



ЭХЗ
РОСАТОМ

Акционерное общество
«Производственное объединение
«Электрохимический завод»

ЗАЧЕМ ФИЗИКАМ ХРОМ-50?

Изотопы ЭХЗ будут участвовать в проверке гипотезы о существовании «стерильных» нейтрино.

Кадочников Д., Зачем физикам хром-50? // Импульс-ЭХЗ. – 2018. – 27 сентября

АО «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 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 ученые, играет центральную роль в механизмах горения Солнца и взрывах сверхновых звезд, а также в процессах формирования элементов во время Большого Взрыва. Определение ее 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 четвертого 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 ученые предложили для изготовления искусственных источников электронных нейтрино. По замыслу экспериментаторов,



такой источник с небывалой прежде активностью – около 3 МКи – 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 четвертого типа нейтрино несостоятельна. Использование в проекте BEST высокоинтенсивного источника нейтрино на основе ^{51}Cr с активностью ~3 МКи позволит существенно повысить точность проводимых измерений.

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

В Международной системе единиц (СИ) единицей активности является беккерель. В образце с активностью 1 Бк происходит в среднем 1 распад в секунду. Кюри (Ки) – это внесистемная единица. 1 Ки = $3,7 \times 10^{10}$ Бк. Искусственный источник с активностью 3×10^6 Ки обеспечит не менее чем 10^{17} распадов в секунду.

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 облученного 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 изотопным производством 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 рублей 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 расчетных 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, CrO_2F_2), но и провести конверсию обогащенного продукта в товарную форму – оксид хрома. Причем 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}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 обогащенного фтористого хромилла.

Но не случайно исполнителем этой работы ученые 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.

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 трех 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 ее 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.

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. Ее соорудили в толще горы Андырчи (Баксанское ущелье, Северный Кавказ) еще 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}Cr , из которого был изготовлен искусственный источник нейтрино на основе радионуклида ^{51}Cr для калибровки нейтринного телескопа (эксперимент SAGE – Soviet-American Gallium Experiment, или Советско-Американский Галлиевый Эксперимент).

Галлий-германиевый нейтринный телескоп (ГГНТ) размещен 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 (4 700 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.

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.

Дмитрий КАДОЧНИКОВ

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