

ОТЗЫВ

официального оппонента Шитова Юрия Александровича на диссертационную работу Аврорина Александра Дмитриевича «Регистрация мюонов на глубоководном нейтринном телескопе Baikal-GVD», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 — приборы и методы экспериментальной физики

Работа Аврорина Александра Дмитриевича выполнена в рамках проекта уникального нейтринного телескопа “Baikal-GVD”. Это один из ведущих мировых экспериментов в области нейтринной астрофизики – направления фундаментальной физики, актуальность которого не подвергается сомнению. Более того, современная нейтринная астрономия переживает сегодня настоящий рассвет после того, как эксперимент IceCube окончательно подтвердил наблюдение астрофизических (космических) нейтрино. Это означает, что мы впервые увидели Вселенную в нейтринном спектре. То есть, получили еще один, третий канал ее исследования, после электромагнитных волн и космических лучей (протонов, электронов, ядер). Революционное открытие астрофизических нейтрино вызвало чрезвычайный интерес у ученых (к примеру, за 2015- 2016 гг. в arxiv.org опубликовано более 300 исследований, прямо упоминающих IceCube). Спектр научных работ, связанных с астрофизическими данными, необычайно обширен: поиск источников космических нейтрино (корреляций между нейтринным и иными спектрами), поиск темной материи, тестирование теоретических моделей и гипотез образования космических частиц высоких энергий и др. Кроме того, с учетом дополнительной доработки (обновленный IceCube + PINGU) нейтринные телескопы способны включиться в соревнование по определению иерархии нейтринных состояний – еще одной

фундаментальной актуальной задачи в области современной нейтринной физики

В этой связи радует тот факт, что российская наука обладает большим заделом и наработками в данном направлении исследований. Подчеркнем, что российские ученые стояли у истоков развития нейтринных телескопов, без их практических и теоретических разработок быстрый успех современных проектов этого направления был бы невозможен. Но самое главное, что, несмотря на все проблемы, удалось сохранить и развить байкальский проект, от NT-200, через NT-200+ к Baikal-GVD, нацеленному на центр Галактики, откуда ожидается основной поток космических лучей. Кроме того, Baikal-GVD – это уникальная научная школа и кузница высококвалифицированных кадров российской науки, рост и формирование которых происходит на переднем крае современной фундаментальной науки.

Реализация нейтринного телескопа масштабов км³ – очень сложная научная, инженерная и техническая задача. Разработка, реализация, установка и сопровождение прибора требуют серьезной и слаженной работы многих людей. Однако не менее важной задачей является обработка данных детектора. От качества этой работы напрямую зависит качество конечных результатов, по которым научное сообщество и судит о проекте. Поэтому представленная работа Аврорина Александра Дмитриевича является весьма актуальной, поскольку посвящена методикам обработки данных нейтринного телескопа “Baikal-GVD”.

В традиционном вступлении обсуждается актуальность проблемы; цели, задачи и методы исследований; достоверность, научную новизну и значимость, апробацию научных результатов, а также личный вклад соискателя.

В первом разделе автор обсуждает принципы работы нейтринных телескопов, уделяя внимание оптическим характеристикам сред – критичному параметру для данных установок. Вторая часть главы посвящена

обзору ведущих нейтринных телескопов (AMANDA, IceCube, ANTARES и NT-200) с фокусировкой на системах сбора и обработки данных.

Во втором разделе автор описывает конструкцию нейтринного телескопа Baikal-GVD. Подробно описана вся цепочка-иерархия системы накопления данных – оптический модуль (ОМ), секция, гирлянда, кластер. Далее обсуждается конструкция триггерной системы, включая работу по оптимизации ее настроек. В конце главы красочно описана процедура монтажа установки в Байкале.

Третья глава посвящена описанию программного обеспечения для обработки данных. Описаны элементы базовой системы MARS, а также собственные наработки автора в системе обработки BARS.

В четвертой главе представлена комплексная авторская методика подготовки данных, включающая три компонента. Первый – контроль качества данных, временных и амплитудных калибровок, калибровок коммуникаций. Второй – определение геометрии установки (положений ОМ) по акустическим данным. И третий компонент – подавление шумов.

В пятой и последней главе представлен анализ мюонных данных, прежде всего, с целью временных калибровок – временных сдвижек между каналами, выполненный по оригинальной авторской методике.

В заключении подытожены основные результаты работы.

Анализ материалов, представленных в диссертации и автореферате, позволяет сделать основной вывод – автор выполнил полный комплекс работ по калибровке и подготовке данных эксперимента Baikal-GVD. При решающем вкладе автора выполнена оптимизация триггерной системы, разработано программное обеспечение (система BARS), предложены алгоритмы и выполнена программная реализация калибровок каналов (временных, амплитудных и пространственных), мюонной калибровки, подготовки данных.

В качестве замечаний и пожеланий в отношении работы можно выделить следующие:

1. При обсуждении актуальности проекта хотелось бы а) более акцентировано представлять важность физических задач нейтринной астрофизики, как научного направления, б) более четко формулировать достоинства проекта Baikal-GVD по сравнению с другими мировыми проектами. Понятно, что работа более нацелена на методологические аспекты (калибровки и процессинг данных), однако хотелось бы, чтобы демонстрировалась нацеленность на физический результат и понимание глобальных целей и задач проекта.
2. (стр.1 автореферата) Автор пишет, что в Северном полушарии нужен детектор с «существенно лучшим угловым разрешением», что длина рассеяния света в антарктическом льду «мала» по сравнению с озерной водой. Насколько лучше, насколько мала? В физических текстах необходимо приводить точные количественные оценки, а не качественные сравнения. Тем более, когда сравнение сред нейтринных телескопов – вопрос не такой простой. С одной стороны, рассеяние во льду выше (Рис. 1.6б), но с другой стороны, поглощение света в Байкале существенно выше, особенно в диапазоне длин волн 350-500 нм (Рис. 1.6А). Поскольку прозрачность льда оказалась лучше ожидаемой (до 250 м на глубине больше 2 км), утверждается, что увеличение плеча с 125 до 300 м не приведет к потере чувствительности IceCube. Возвращаясь к исходному замечанию – качественных оценок (присутствуют и в других местах работы) следует избегать.
3. Плохое качество ряда рисунков портит впечатление от работы. Если с хаотичной смесью русских и английских надписей можно примириться (хотя последние – вне стандартов оформления), но плохое качество изображения и плохо-читаемые (и нечитаемые) надписи присутствуют даже в автореферате (например, Рис. 2,4,5). – «визитной» карточке работы.
4. Формулировка «регистрация мюонов» входит в название диссертации, вместе с тем, в работе не приведен ни один физический спектр мюонов,

прежде всего, энергетическое и угловое распределения. В итоге ясно, что регистрация мюонов обсуждается, прежде всего, в контексте временной калибровки каналов. Но все равно, физические результаты были бы здесь уместны.

5. Связан с предыдущим. В работе подробно обсуждаются алгоритмы и реализация различных калибровок, методик отсева шумов и т.д. Однако, остался в стороне вопрос, как внедрение тех или иных авторских методик влияет на физические результаты? К примеру, как включение/выключение методики определения геометрии установки (позиционирование ОМ по акустическим данным) влияет на физические результаты – энергетические и угловые спектры мюонов? Как предложенные автором новые калибровочные методики улучшают качество данных? На наш взгляд, подобные тесты и проверки более наглядно демонстрируют значимость получаемых результатов.
6. Третья глава о программном обеспечении слишком короткая, всего 7 страниц. Здесь можно было более подробно представить авторские наработки. К примеру, обсудить концепцию «открытых данных». О них упомянуто мельком в научной новизне, хотя это важнейший аспект, по которому двигаются все крупные проекты. К примеру, IceCube уже открыл свои данные для публики (<https://clck.ru/AKb3u>), интересно было бы узнать о планах Baikal-GVD в этом направлении.

Вместе с тем, высказанные замечания не умаляют заслуг автора. Работа выполнена на высоком научно-профессиональном уровне на всех этапах исследований. Научная новизна и решающий вклад автора (положения, выносимые на защиту) не вызывает сомнений. Материал диссертации четко структурирован и грамотно изложен. Результаты работы представлены в 5 работах в рецензируемых журналах и апробировались автором на 7 конференциях. Автореферат отражает основные положения диссертации.

В целом, диссертационная работа соответствует всем квалификационным требованиям положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней, а ее

автор, Аврорин Александр Дмитриевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент Шитов Юрий Александрович,

кандидат физ.-мат. наук,

старший научный сотрудник

Лаборатория ядерных проблем им. В. П. Джелепова,

Объединенный институт ядерных исследований.

тел. 903-237-51-50, e-mail: y.shitov@imperial.ac.uk

адрес: Московская область, 141980 г. Дубна, ул. Жолио-Кюри 6

28 ноября 2016

Ю. А. Шитов

Подпись Ю. А. Шитова удостоверяю,

Ученый секретарь Лаборатории ядерных проблем

Объединенного института ядерных исследований

Титкова И. В.

Шитов Юрий Александрович

(01.04.16 Физика атомного ядра и элементарных частиц)

Список публикаций по теме диссертации за 2011-2016 годы:

1. Arnold, R., Augier, C., Baker, J.D., Barabash, A.S., Basharina-Freshville, A., Blondel, S., Blot, S., Bongrand, M., Brudanin, V., Busto, J., Caffrey, A.J., Calvez, S., Cascella, M., Cerna, C., Cesar, J.P., Chapon, A., Chauveau, E., Chopra, A., Duchesneau, D., Durand, D., Egorov, V., Eurin, G., Evans, J.J., Fajt, L., Filosofov, D., Flack, R., Garrido, X., Gómez, H., Guillon, B., Guzowski, P., Hodák, R., Huber, A., Hubert, P., Hugon, C., Jullian, S., Klimenko, A., Kochetov, O., Konovalov, S.I., Kovalenko, V., Lalanne, D., Lang, K., Lemièrre, Y., Le Noblet, T., Liptak, Z., Liu, X.R., Loaiza, P., Lutter, G., Mamedov, F., Marquet, C., Mauger, F., Morgan, B., Mott, J., Nemchenok, I., Nomachi, M., Nova, F., Nowacki, F., Ohsumi, H., Pahlka, R.B., Perrot, F., Piquemal, F., Povinec, P., Přidal, P., Ramachers, Y.A., Remoto, A., Reyss, J.L., Richards, B., Riddle, C.L., Rukhadze, E., Saakyan, R., Salazar, R., Sarazin, X., Shitov, Y., Simard, L., Šimkovic, F., Smetana, A., Smolek, K., Smolnikov, A., Söldner-Rembold, S., Soulé, B., Štekl, I., Suhonen, J., Sutton, C.S., Szklarz, G., Thomas, J., Timkin, V., Torre, S., Tretyak, V.I., Tretyak, V.I., Umatov, V.I., Vanushin, I., Vilela, C., Vorobel, V., Waters, D., Žukauskas, A. Measurement of the $2\nu\beta\beta$ decay half-life of Nd 150 and a search for $0\nu\beta\beta$ decay processes with the full exposure from the NEMO-3 detector // (2016) Physical Review D - Particles, Fields, Gravitation and Cosmology, 94 (7), art. no. 072003, <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84991693277&partnerID=40&md5=c05ac38a8c6c06b19e109a867389cbcc>
DOI: 10.1103/PhysRevD.94.072003
2. Arnold, R., Augier, C., Bakalyarov, A.M., Baker, J.D., Barabash, A.S., Basharina-Freshville, A., Blondel, S., Blot, S., Bongrand, M., Brudanin, V., Busto, J., Caffrey, A.J., Calvez, S., Cascella, M., Cerna, C., Cesar, J.P., Chapon, A., Chauveau, E., Chopra, A., Duchesneau, D., Durand, D., Egorov,

- V., Eurin, G., Evans, J.J., Fajt, L., Filosofov, D., Flack, R., Garrido, X., Gómez, H., Guillon, B., Guzowski, P., Hodák, R., Huber, A., Hubert, P., Hugon, C., Jullian, S., Klimenko, A., Kochetov, O., Konovalov, S.I., Kovalenko, V., Lalanne, D., Lang, K., Lebedev, V.I., Lemièrè, Y., Le Noblet, T., Liptak, Z., Liu, X.R., Loaiza, P., Lutter, G., Mamedov, F., Marquet, C., Mauger, F., Morgan, B., Mott, J., Nemchenok, I., Nomachi, M., Nova, F., Nowacki, F., Ohsumi, H., Pahlka, R.B., Perrot, F., Piquemal, F., Povinec, P., Přidal, P., Ramachers, Y.A., Remoto, A., Reyss, J.L., Richards, B., Riddle, C.L., Rukhadze, E., Rukhadze, N.I., Saakyan, R., Salazar, R., Sarazin, X., Shitov, Y., Simard, L., Šimkovic, F., Smetana, A., Smolek, K., Smolnikov, A., Söldner-Rembold, S., Soulé, B., Štekl, I., Suhonen, J., Sutton, C.S., Szklarz, G., Thomas, J., Timkin, V., Torre, S., Tretyak, V.I., Tretyak, V.I., Umatov, V.I., Vanushin, I., Vilela, C., Vorobel, V., Waters, D., Zhukov, S.V., Žukauskas, A. Measurement of the double-beta decay half-life and search for the neutrinoless double-beta decay of Ca 48 with the NEMO-3 detector // (2016) Physical Review D - Particles, Fields, Gravitation and Cosmology, 93 (11), art. no. 112008 DOI: 10.1103/PhysRevD.93.112008
3. Rukhadze, N.I., Brudanin, V.B., Egorov, V.G., Klimenko, A.A., Kovalik, A., Kouba, P., Piquemal, F., Rozov, S.V., Rukhadze, E., Salamatin, A.V., Šimkovic, F., Shitov, Yu.A., Štekl, I., Timkin, V.V., Yakushev, E.A. Search for double beta decay of ^{106}Cd in the TGV-2 experiment // (2016) Journal of Physics: Conference Series, 718 (6), art. no. 062049, . DOI: 10.1088/1742-6596/718/6/062049
 4. Ban, G., Beaumont, W., Buhour, J.M., Coupé, B., Cucoanes, A.S., D'Hondt, J., Durand, D., Fallot, M., Fresneau, S., Giot, L., Guillon, B., Guilloux, G., Janssen, X., Kalcheva, S., Koonen, E., Labare, M., Moortgat, C., Pronost, G., Raes, L., Ryckbosch, D., Ryder, N., Shitov, Y., Vacheret, A., Van Mulders, P., Van Remortel, N., Weber, A., Yermia, F. SoLid: Search for Oscillations with Lithium-6 Detector at the SCK-CEN BR2 reactor // (2016) Nuclear and Particle

Physics Proceedings, 273-275, pp. 2690-2692. DOI: 10.1016/j.nuclphysbps.2015.10.032

5. Rukhadze, N.I., Briançon, C., Brudanin, V.B., Egorov, V.G., Fajt, L., Hodák, R., Klimenko, A.A., Kovalik, A., Kouba, P., Piquemal, F., Rozov, S.V., Rukhadze, E., Rychnovský, F., Salamatin, A.V., Šimkovic, F., Shitov, Y.A., Štekl, I., Timkin, V.V., Yakushev, E.A. Double electron capture of ^{106}Cd in the TGV-2 experiment // (2015) AIP Conference Proceedings, 1686, art. no. 020020, . DOI: 10.1063/1.4934909
6. Arnold, R., Augier, C., Baker, J.D., Barabash, A.S., Basharina-Freshville, A., Blondel, S., Blot, S., Bongrand, M., Brudanin, V., Busto, J., Caffrey, A.J., Calvez, S., Cerna, C., Cesar, J.P., Chapon, A., Chauveau, E., Duchesneau, D., Durand, D., Egorov, V., Eurin, G., Evans, J.J., Fajt, L., Filosofov, D., Flack, R., Garrido, X., Gómez, H., Guillon, B., Guzowski, P., Hodák, R., Huber, A., Hubert, P., Hugon, C., Jullian, S., Klimenko, A., Kochetov, O., Konovalov, S.I., Kovalenko, V., Lalanne, D., Lang, K., Lemièrre, Y., Le Noblet, T., Liptak, Z., Loaiza, P., Lutter, G., Mamedov, F., Marquet, C., Mauger, F., Morgan, B., Mott, J., Nemchenok, I., Nomachi, M., Nova, F., Nowacki, F., Ohsumi, H., Pahlka, R.B., Perrot, F., Piquemal, F., Povinec, P., Přidal, P., Ramachers, Y.A., Remoto, A., Reyss, J.L., Richards, B., Riddle, C.L., Rukhadze, E., Saakyan, R., Sarazin, X., Shitov, Y., Simard, L., Šimkovic, F., Smetana, A., Smolek, K., Smolnikov, A., Söldner-Rembold, S., Soulé, B., Štekl, I., Suhonen, J., Sutton, C.S., Szklarz, G., Thomas, J., Timkin, V., Torre, S., Tretyak, V.I., Tretyak, V.I., Umatov, V.I., Vanushin, I., Vilela, C., Vorobel, V., Waters, D., Žukauskas, A. Results of the search for neutrinoless double- β decay in ^{100}Mo with the NEMO-3 experiment // (2015) Physical Review D - Particles, Fields, Gravitation and Cosmology, 92 (7), art. no. 072011, . Cited 5 times. DOI: 10.1103/PhysRevD.92.072011
7. Briançon, C., Brudanin, V.B., Egorov, V.G., Jose, J.M., Klimenko, A.A., Kovalik, A., Rozov, S.V., Rukhadze, E.N., Rukhadze, N.I., Salamatin, A.V., Timkin, V.V., Fajt, L., Hodak, R., Šimkovic, F., Shitov, Y.A., Špavorova, M.,

- Štekl, I., Yakushev, E.A. New search for double electron capture in ^{106}Cd decay with the TGV-2 spectrometer // (2015) *Physics of Atomic Nuclei*, 78 (6), pp. 740-745. Cited 2 times. DOI: 10.1134/S1063778815060058
8. Arnold, R., Augier, C., Baker, J.D., Barabash, A.S., Basharina-Freshville, A., Blondel, S., Blot, S., Bongrand, M., Brudanin, V., Busto, J., Caffrey, A.J., Cerna, C., Chapon, A., Chauveau, E., Duchesneau, D., Durand, D., Egorov, V., Eurin, G., Evans, J.J., Flack, R., Garrido, X., Gómez, H., Guillon, B., Guzowski, P., Hodák, R., Hubert, P., Hugon, C., Jullian, S., Klimenko, A., Kochetov, O., Konovalov, S.I., Kovalenko, V., Lalanne, D., Lang, K., Lemièrè, Y., Liptak, Z., Loaiza, P., Lutter, G., Mamedov, F., Marquet, C., Mauger, F., Morgan, B., Mott, J., Nemchenok, I., Nomachi, M., Nova, F., Nowacki, F., Ohsumi, H., Pahlka, R.B., Perrot, F., Piquemal, F., Povinec, P., Ramachers, Y.A., Remoto, A., Reyss, J.L., Richards, B., Riddle, C.L., Rukhadze, E., Saakyan, R., Sarazin, X., Shitov, Y., Simard, L., Šimkovic, F., Smetana, A., Smolek, K., Smolnikov, A., Söldner-Rembold, S., Soulé, B., Štekl, I., Suhonen, J., Sutton, C.S., Szklarz, G., Thomas, J., Timkin, V., Torre, S., Tretyak, V., Tretyak, V.I., Umatov, V.I., Vanushin, I., Vilela, C., Vorobel, V., Waters, D., Žukauskas, A. Search for neutrinoless double-beta decay of $\text{Mo } 100$ with the NEMO-3 detector // (2014) *Physical Review D - Particles, Fields, Gravitation and Cosmology*, 89 (11), art. no. 111101, . Cited 24 times. DOI: 10.1103/PhysRevD.89.111101
9. Arnold, R., Augier, C., Barabash, A.S., Basharina-Freshville, A., Blondel, S., Blot, S., Bongrand, M., Brudanin, V., Busto, J., Caffrey, A.J., Čermák, P., Cerna, C., Chapon, A., Chauveau, E., Dragounová, L., Duchesneau, D., Durand, D., Egorov, V., Eurin, G., Evans, J.J., Flack, R., Garrido, X., Gómez, H., Guillon, B., Guzowski, P., Hodák, R., Hubert, P., Hugon, C., Hůlka, J., Jullian, S., Klimenko, A., Kochetov, O., Konovalov, S.I., Kovalenko, V., Lalanne, D., Lang, K., Lemièrè, Y., Liptak, Z., Loaiza, P., Lutter, G., Mamedov, F., Marquet, C., Mauger, F., Morgan, B., Mott, J., Nemchenok, I., Nomachi, M., Nova, F., Nowacki, F., Ohsumi, H., Pahlka, R.B., Perrot, F.,

- Piquemal, F., Povinec, P., Ramachers, Y.A., Remoto, A., Reyss, J.L., Richards, B., Riddle, C.L., Rukhadze, E., Rukhadze, N., Saakyan, R., Sarazin, X., Shitov, Y., Simard, L., Šimkovic, F., Smetana, A., Smolek, K., Smolnikov, A., Söldner-Rembold, S., Soulé, B., Štekl, I., Suhonen, J., Sutton, C.S., Szklarz, G., Thomas, J., Timkin, V., Torre, S., Tretyak, V.I., Tretyak, V., Umatov, V., Vilela, C., Vorobel, V., Warot, G., Waters, D., Žukauskas, A. Investigation of double beta decay of ^{100}Mo to excited states of ^{100}Ru // (2014) Nuclear Physics A, 925, pp. 25-36. Cited 5 times. DOI: 10.1016/j.nuclphysa.2014.01.008
10. Alekseev, I., Belov, V., Brudanin, V., Danilov, M., Egorov, V., Filosofov, D., Fomina, M., Hons, Z., Kobayakin, A., Medvedev, D., Mizuk, R., Novikov, E., Olshevsky, A., Rozov, S., Rumyantseva, N., Rusinov, V., Salamatin, A., Shevchik, Y., Shirchenko, M., Shitov, Y., Starostin, A., Svirida, D., Tarkovsky, E., Tikhomirov, I., Yakushev, E., Zhitnikov, I., Zinatulina, D. DANSSino: A pilot version of the DANSS neutrino detector // (2014) Physics of Particles and Nuclei Letters, 11 (4), pp. 473-482. Cited 4 times. DOI: 10.1134/S1547477114040050
11. Jose, J.M., Čermák, P., Štekl, I., Shitov, Yu.A., Rukhadze, E.N., Rukhadze, N.I., Brudanin, V.B., Fiederle, M., Fauler, A., Loaiza, P. Pixel detectors in double beta decay experiments, a new approach for background reduction // (2013) AIP Conference Proceedings, 1549, pp. 74-77. DOI: 10.1063/1.4818079
12. Belov, V., Brudanin, V., Danilov, M., Egorov, V., Fomina, M., Kobayakin, A., Rusinov, V., Shirchenko, M., Shitov, Y., Starostin, A., Zhitnikov, I. Registration of reactor neutrinos with the highly segmented plastic scintillator detector DANSSino // (2013) Journal of Instrumentation, 8 (5), art. no. P05018, . Cited 6 times. DOI: 10.1088/1748-0221/8/05/P05018
13. Rukhadze, N.I., Brudanin, V.B., Briancon, C., Čermák, P., Kochetov, O.I., Mamedov, F., Loaiza, P., Piquemal, F., Rukhadze, E.N., Shitov, Y.A., Štekl, I., Warot, G., Yakushev, E.A., Zampaolo, M. A highly efficient HPGE gamma-ray

spectrometer for investigating $\beta\beta$ decay to excited states // (2013) Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 77 (4), pp. 379-382. Cited 4 times. DOI: 10.3103/S1062873813040230

14. Rukhadze, N.I., Brudanin, V.B., Čermák, P., Čermák, J., Jose, J.M., Král, V., Mamedov, F., Rozov, S.V., Rukhadze, E.N., Salamatin, A.V., Shitov, Y.A., Štekl, I., Yakushev, E.A. Using pixel detectors in investigations of EC/EC decay // (2013) Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 77 (4), pp. 375-378. DOI: 10.3103/S1062873813040229
15. Vacheret, A., Scovell, P.R., Haigh, M., Shitov, Y., Waldron, A., Weber, A., Giudicelli, A., Fierfort, A. Performance of a prototype large area neutron detector based on ${}^6\text{LiF:ZnS(Ag)}$ with MPPC read-out // (2013) IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, art. no. 6829532, DOI: 10.1109/NSSMIC.2013.6829532