

# Земная лаборатория астрофизических процессов

Различные процессы, происходящие в космическом пространстве, с давних пор исследуются с помощью приборов, установленных на Земле или посланных в просторы Вселенной. Поэтому возникает вопрос, как же можно судить об астрофизических процессах, происходящих в космосе, занимаясь измерениями на Земле и, к тому же, с земными объектами?

Оказывается, можно. Для этого требуется мощный источник нейтронов, то есть реактор, и очень чувствительная регистрирующая аппаратура. Эта идея обсуждалась недавно на учёном совете Петербургского института ядерной физики (НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ) в Гатчине, в котором готовится к пуску новый мощный исследовательский реактор ПИК. Прежде, чем рассказывать о ней, перенесёмся в историю более, чем полувековой давности, когда супруги Бэрбидж, Фаулер и Хойл предложили модели образования химических элементов во Вселенной, среди которых одним из основных процессов генерации тяжёлых ядер были вспышки так называемых сверхновых звёзд.

Свет от таких взрывов в сотни миллиардов раз превосходит светимость солнца. В результате взаимодействия огромных потоков нейтронов (незаряженных частиц) с ядрами при очень высоких температурах, равных миллиардам градусов, происходит реакция множественного захвата нейтронов с образованием ядер с аномальным числом составляющих их нейтронов. После завершения взрыва эти неустойчивые объекты распадаются, превращаясь после нескольких цепочек радиоактивных распадов в ядра стабильных элементов, тех самых, которые повсеместно нас окружают в природе, и из которых мы состоим сами. Таким образом, результатом грандиозных космических катаклизмов является генерация огромного количества ядер, как радиоактивных, так и устойчивых. И состав этого месава, согласно теории, зависит от массы каждого ядра. С момента, когда эта теория была разработана, по сей день учёные испытывают большой недостаток знаний о массах ядер. Для абсолютного большинства их, образованных в первые мгновения после взрыва звезды, эти данные полностью отсутствуют.

В то же время, такие ядра можно хотя бы частично получить в земных условиях, бомбардируя уран мощным потоком реакторных нейтронов, чтобы в результате его деления нарабатывать искоемые ядра. Конечно, количества образующихся ядер в реакторе никак не сопоставимы с теми, что синтезируются в космическом пространстве. Кроме того, одно дело произвести эти ядра вблизи активной зоны реактора с максимальным потоком нейтронов, а другое – изучать их в благоприятных условиях низкого радиационного фона, где их будет много меньше из-за издержек транспортировки. Самые интересные ядра получаются с очень малыми вероятностями и являются короткоживущими (в диапазоне секунд и меньше), поэтому для их детектирования требуется очень чувствительная и быстродействующая аппаратура. В настоящее время такими приборами являются ионные ловушки, которые способны распознавать единичные ионы, то есть ядра с недостатком окружающих их электронов. Кроме того, они способны с очень хорошей точностью измерять массы ядер, так необходимые для изучения взрывных астрофизических процессов, но делать это в земных лабораторных условиях. Это очень delicate приборы, однако с ними хорошо справляются сотрудники лаборатории



Ловушка на ладони Сергея Елисеева



Учёный совет. С.Л. Смольский, В.Л. Аксёнов, Ю.Н. Новиков

физики экзотических ядер НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ. Это единственная исследовательская группа в России, умеющая «взвешивать» отдельные ионы с относительной точностью до  $10^{-10}$ . Чтобы осознать уникальность этой прецизионности, представим себе, что вес современного огромного авианосца в сотню тысяч тонн определяется с точностью до 10 грамм!

Уникальным является и реактор ПИК – один из самых мощных по потоку нейтронов исследовательских реакторов в мире, предназначенный для изучения тайн микромира и, как выясняется, ещё и макрокосмоса.

На упомянутом выше учёном совете обсуждался проект этого начинания, которое не будет иметь аналогов в мире. Действительно, хотя имеется ещё пара исследовательских реакторов такой же производительности нейтронов, что и ПИК, ни на одном из них не планируются аналогичные эксперименты с экзотическими ядрами. Так как некоторые из них ещё никогда не наблюдались, эксперименты позволяют открыть новые изотопы элементов. Такая пионерская работа будет выполнена сотрудниками института не впервые. Ещё в конце семидесятых годов прошлого века нами были открыты около полсотни десятка новых изотопов, правда, на другой установке – синхротроне протонов, и с использованием другой методики измерений. Однако алгоритм открытия хорошо усвоен.

Предлагаемый метод измерений с использованием ионных ловушек рассматривается как авангардный в атомной и ядерной физике. Ионные ловушки типа Пеннинга, названные в честь голландского физика, используются в ряде стран (Швейцария, Германия, США, Финляндия и Канада) как приборы для фундаментальных исследований. Их очень немного. В ловушке ион захватывается в микроскопическом пространстве скрещёнными магнитным и электрическим полями и находится в состоянии почти покоя. На такую «сонную» частицу воздействуют внешним управляемым радиочастотным полем, вызывая её хо-

рошо контролируемое движение в ловушке, зависящее от массы, которую определяют в результате калибровки установки ионами с известными массами. Сама ловушка – небольших размеров, о чем можно судить по рисунку, где она размещалась на ладони молодого доктора физ.-мат. наук Сергея Елисеева, запечатлённого с немецким профессором Клаусом Блаумом из Гейдельберга.

Однако полностью экспериментальная установка с системами проводки и управления ионным пучком вне пределов сверхпроводящего магнита занимает пространство небольшого зала, как это видно на фотографии в институте М. Планка в немецком городе Гейдельберге. Внедрение ловушек в научные исследования ознаменовало новую эру в масс-спектрометрии. Она отличается высочайшей прецизионностью, позволившей выйти на новые пласты фундаментальной физики, связанные с так называемой Стандартной моделью элементарных частиц. Венцом этой модели является бозон Хиггса, который недавно был триумфально открыт в Женеве. В тех экспериментах делалась ставка на достижение максимально возможных энергий в ускорителе сталкивающихся частиц, что представляет собой полностью противоположную тенденцию к минимальной энергии, реализуемой в ловушках Пеннинга. Решая много физических задач первостепенной важности, эти небольших размеров приборы были какое-то время в тени высокоэнергетического направления исследований, несмотря на их тысячекратно меньшую капиталозатратность.

Установленная на реакторе ПИК ионная ловушка может функционировать как в режиме онлайн, работая с продуктами деления, так и в режиме оффлайн с долгоживущими нуклидами, нарабатанными на других установках, например, на ускорителе Ц-80, запущенном в строй совсем недавно. Из незавершенных экспериментов оффлайн большой интерес представляют измерения масс нуклидов, обладающих временами жизни, сравнимыми или даже больше воз-



раста Вселенной, определёнными в земной шкале времени. Значительная часть этих нуклидов может играть роль космохронометров, то есть часов Вселенной. Однако в высокотемпературных звёздных условиях возбуждаются состояния ядер, с которых открываются очень быстрые каналы распада, что на много порядков величине уменьшает эффективное время жизни нуклидов, так что они в космосе живут много короче, чем на Земле. Насколько короче? Этот вопрос зависит от баланса масс нуклидов. И опять же ионные ловушки в таких случаях оказываются весьма востребованными, привнося уже другой астрофизический интерес к их измерениям.

В настоящее время лаборатория физики экзотических ядер занята разработкой проекта ПИТРАП, нацеленного на астрофизический контекст исследований на реакторе ПИК. Предполагается, что ТРАП

(«ловушка» в переводе с английского) будет разрабатываться в сотрудничестве с немецкими учёными и нашими соотечественниками, стажировавшимися сейчас за рубежом. Для доставки продуктов деления к ловушкам будет использоваться масс-сепаратор ИРИНА, также находящийся в НИЦ КИ – ПИЯФ в стадии разработки лабораторией короткоживущих ядер.

Исследовательские работы на реакторе ПИК как сложнейшей физической установке достигнут «пика» своей активности через много лет. Однако уже сейчас ведутся активные дискуссии об их многофункциональной направленности для исследований в различных областях знаний. На одном из таких обсуждений развитие астрофизического направления было поддержано членами учёного совета НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ.

Профессор Ю.Н. Новиков

## Голос нашей молодёжи услышат

Научный сотрудник НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ, кандидат физико-математических наук, начальник Научно-методического отдела по работе с молодёжью Надежда Михайловна Чубова вошла в состав координационного совета по делам молодёжи в научной и образовательной сферах при Совете по науке, образованию и технологиям при Президенте Российской Федерации. Соответствующий Указ был подписан 22 июня 2017 года.

Координационный совет по делам молодёжи в научной и образовательной сферах был создан в феврале 2007 года. В настоящее время это консультативный орган, основной целью которого является обеспечение взаимодействия Совета при Президенте РФ по науке и образованию с общественными молодежными объединениями и организациями. Такое взаимодействие становится необходимым в процессе рассмотрения вопросов по профильным направлениям. Надо отметить, что этим сфера деятельности совета не ограничивается. Члены координационного совета принимают непосредственное участие в подготовке предложений президенту РФ по определению приоритетных направлений, механизмов развития и мер реализации государственной политики в сфере науки и образования. Также их мнение учитывается при рассмотрении вопросов, касающихся присуждения премий Президента Российской Федерации в области науки и инноваций для молодых ученых.

Н.М. Чубова окончила кафедру теоретической и математической физики Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого. В 2010 году поступила в аспирантуру Петербургского института ядерной физики в Гатчине (ныне НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ). Сейчас Н.М. Чубова – научный сотрудник лаборатории физики неупорядоченного состояния Отделения нейтронных исследований. Сфера ее научных интересов – изучение свойств геликоидальных магнетиков с помощью рассеяния нейтронов. В 2016 году Надежда успешно защитила кандидатскую диссертацию по теме «Исследование свойств моносицида марганца MnSi и соединений на его основе».

За годы работы в институте Надежда проявила себя не только как увлеченный наукой молодой исследователь, но и как талантливый организатор, активный общественный деятель. За ее плечами – организация и проведение не одного десятка научных мероприятий и конференций, несколько лет напряженной работы в качестве председателя Совета молодых ученых и специалистов, активная преподавательская деятельность.

Поздравляем Надежду с назначением на столь почетную и ответственную работу, желаем ей сохранять свойственные ей инициативность, рассудительность и оптимизм. Уверены, что ее личные качества и накопленный за годы учебы и работы в институте опыт позволят ей достойно представлять НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ в совете, а ее работа принесет пользу важнейшему делу развития науки и образования в нашей стране.

О. Попович

