированный измерительный комплекс (ПАВИКОМ) для обработки экспериментального материала трековых детекторов» ЭЧАЯ, 2004, т.35, вып.3, стр.763-787.

[3] OPERA collaboration: N. Agafonova, A. Aleksandrov, O. Altinok et al, Observation of a first  $\nu_\tau$  candidate event in the OPERA experiment in the CNGS beam, *Physics Letters B* 691 (2010) 138-145.

[4] N. Agafonova, [et.al.](#) Search for  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$  oscillation with the OPERA experiment in the CNGS beam. *New Journal of Physics* 14 (2012) 033017

[5] A.B. Aleksandrov, M.M. Chernyavsky, V. Galkin, L.A. Goncharova, G.I. Orlova, N.G. Polukhina, P.A. Publichenko, T.M. Roganova, G.P. Sazhina, N.I. Starkov, M.S. Vladymyrov and V.A. Tsarev Adapting and testing PAVICOM facility for treatment of OPERA experimental data *Proceedings of Science, Nufact08 materials*

[6] V. Tioukov et al., The FEDRA - Framework for emulsion data reconstruction and analysis in the OPERA experiment, *Nucl. Instrum. Meth. A* 559 (2006) 103-105.

[7] Александров А.Б., Владимиров М.С., Полухина Н.Г., Старков Н.И., Щедрина Т.В. Система обработки эмульсионных данных эксперимента ОПЕРА на комплексе ПАВИКОМ и перспективы ее использования для сканирования объектов методами мюонной радиографии. *Краткие сообщения по Физике*, 9(2012)38-50.

## Метод сухой сортировки отходов добычи урана и золота дозиметрическими и ядерно-спектрометрическими методами

Филатов-Рожин Виталий Михайлович

Северо-восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова

Степанов Валерий Егорович, д.ф.-м.н.

[filat1990@mail.ru](mailto:filat1990@mail.ru)

В настоящее время проблема качественного строительства дорог федерального значения в условиях Севера является важнейшей задачей. Состояние федеральных трасс и межрайонных дорог ухудшается с каждым сезоном из-за интенсивного пылеобразования, что является определяющим фактором развития инфраструктуры всей Республики Саха (Якутия). Для пылеподавления можно использовать гранитно мраморную крошку, которую можно извлечь из отходов добычи урана и золота. Объектами исследования являются отвалы шахт №2 и №3 геологоразведочных работ, проведенных в восьмидесятых годах на Эльконском урановорудном месторождении в Алданского районе вблизи города Томмот. Известно, что объем горной породы в отвалах составляет порядка 1 миллиона тонн.

Основной целью работы является разработка способа сухой сепарации, включающий четырехстадийную сортировку руд дозиметрическим, сцинтилляционным, рентгенофлюоресцентным и гамма-спектрометрическим методами измерения. Исследования контрастности содержаний урана-238, тория-232 и калия-40 и спутниковых элементов (своего набора элементов для каждого месторождения) позволят выявить и отделить «пустые» руды для дальнейшего использования в качестве дорожно-строительного материала.

Сортировка производилась по крупности руд отобранных из отвала шахт №3 Эльконского горно-металлургического комбината. Дозиметрические измерения производились на дозиметрах ДРГ-01Т1 и ДБГ-06Т. Как показали результаты измерений, более высокие показатели экспозиционной дозы излучения содержатся в рудах средней крупности ( $0,015 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ ). По графику видно что, дозиметр ДРГ-01Т1 показывает более четкую контрастность активностей руд. Это связано с тем, что данная модель имеет 6 ионизационных детекторов – счетчиков Гейгера, а модель ДБГ-06Т имеет всего два детектора.

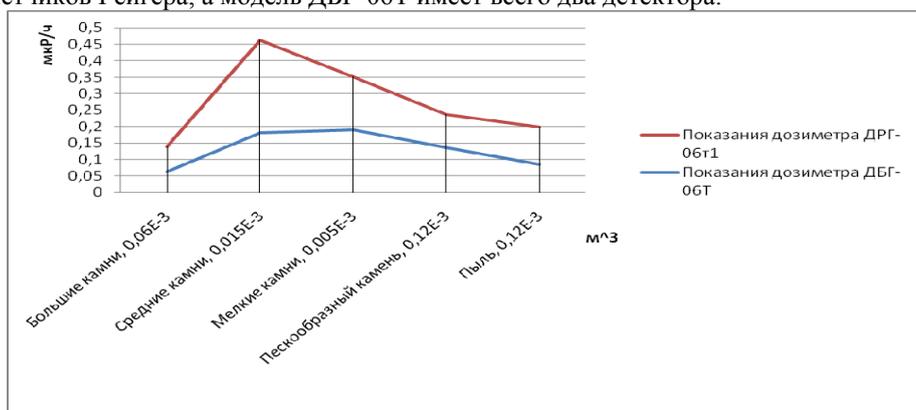


рис.1. Зависимость МЭД от крупности руд, измеренные дозиметрическими приборами ДРГ-01Т1 и ДБГ-06Т

Для измерения радиоактивности руд по естественному гамма-излучению путем регистрации импульсов в секунду использовали геолого-разведочный сцинтилляционный прибор СРП-88Н. По результатам исследования получены данные, показывающие наиболее интенсивные импульсы гамма-излучения из руд средней крупности. По полученным данным составлен график зависимости импульсов в секунду от крупности руд (Рис.2.).

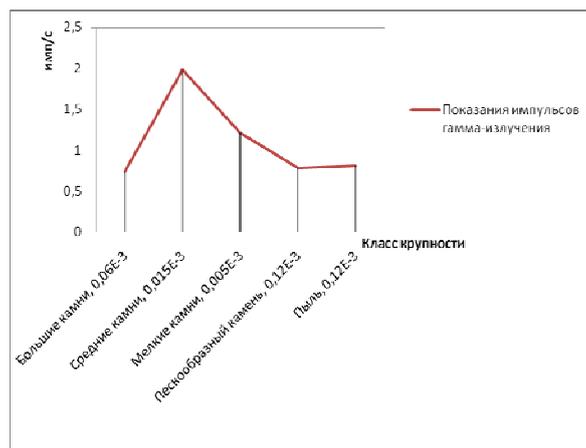


рис.2. график зависимости импульсов в секунду от крупности руд

Измерения на содержание урана в исследуемых рудах проводились на рентгено-флуоресцентном спектрометре Niton XL.31.900. В результате измерений классов различной крупности получены данные содержания урана (Рис.3.).

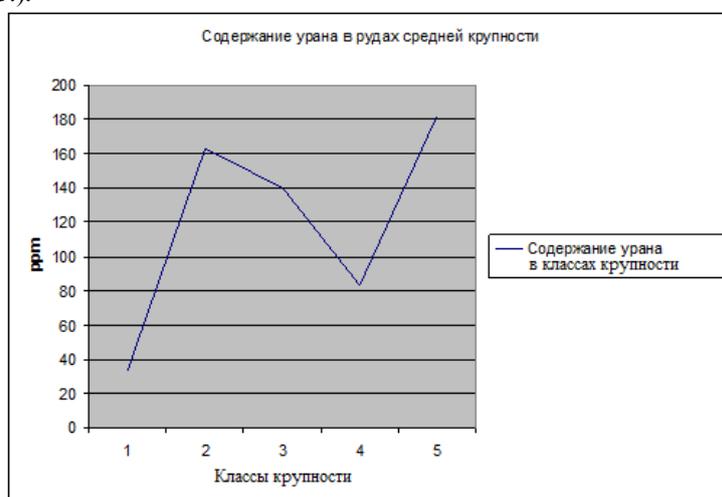


рис.3. Содержание урана в класса различной крупности

Анализом полученных данных установлены следующие закономерности:

1. Для оптимальной сортировки руд из отвалов добычи урана и золота нужно отделить на классы крупности, что увеличивает их контрастность по содержанию урана на радиометрических приборах с различными детекторами.
2. Метод дозиметрической и сцинтиляционной сортировки можно использовать в начальной и второй стадии четырехстадийного способа сортировки уран и золото содержащих руд. Методы позволят разделить руды для дальнейшего определения на количественный анализ урана и золота.
3. Метод рентгенофлуоресцентной сортировки позволит определить концентрацию урана и золота, что позволит разделить материал на пустые и богатые руды.
4. Из бедной фракции в дальнейшем рентгено-радиометрической сепарацией можно извлечь гранитно-мраморную крошку для дорожного строительства.

## **Исследование деградации полупроводниковых детекторов под действием излучения в области мягкого рентгена**

**Шадрин Никита Сергеевич**

*Николенко Антон Дмитриевич, Горловой Александр Владимирович, Машковцев Михаил Рудольфович, Ивлюшкин Денис Валерьевич, Солдатов Артем Евгеньевич, Заверткин Павел Сергеевич*  
*Новосибирский государственный технический университет*

*Николенко Антон Дмитриевич, к.ф.-м.н.*

*[n.s.shadrin@gmail.com](mailto:n.s.shadrin@gmail.com)*

В Институте Ядерной Физики СО РАН на 10 канале СИ накопителя ВЭПП-4 расположена метрологическая станция «Космос». Работы, проводимые на станции, связаны с разработкой методик метрологических измерений и их реализацией на базе станции. Последние пол года, основной деятельностью станции «Космос» является разработка методики по изучению деградации полупроводниковых кремниевых датчиков p-n и n-p типа под действием СИ в мягком рентгеновском диапазоне от 10эВ до 100 эВ.

При разработке методики были опробованы различные оптические схемы, которые подбирались в соответствии с необходимостью получения максимальной дозы облучения в заданном спектральном диапазоне за приемлемое время экспозиции. Для выделения из белого пучка СИ нужного спектрального диапазона использовались зеркала полного внешнего отражения (для подавления жесткой компоненты СИ) и тонкопленочные фильтры - для подавления фотонов с низкой энергией. Рассчитаны оптические схемы для выделения спектральных участков вблизи 28, 47, 101... 3300 эВ с характерной спектральной шириной 40%-70%.

В ходе экспозиции, характерное время которой составляло от 5 до 10 часов (набранная поверхностная доза 0.1-10 Дж/см<sup>2</sup>), проводился экспресс-анализ степени деградации детектора, который заключался в сравнении его сигнала при облучении деградировавшего участка и участка, не подвергшегося облучению. По окончании экспозиции проводилось более подробное исследование степени деградации облученного участка в монохроматическом излучении и изменение его спектральной чувствительности в диапазоне 90-120 эВ (L<sub>3</sub>-край поглощения кремния).

Один из типов исследуемых детекторов продемонстрировал нарастание темного сигнала, обусловленное накоплением заряда, который после экспозиции стекает за характерное время несколько десятков часов.