

**АКТИВНАЯ ЗОНА**  
**на передовой**

№19(1340) от 27.09.2018 г. ИМПУЛЬС

# Зачем физикам хром-50?

ИЗОТОПЫ ЭХЗ БУДУТ УЧАСТВОВАТЬ В ПРОВЕРКЕ ГИПОТЕЗЫ О СУЩЕСТВОВАНИИ СТЕРИЛЬНЫХ НЕЙТРИНО

Дмитрий КАДОЧНИКОВ, иллюстрации из материалов ИЯИ РАН

АО «ПО «Электрохимический завод» передало партию наработанного изотопа хром-50 заказчику - Институту ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН). Этот материал нужен специалистам ИЯИ РАН для подготовки нового масштабного международного научного эксперимента в области нейтринной физики.



Изотоп хром-50 появился в линейке изотопной продукции ЭХЗ в 2018 году. Специалисты предприятия освоили технологию изготовления хрома-50 в виде хромового ангидрида  $\text{CrO}_3$  по запросу Института ядерных исследований РАН, который координирует один из глобальных научных экспериментов в области изучения свойств самой загадочной для современных физиков элементарной частицы - нейтрино.

В существовании нейтрино сомнений нет, но эту частицу крайне сложно зарегистрировать. Она практически не взаимодействует с веществом, но при этом, как сегодня понимают учёные, играет центральную роль в механизмах горения Солнца и взрывах сверхновых звёзд, а также в процессах формирования элементов во время Большого Взрыва. Определение её свойств позволит значительно продвинуться в понимании физики элементарных частиц и фундаментальных законов Вселенной. И даже, по мнению отдельных представителей научного сообщества, может оказать существенное влияние на дальнейшее развитие человеческой цивилизации. Преувеличение это или, наоборот, прозорливое предвидение - трудно сказать. Однако две Нобелевские премии, полученные в последние годы за исследования в области нейтринной физики - хорошая иллюстрация важности новых открытий в этой области знаний, а также объяснение высочайшего интереса исследователей к нейтрино и его свойствам.

## ДАЙТЕ ПРАВИЛЬНЫЙ ХРОМ!

Три типа нейтрино - электронные, тау- и мюонные - уже неплохо вписались в Стандартную модель физики элементарных частиц, и их существование не оспаривается. Вопрос о существовании и природе четвёртого типа нейтрино - «стерильных», с массой около 1 эВ - в

последние несколько лет получил новое развитие, и это связано как с появлением новых «аномальных» результатов в экспериментах по изучению нейтринных осцилляций (превращений нейтрино из одного типа в другой), так и с корректировкой космологических данных.

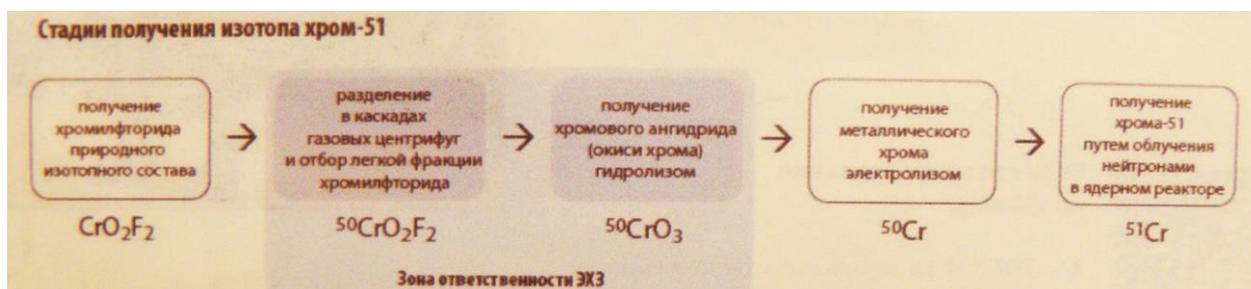
Для подтверждения или, наоборот, опровержения гипотезы нужны новые экспериментальные проверки. Именно этой цели служит проект BEST (Baksan Experiment on Sterile Transitions), первую скрипку в котором играет российский институт - ИЯИ РАН, хотя коллаборация BEST сегодня насчитывает 26 исследователей, представляющих 15 научных организаций России, Германии, США, Канады и Японии.

Для эксперимента BEST нужен радиоактивный хром-51. Именно этот изотоп хрома учёные предложили для изготовления искусственных источников электронных нейтрино. По замыслу экспериментаторов, такой источник с небывалой прежде активностью - около 3 МКи (мегаюри) - они поместят в центр мишени из 50 тонн металлического галлия и... либо зафиксируют осцилляционные переходы активных нейтрино в так называемое «стерильное» состояние, либо получат подтверждение, что гипотеза о существовании четвёртого типа нейтрино несостоятельна. Использование в проекте BEST высокоинтенсивного источника нейтрино на основе  $^{51}\text{Cr}$  с активностью \*3 МКи позволит существенно повысить точность проводимых измерений.

Только есть нюанс: природный хром состоит из четырёх изотопов с атомным весом 50, 52, 53 и 54. И эти изотопы стабильны.

Физики умеют превращать стабильные изотопы в радиоактивные. Например, подвергая их бомбардировке нейтронами. В ходе нейтронной активации каждый атом хрома захватит по нейтрону и... вот уже изотопный состав облучённого хрома будет описываться цифрами 51, 53, 54 и 55. Из них радиоактивными станут только хром-51 и хром-55. Последний для эксперимента не годится, быстро распадается - период полураспада 3,5 минуты. Хром-51 с периодом полураспада 27,7 дня подходит, но опять природа ставит препятствие: изотопа-50 в природном составе хрома немногим более 4%. Это сколько же обычного хрома нужно облучить, чтобы получить приемлемый для хода эксперимента поток нейтрино?!

Вот если бы в исходном для облучения веществе был только чистый, без всяких примесей хром, а тот целиком состоял бы из 50-го изотопа!..



## ЕСЛИ НУЖНО, СДЕЛАЕМ!

Принципиальная возможность наработки хрома-50 на каскадах изотопного производства ЭХЗ обсуждалась сотрудниками ИЯИ РАН и специалистами предприятия с 2011 года. Практическая реализация началась в феврале 2018 года, после того как Министерство образования и науки, Федеральное агентство научных организаций (ФАНО), Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом» и Институт ядерных исследований (ИЯИ РАН) заключили соглашение о сотрудничестве в реализации эксперимента по поиску стерильного нейтрино. ФАНО одобрило выделение более 100 млн руб в 2017-2019 годах на изготовление источника нейтрино и другие подготовительные работы для проекта BEST, и ИЯИ наконец-то смог заказать необходимый для подготовки эксперимента хром-50.

Всего на подготовку и проведение эксперимента планируется затратить более 350 млн рублей и в его финансировании примут участие Минобрнауки (в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы») и Госкорпорация «Росатом».

Задача, поставленная перед специалистами Электрохимического завода, была непростой - разделить изотопы хрома так, чтобы обеспечить конечному продукту высокую химическую чистоту и 97 % содержания изотопов хром-50. И они справились!

Как всегда, для решения задачи были задействованы лучшие силы Электрохимического завода. Для подготовки производства и получения товарной продукции потребовались усилия производственно-технологической службы (в части подготовки и корректировки расчётных схем каскадов, организации и контроля эффективности техпроцессов), отдела продаж (в части подготовки контракта, а также разработки и реализации логистических схем), центральной заводской лаборатории (в части обеспечения технологических процессов и аттестации товарной продукции, для чего в сжатые сроки были освоены и вновь разработаны ранее не применявшиеся методики измерений) и, конечно же, цеха по производству изотопов. На плечи персонала ЦПИ легла задача не только провести разделение изотопов хрома с использованием в качестве рабочего вещества хромилфторида (фтористого хромилла,  $\text{CrO}_2\text{F}_2$ ), но и провести конверсию обогащённого продукта в товарную форму - оксид хрома. Причём необходимо было обеспечить требуемую химическую чистоту и концентрацию целевого изотопа, чтобы конечный металл обладал приемлемым составом химических примесей, определяющим уровень радионуклидного загрязнения источника нейтрино  $^{51}\text{Cr}$ , не допустив при этом сверхнормативных потерь продукта и в итоге потерь работы разделения. Больше всего рисков, по мнению начальника ЦПИ Александра Гилева, ожидало на конечном этапе - при получении оксида хрома из обогащённого фтористого хромилла.

Но не случайно исполнителем этой работы учёные выбрали ЭХЗ. Богатый опыт и высокой профессионализм специалистов предприятия, технологическая и производственная дисциплина в очередной раз позволили выполнить сложную задачу: полученный оксид хрома содержит минимальное количество примесей, а содержание целевого изотопа составляет 98 %, что гарантированно обеспечит будущему источнику нейтрино высокую мощность потока частиц.

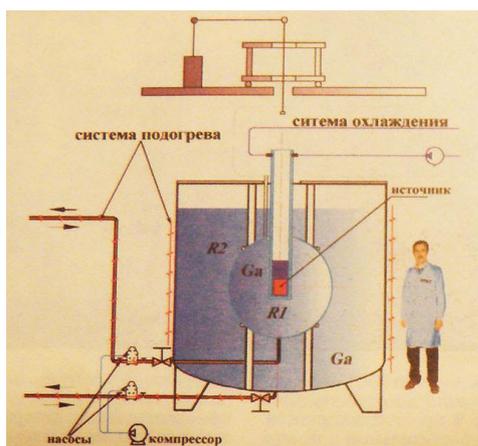
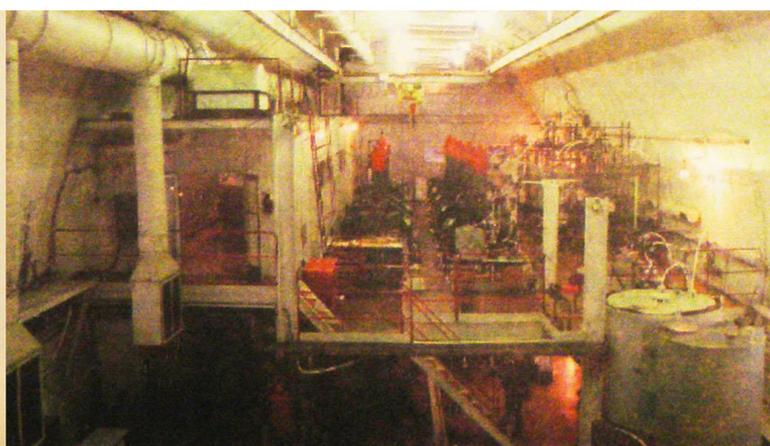


Схема экспериментальной установки BEST



Главный зал ГНТ проекта SAGE

## ЧТО ДАЛЬШЕ?

Прежде чем занять в эксперименте центральное как в прямом, так и в переносном смысле место, наработанный ЭХЗ оксид хрома-50 сначала превратится в порошкообразный металлический хром, из которого потом изготовят около трёх десятков металлических дисков общей массой более 3 кг. Затем диски поместят на пару месяцев в нейтронную ловушку исследовательского ядерного реактора в АО «ГНЦ НИИАР» (г. Димитровград), который позволяет получить самый большой в мире поток тепловых нейтронов. После того, как диски после «горячей камеры» поместят в герметичную нержавеющую капсулу, а её еще и в биологическую защиту из вольфрамового сплава, можно будет считать, что источник готов - образовавшийся в материале дисков хром-51 обеспечит экспериментаторов нужным потоком нейтрино.

*В Международной системе единиц (СИ) единицей активности является беккерель.*

*В образце с активностью 1 Бк происходит в среднем 1 распад в секунду.*

*Кюри (русское обозначение Ки) - это внесистемная единица.  $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$*

*Искусственный источник с активностью  $3 \cdot 10^6 \text{ Ки}$  обеспечит не менее чем  $10^{17}$  распадов в секунду.*

Кроме источника нейтрино, исследователям потребуется к началу эксперимента изготовить калориметр для измерения активности источника, вольфрамовую защиту и специальный манипулятор для безопасной работы с источником.

Основные события эксперимента BEST пройдут на базе подземной лаборатории галлий-германиевого нейтринного телескопа в Баксанской нейтринной обсерватории. Её соорудили в толще горы Андырчи (Баксанское ущелье, Северный Кавказ) ещё в советские времена специально для изучения солнечных нейтрино. Тогда же, в середине 80-х годов, Курчатовский институт впервые провел крупномасштабное 94 %-ное обогащение 0,8 кг  $^{50}\text{Сг}$ , из которого был изготовлен искусственный источник нейтрино на основе радионуклида  $^{51}\text{Сг}$  для калибровки нейтринного телескопа (эксперимент SAGE – Soviet-American Gallium Experiment, или Советско-Американский Галлиевый Эксперимент, ИЛИ Со-1).

Ожидается, что новый искусственный источник нейтрино на основе радиоактивного изотопа хром-51 активностью 3 МКи будет готов к середине 2019 года, а результаты эксперимента BEST будут опубликованы в 2020 году. Кто знает, быть может, ЭХЗ будет причастен к сенсационным научным открытиям в области физики нейтрино. Но то, что изотопная продукция предприятия востребована на передовой научного поиска, - это факт. Как и то, что эксперимент BEST даст, как минимум, новые данные для разгадки свойств неуловимой частицы.

*Галлий-германиевый нейтринный телескоп (ГГНТ) размещён в специально построенной подземной лаборатории глубокого заложения в Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН и предназначен для проведения измерений потока солнечных нейтрино. ГГНТ - одна из наиболее глубоких подземных лабораторий в мире.*

*Подземный комплекс лаборатории ГГНТ расположен на расстоянии 3,5 км от входа горизонтального тоннеля, ведущего внутрь горы Андырчи. Основное помещение лаборатории представляет собой экспериментальный зал, длиной 60 м, шириной 10 м и высотой 12 метров.*

*Горные породы над лабораторией создают такую же защиту от мюонов космических лучей, какую могла бы обеспечить более чем 4-километровая толща воды (4700 м водного эквивалента), и дают ослабление потока мюонов в миллионы раз. Для снижения нейтронного и гамма фона от окружающих горных пород зал облицован низкорadioактивным бетоном толщиной 600 мм и стальным листом толщиной 6 мм.*

**Автор выражает глубокую признательность В.Н. Гаврину, Е.П. Веретёнкину (ИЯИ РАН), А.Н. Гилеву, М.В. Варлаковой, Д.Г. Арефьеву (АО «ПО ЭХЗ») за консультации и неоценимую помощь в подготовке материала.**