

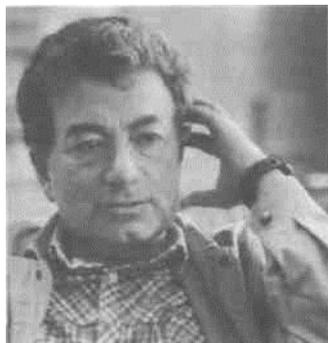
Выдающийся научный результат стал недавно предметом обсуждения на заседании Президиума РАН. Тема научного сообщения члена-корреспондента РАН Ю.Ц. Оганесяна - синтез и химические свойства новых сверхтяжелых элементов. Их нет в Периодической таблице Менделеева, которую все мы изучали на уроках химии в школе, не обнаружены они и на нашей планете, поскольку время их жизни значительно меньше возраста Земли. Пределы существования этих элементов определяются стабильностью их ядер. Ниже публикуется текст научного сообщения и с небольшими сокращениями материалы его обсуждения в Президиуме РАН.

НОВАЯ ОБЛАСТЬ ЯДЕРНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ

Ю. Ц. Оганесян

Известно, что все химические элементы - от самого легкого водорода до самого тяжелого урана - составляют окружающий нас мир. Они существуют в Земле. Это значит, что время их жизни

больше, чем возраст нашей планеты. Элементы тяжелее урана, образовавшиеся когда-то в процессе нуклеосинтеза, не дожили до наших дней. Сегодня их можно получить только искусственным способом.



ОГАНЕСЯН Юрий Цолакович - член-корреспондент РАН, научный руководитель Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова Объединенного института ядерных исследований.

Концепция атома общеизвестна: ядро, которое содержит всю его массу и положительный заряд, а также электронные орбитали. Гипотетически возможны элементы с атомными номерами до 160, быть может, до 170. Однако граница их существования намечается значительно раньше. Причина - нестабильность самого ядра. На карте изотопов, ядра которых содержат разное число протонов и нейтронов, стабильные элементы встречаются только до свинца и висмута (рис. 1). Более тяжелые располагаются на небольшом "полуострове стабильности". Из них лишь торий

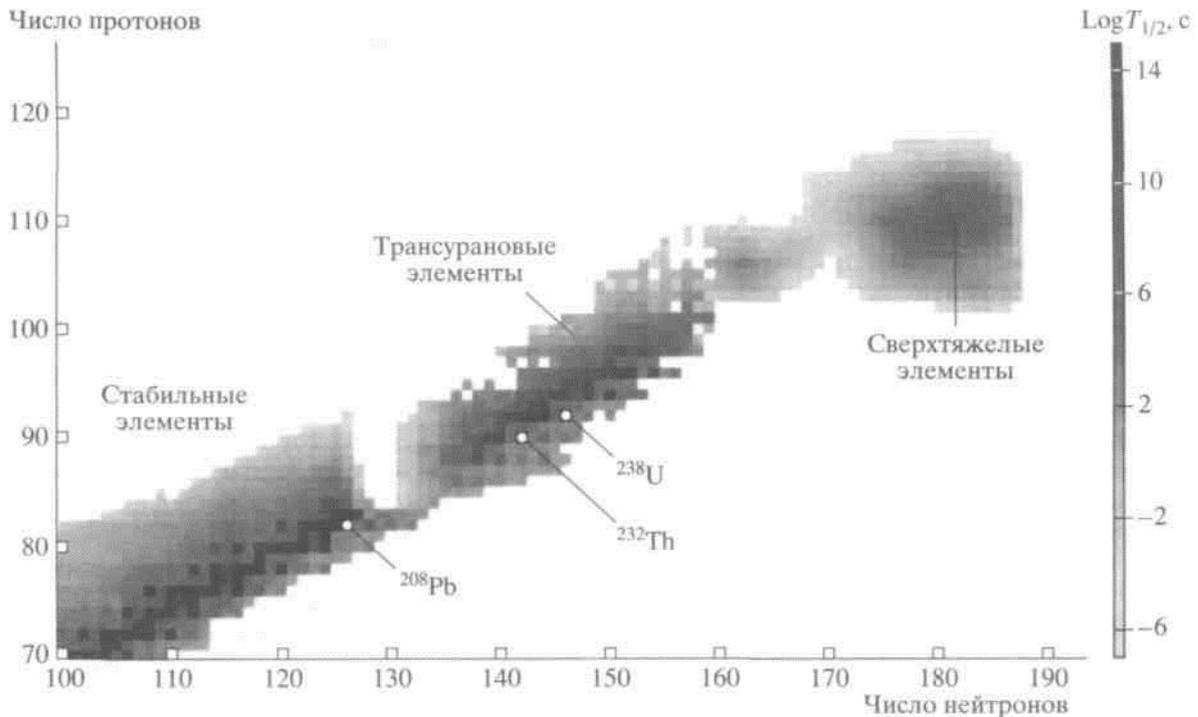


Рис. 1. Карта изотопов с атомными номерами $Z \geq 70$. Стабильность атомов соответствует плотности цвета на правой шкале; для элементов с атомными номерами $Z > 112$ и числом нейтронов $N \geq 165$ приведены теоретические предсказания периодов полураспада гипотетических сверхтяжелых атомов

и уран обнаружены в Земле. Таким образом, вопрос о пределах существования элементов, которые определяются стабильностью ядер, должен быть адресован ядерной физике.

Как только на карте изотопов мы продвигаемся за уран, время жизни ядер резко сокращается. Изотопы трансурановых элементов радиоактивны, они испытывают альфа- или бета-распады. Время жизни ядер уменьшается в логарифмическом масштабе: от урана (92-й элемент) до фермия (элемента с атомным номером 100) стабильность ядер падает на 20 порядков с лишним (см. рис. 1). На самом деле время жизни ядер уменьшается значительно быстрее. В области 100-го элемента к альфа-распаду добавляется спонтанное деление - четвертый тип радиоактивности. Оно было открыто К.А. Петржаком и Г.Н. Флеровым 60 лет назад как редкая разновидность распада урана, но спонтанное деление становится основным, когда речь заходит о более тяжелых элементах.

Предсказали это явление Н. Бор и Дж. Уилер в 1939 г. Согласно Бору и Уилеру, подобный процесс может произойти, если предположить, что ядерное вещество обладает свойствами бесструктурной материи типа капли заряженной жидкости. Если капля испытывает деформацию под действием электрических сил, то ее потенциальная энергия увеличивается до определенного преде-

ла, а затем необратимо уменьшается с ростом деформации до тех пор, пока капля не разделится на две части. Таким образом, у ядра урана возникнет некий барьер. Он удерживает это ядро от деления на протяжении 10^{16} лет. Если перейти от урана к более тяжелому элементу, в ядре которого кулоновские силы значительно больше, барьер понижается и вероятность деления сильно возрастает. Наконец, при дальнейшем увеличении заряда ядра уже не будет никакого барьера и тогда даже сферическая форма капли оказывается неустойчивой - капля разделится на две части. Это и есть предел стабильности ядра. По расчетам Бора и Уилера, предел ожидался для элементов с атомными номерами 104-106.

Совершенно неожиданно в 1962 г. сотрудники нашей лаборатории обнаружили у тяжелых ядер, включая уран, еще один период полураспада. Получалось, что у одного и того же ядра могут быть два однотипных распада с различной вероятностью или два времени жизни. Для урана одно время составляет 10^{16} лет, что и было установлено Флеровым и Петржаком, а второе, очень короткое, - всего 0.3 микросекунды. При двух периодах полураспада надо полагать наличие у ядра двух состояний, из которых происходит деление. Это никоим образом не представляет о капле не вписывается. Два состояния могут быть только в том

случае, если тело не аморфное, а обладает внутренней структурой. Итак, ядерное вещество не является полным аналогом капли заряженной жидкости. Капля есть некое приближение к описанию ядерной материи; ядро же имеет внутреннюю структуру.

Вопросами ядерной структуры занялись теоретики-ядерщики, в нашей стране - В.М. Струтинский, С.Т. Беляев, В.В. Пашкевич и др. Они решали довольно сложную задачу, пытаясь объяснить, почему барьер урана двугорбый и как меняется структура ядра при его деформации. Если найденное теоретиками объяснение правильно отражает свойства ядер, то ситуация со сверхтяжелыми элементами будет совсем не такой, как прогнозировалось для капли жидкости. В тяжелых элементах структура должна проявляться в полной мере там, где капля несостоятельна, и будет возникать так называемый структурный барьер. А это означает, что ядро может жить долго, иногда очень долго.

Нетривиальный вывод теории привел, по существу, к предсказанию гипотетической области стабильности сверхтяжелых элементов, расположенных далеко от тех элементов, которые нам хорошо известны. Как только это было предсказано, крупнейшие лаборатории мира буквально бросились проверять на опыте данную гипотезу. Однако во всех опытах, проводившихся в лабораториях США, Франции и Германии, были получены отрицательные результаты.

Последние два года в Дубне мы осуществляли синтез самых тяжелых элементов с атомными номерами 114 и 116. Задача состояла в том, чтобы получить атомы элементов, ядра которых обладают большим избытком нейтронов. Только так мы смогли бы приблизиться к границам гипотетического "острова стабильности" и наблюдать увеличение времени жизни сверхтяжелых ядер. Результаты опытов привели нас к выводу о том, что "остров стабильности" действительно существует.

Каковы пути синтеза сверхтяжелых ядер?

В первых экспериментах применялся нейтронный метод, когда в ядро "вгоняется" очень много нейтронов. В этом случае естественным было бы облучение исходного вещества мощным потоком нейтронов, для чего использовались все более и более мощные реакторы. Однако реакторный способ синтеза исчерпал себя на фермии (элементе с атомным номером 100), потому что изотоп фермия с массой 258, который должен получаться в результате захвата нейтронов, живет лишь 0.3 миллисекунды. Вся цепочка последовательного захвата нейтронов разорвалась на ступени захвата 24-го нейтрона. Нам же необходимо пройти более 60 ступеней. Попытка американских исследователей получить сверхтяжелые элементы в

ядерных взрывах, то есть в мощном импульсном потоке нейтронов, в конечном итоге привела к образованию того же изотопа 100-го элемента с массой 257.

Бесперспективность нейтронного метода навела нас на мысль о принципиально ином способе синтеза сверхтяжелых элементов, который начал развиваться в середине 50-х годов. Речь идет о тяжелоядерном синтезе, когда два тяжелых ядра сталкиваются друг с другом: если они сольются, появится ядро суммарной массы. Для того чтобы произошла такая реакция, необходимо одно из ядер разогнать до скорости примерно 0.1 скорости света. Эту функцию выполняют ускорители. Наши знания о свойствах тяжелых элементов с атомными номерами из второй сотни получены с помощью ускорителей тяжелых ионов в реакциях подобного типа.

Каковы свойства трансурановых элементов?

Если 92-й элемент - уран - живет 1 млрд. лет, то тяжелое ядро 112-го элемента - всего 0.1 миллисекунды. Действительно, увеличение атомного номера на 20 единиц приводит к уменьшению времени жизни ядра более чем в 10^{20} раз. Однако на карте изотопов (см. рис. 1) "остров стабильности" расположен там, где ядра содержат значительно больше нейтронов. Синтезировать нейтронно-избыточные ядра трудно, так как в стабильных нуклидах отношение числа протонов к числу нейтронов строго определено. Мы решили использовать реакции, в которых большой нейтронный избыток изначально задан как в ядре материала мишени, нарабатываемого в ядерном реакторе, так и в ядре-снаряде. В качестве последнего были выбраны ядра кальция-48.

Кальций-48 - стабильный изотоп элемента с атомным номером 20. Кальция в природе много, но его изотоп с массой 48 крайне редок: всего 0.18% в обычной кальции. Выделить этот изотоп из кальция невероятно трудно. Тем не менее, если бы нам удалось ускорить ионы кальция-48, то, облучая уран, плутоний или кюрий, мы могли бы пробраться в заветную область, где ожидается подъем стабильности ядер химических элементов, и там должны были бы почувствовать эффект резкого увеличения времени жизни сверхтяжелых элементов.

В нашем эксперименте исходным веществом служил самый тяжелый изотоп плутоний (атомный номер 94) с массой 244, а в качестве бомбардирующего иона использовался изотоп кальция-48. Мы рассчитывали, что реакция слияния ядер приведет к образованию 114-го элемента, который должен быть более устойчивым, чем 112-й элемент или более легкие, полученные ранее в других реакциях.

Для того чтобы поставить подобный опыт, нужен был ускоритель с мощностью пучка каль-

НОВАЯ ОБЛАСТЬ ЯДЕРНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ

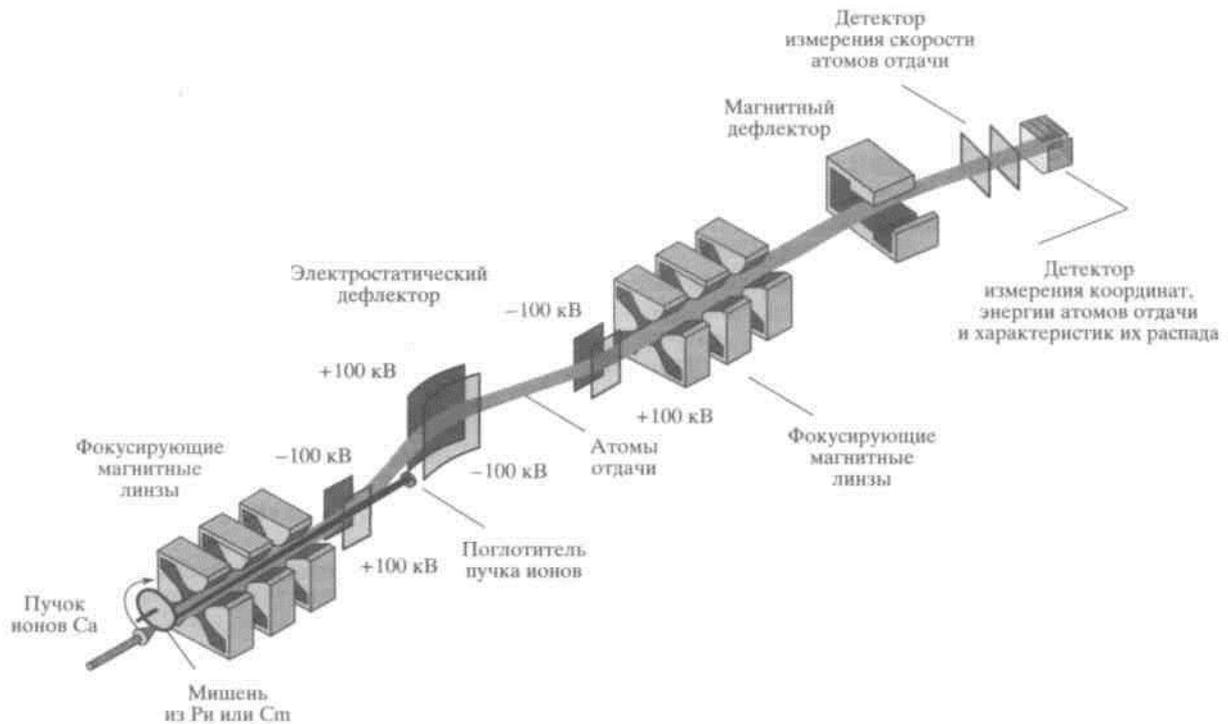


Рис. 2. Схема кинематического сепаратора "Василиса", установленного на ускорителе тяжелых ионов в Объединенном институте ядерных исследований в Дубне. Сепаратор отделяет сверхтяжелые атомы от более легких ионов кальция-48 и других продуктов ядерной реакции

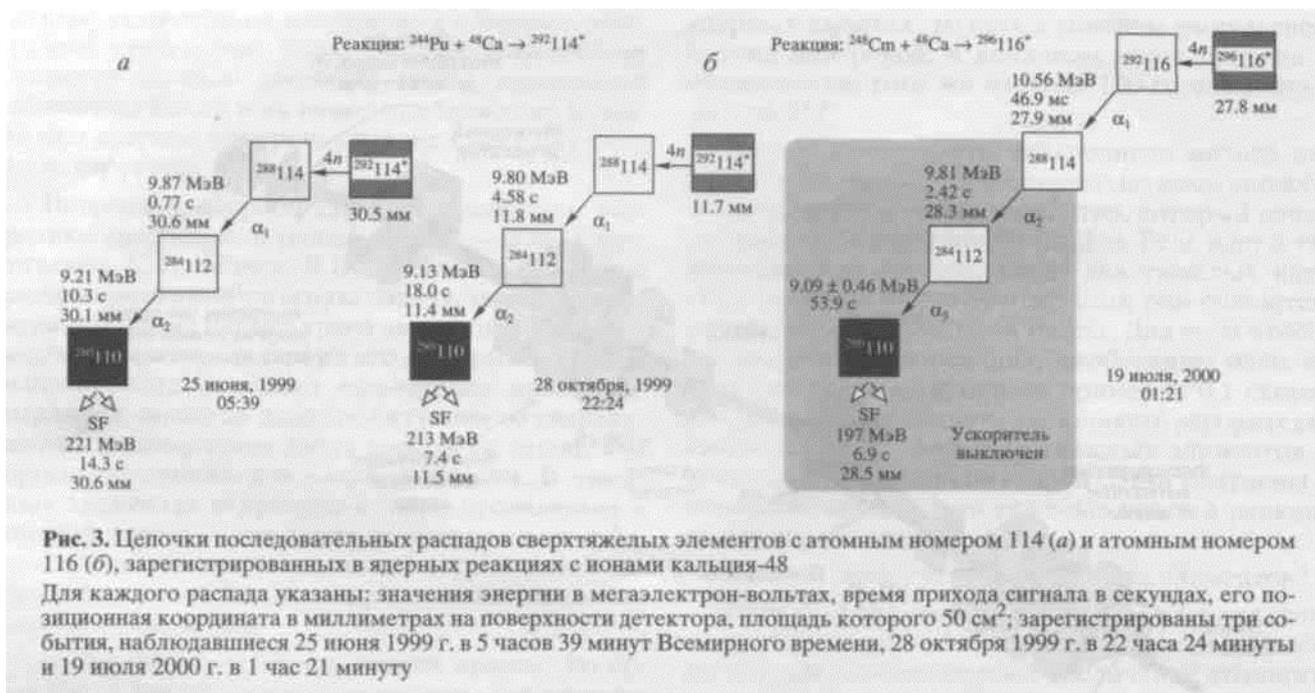
ция-48, превосходящей все известные ускорители в десятки раз. При этом он должен давать высокую интенсивность ускоренных ионов и как можно меньше расходовать дорогостоящего кальция-48. Это потребовало от нас длительных и напряженных поисков. В конце концов за пять лет такой ускоритель в Дубне был создан. При очень малом расходе вещества (0.3 мг/ч) мы получили интенсивность пучка в несколько единиц на 10^{12} ионов/с. Теперь можно было ставить эксперимент в сто, в тысячу раз более чувствительный, чем это делали ранее мы сами и наши коллеги в других странах на протяжении последних 25 лет.

Несколько слов о самом эксперименте. Получив пучок кальция, мы облучали мишень из плутония. Тяжелый изотоп плутония-244 был нам предоставлен Ливерморской национальной лабораторией (США). Если в результате процесса слияния двух ядер образуются атомы нового элемента, то они должны вылетать из мишени и вместе с пучком продолжать движение вперед. Теперь их надо было отделить от ионов кальция-48 и других продуктов реакции. Эту функцию выполнял сепаратор (рис. 2), в котором присутствует поперечное электрическое поле. Поскольку скорости ядер разные, пучок останавливается в поглотителе, в то время как тяжелые ядра отдачи 114-го элемента его огибают, продолжая двигаться по криволинейной траектории, и в конце кон-

цов доходят до детектора. Детектор распознает тяжелое ядро и фиксирует его распад.

Что, собственно говоря, мы ожидали?

Если справедлива гипотеза об "острове стабильности" в области сверхтяжелых элементов и эти ядра очень устойчивы относительно спонтанного деления, тогда они должны испытывать альфа-распад. Иными словами, ядра на вершине и вблизи вершины стабильности, устойчивые к спонтанному делению, должны быть альфа-радиоактивными. Такое ядро, как известно, спонтанно выбрасывает альфа-частицу (ядро гелия), состоящую из двух протонов и двух нейтронов, переходя в дочернее ядро. В выбранной нами реакции ядра 114-го элемента переходят в ядра 112-го, в свою очередь ядра 112-го элемента тоже должны испытывать альфа-распад и переходить в ядра 110-го и т.д. Но по мере последовательных альфа-распадов мы все дальше и дальше отдаляемся от вершины стабильности, как бы спускаемся с горы, и в конце концов попадем в "море нестабильности", где преобладающим типом распада будет спонтанное деление. Экспериментатор должен наблюдать весьма яркую картину: в результате последовательных альфа-распадов, каждый из которых оставляет в детекторе энергию около 10 МэВ, происходит деление, в ходе которого сразу высвобождается энергия около 200 МэВ. На этом цепочка распадов обрывается.



Действительно, в течение эксперимента, продолжавшегося непрерывно три месяца, мы, кажется, впервые наблюдали то, что предсказывала теория. Когда ядро отдачи пришло в детектор, который измеряет с высокой точностью его энергию, скорость и координаты места остановки, мы зарегистрировали альфа-частицу с энергией 9.87 МэВ через секунду после остановки. (Отметим, что в самом тяжелом ядре, синтезированном ранее, время альфа-распада занимало всего две десятитысячные доли секунды.) Затем, спустя 10.3 секунды вылетела вторая альфа-частица с энергией 9.21 МэВ, а спустя еще 14.5 секунды произошло спонтанное деление. Вся цепочка распадов продолжалась около полминуты (рис. 3, а).

Второе событие было такое же, как первое, - они совпали друг с другом по 13 параметрам. Поэтому вероятность случайных совпадений сигналов в детекторе, имитирующих подобный распад, составляет всего Ю⁻¹⁶.

В том же эксперименте наблюдалось еще одно событие, значительно более долгоживущее: распад исчислялся уже минутами.

Если на карте изотопов мы перемещаемся в область ядер с дефицитом нейтронов, то спонтанное деление становится все более и более вероятным, что было обнаружено, когда вместо мишени из плутония-244 использовался более легкий изотоп - плутоний-242. В эксперименте точно воспроизведен сценарий, предсказанный теорией, которая утверждает, что "остров стабильности", находится среди ядер, обогащенных нейтронами.

Таким образом, синтезированные ядра - изотопы 114-го элемента и их дочерние продукты альфа-распада, новые изотопы 112-го и 110-го

элементов - уже испытывают действия структурных сил, формирующих "остров стабильности" сверхтяжелых элементов. И несмотря на то, что синтезированные ядра находятся еще на значительном расстоянии от вершины стабильности, тем не менее время их жизни составляет минуты и десятки минут. Их стабильность по сравнению с изотопами тех же элементов, удаленных от границ "острова стабильности" на 6-8 нейтронов, примерно на 5 порядков больше.

Мы сделали попытку синтезировать 116-й элемент, используя в качестве мишени изотоп 96-го элемента - кюрия с массой 248 в сочетании все с тем же кальцием-48. Уникальное вещество - кюрий-248 было получено на мощном реакторе НИИ атомных реакторов в г. Димитровграде. Наблюдение цепочки распадов 116-го элемента стало бы еще одним доказательством получения 114-го элемента: в первом случае он был синтезирован непосредственно при облучении плутониевой мишени, в этой же реакции - в результате альфа-распада более тяжелого родителя. Иными словами, мы должны были еще раз (уже третий) наблюдать, кроме 116-го элемента, всю цепочку распада 114-го элемента.

После вылета альфа-частицы от распада 116-го элемента ускоритель выключался и выключалось все силовое оборудование в лаборатории для того, чтобы создать абсолютно бесфоновые условия. Действительно, после того как тяжелое ядро отдачи пришло в детектор, спустя 47 миллисекунд вылетела альфа-частица с энергией 10.56 МэВ, которая отключила все мощное оборудование. И уже в совершенно спокойных условиях мы наблюдали

вылет еще одной альфа-частицы, затем другой и, наконец, спонтанное деление.

Если сравнить цепочку распадов после отключения ускорителя с тем, что мы наблюдали при синтезе 114-го элемента, то можно увидеть полное совпадение по всем параметрам (рис. 3, б). Это действительно был распад 114-го элемента, а, стало быть, предыдущая альфа-частица относится к 116-му элементу. Сейчас опыт продолжается, мы хотим зарегистрировать больше событий.

Сравним предсказание теории с нашими экспериментальными данными. Для 116-го элемента, согласно теории, с увеличением числа нейтронов в ядре от 166 до 176 время жизни должно было бы возрасти на 5 порядков. Эксперимент дал величину примерно 6 порядков. Для 114-го элемента та же картина: при увеличении числа нейтронов в ядре от 164 до 174 период полураспада возрастает более чем на 6 порядков. Для 112-го элемента избыток в 10 нейтронов также повышает стабильность ядра на 5-6 порядков. Такая же картина характерна для изотопов 110-го элемента. Это хорошее согласие с теорией. Кроме того, эксперимент показывает, что сверхтяжелые нуклиды, имеющие избыток нейтронов, более долгоживущие, чем следует из теории.

Хочу обратить внимание на то, что время жизни химических элементов, находящихся на вершине "острова стабильности", может составлять миллионы лет. Оно не дотягивает до возраста Земли, исчисляемого в 4.5 млрд. лет. Но если учесть, что в эксперименте мы имеем превышение стабильности над расчетными значениями на отрогах "острова стабильности", то не исключено присутствие сверхтяжелых элементов в нашей планетной системе либо в космических лучах. В космосе могут существовать сверхтяжелые элементы, время жизни которых измеряется миллионами лет.

Важно еще одно обстоятельство: Периодическая таблица Менделеева пополнилась новыми элементами с атомными номерами 114 и 116. Эксперименты показали, что увеличение числа нейтронов в ядрах элементов 112, 110 и 108 существенно продлевает время их жизни. Элементы 112-й, 110-й и 108-й, которые живут минуты, стали вполне доступны для исследования методами современной радиохимии. Можно ставить опыты по проверке фундаментального закона Менделеева относительно унификации химических свойств в колонках. Применительно к сверхтяжелым элементам мы должны считать 112-й элемент гомологом кадмия, ртути; 114-й - аналогом олова, свинца и т.д. Пока это - простая экстраполяция наших представлений на ранее неизвестные элементы, но фундаментальный закон периодичности химических свойств элементов можно теперь проверить экспериментально.

В заключение вновь вернусь к тому, с чего я начал свое сообщение. Стабильные элементы заканчиваются свинцом и висмутом. Ядра этих атомов являются магическим, что определяется повышенной энергией связи нуклонов в ядре. Затем следует область радиоактивных элементов, среди которых торий и уран наиболее устойчивы. Их период полураспада сравним с возрастом нашей планеты. По мере продвижения в сторону более тяжелых элементов время жизни ядер резко уменьшается. "Полуостров" радиоактивных элементов имеет выраженные границы. Теория предсказывала, что за "полуостровом" будут следовать "острова стабильности". Они будут расположены в области очень тяжелых элементов, ядра которых обогащены нейтронами. Мы только приблизились к границам этого гипотетического "острова стабильности". Опыты продолжаются.

После выступления Ю.Ц. Оганесян ответил на вопросы.

Академик А.Ф. Андреев. На карте изотопов показано время их жизни. Все максимумы соответствуют примерно одному и тому же числу нейтронов. Так ли это?

Ю.Ц. Оганесян: Действительно, определенная комбинация протонов и нейтронов в ядре атома приводит к дополнительной энергии связи, а следовательно, и к повышению стабильности этой системы. Подобным же образом атомы химических устойчивых элементов имеют определенное число электронов в своих замкнутых оболочках. Разумеется, оболочки в ядре - несколько условное понятие. В сверхтяжелых ядрах стабильность резко возрастает при подходе к замкнутой нейтронной оболочке с числом нейтронов 184. Подобная оболочка существует в свинце, но при 126 нейтронах. Как в химии после аргона идет ксенон, так и в ядерной физике после свинца идет сверхтяжелый элемент в силу того, что за устойчивой нейтронной оболочкой с числом нейтронов 126 следует оболочка с числом нейтронов 184.

А.Ф. Андреев: Сам факт наличия таких оболочек означает, что ядро - это существенно конечная система?

Ю.Ц. Оганесян: Да. Если бы в ядре свинца не было оболочек, то не было бы и самого свинца, то есть свинец был бы радиоактивным элементом. На самом деле свинец стабильный. Подобный эффект увеличивает время жизни ядра, а следовательно, и атома сверхтяжелого элемента.

Академик О.М. Нефедов: Что делается по 114-му и 116-му элементам в других конкурирующих лабораториях?

Ю.Ц. Оганесян: Естественно, после того как мы опубликовали результаты наших работ во многих ведущих журналах, возник интерес к этим исследованиям. Помимо нас, четыре националь-

ные лаборатории - в США, Германии, Франции и Японии - занимаются синтезом новых элементов. Думаю, спустя некоторое время коллеги за рубежом смогут повторить наши опыты, но учитывая, что опыты достаточно продолжительные, мы их пока опережаем на два-три года.

Академик Г.А. Месяц: Когда был построен ваш ускоритель?

Ю.Ц. Оганесян: В 1980-м и тогда он был одним из лучших. Но когда мы начали заниматься проблемой синтеза сверхтяжелых элементов, то убедились, что мощность его пучков мала для этой задачи, а расход изотопа кальция-48 неоправданно велик. И за пять последних лет, начиная с 1994 г., мы провели коренную реконструкцию ускорителя, чтобы поднять интенсивность пучка примерно в 50-100 раз.

Академик В.Л. Гинзбург: В литературе сообщалось об открытии 118-го элемента. Где он находится на вашем "острове стабильности"? Это первое. А во-вторых, что более важно, проводились поиски длинных треков сверхтяжелых элементов в метеоритах. Но я много лет не видел на этот счет никаких публикаций. Между тем метод, по-моему, перспективный. Интересно, что нового здесь есть?

Ю.Ц. Оганесян: Начну с поисков сверхтяжелых элементов в природе. Они велись на протяжении более чем 10 лет под руководством Георгия Николаевича Флерова. Тогда предполагалось, что самым стабильным должен быть 114-й элемент. Наши же результаты показывают, что самым стабильным будет не 114-й, и даже не 112-й элемент, а 110-й или 108-й элементы. То есть надо получить ядро с избытком нейтронов и с меньшим атомным номером, тогда его стабильность будет существенно выше. И не бессмысленно продолжать поиск сверхтяжелых элементов в природе, но только уже в новой области.

Что касается 118-го элемента, то американские физики в Беркли сделали попытку его получить, облучая свинец ионами криптона. Таким способом, в принципе, может быть синтезировано ядро с большим числом протонов - 118, но относительно малым числом нейтронов. Из-за недостатка нейтронов здесь не ожидается никакого подъема стабильности, тем не менее такой эксперимент был поставлен, данные его опубликованы. Но они, к сожалению, не были воспроизведены в этой же реакции в других лабораториях и даже самими авторами, которые сейчас разбираются с результатами своего эксперимента.

Академик Г.С. Голицын: Эти оболочки в ядре с числом нейтронов 126 и 184 находят ли какое-то геометрическое объяснение, например, минимум какого-то потенциала либо еще чего-то? Или это просто пока опытные факты?

Ю.Ц. Оганесян: Замкнутые оболочки протонов и нейтронов в ядрах - это экспериментальный факт, но они рассчитываются и в рамках современных моделей ядра. Конечно, оболочка с числом нейтронов 184 получена расчетным путем. Теория предсказывала, что при определенном числе протонов и нейтронов могут возникнуть внутренние дополнительные силы, которые будут удерживать очень тяжелое ядро от спонтанного деления. Даже если ядро деформировано, все равно эти силы в нем действуют. Такое сверхтяжелое ядро не должно было бы существовать, если бы подобных сил не было, то есть если бы ядерная материя была бы бесструктурным аморфным телом. Но наличие структурных сил очень избирательно.

Г.С. Голицын: Эти силы как-то определяются?

Ю.Ц. Оганесян: По-существу, это тот же потенциал, с помощью которого решается задача многих тел. Имеется 300 частиц, определенное число из них протоны, другие - нейтроны. Рассматривается движение частиц в поле ядра и определяются энергетические состояния частиц и системы в целом, то есть масса ядра, его энергия связи, форма. Меняя число протонов и нейтронов, можно ограничить круг ядер, обладающих максимальной энергией связи. Их принято называть "магическими". У свинца два магических числа: для протонов - 82 (атомный номер свинца) и для нейтронов - 126. В этом смысле свинец-208 является дважды магическим ядром. Следующее подобное дважды магическое ядро будет иметь изотоп 114-го элемента с числом нейтронов 184. Мы пытаемся до него дойти, не дошли еще, но наблюдаем эффект повышения стабильности ядер у его соседей.

Академик В.А. Матвеев: Я задам вопрос, может быть, не прямо связанный с темой вашего доклада, но близкий к ней. Речь идет о возможности существования гипотетических форм долгоживущего ядерного вещества, которое может состоять не из кварков, образующих нуклоны, а из странных кварков. Эти научные исследования, скорее, размышления, выплеснулись в широкую прессу, и даже было объявлено на весь мир об апокалипсисе, который грозит Земле в результате новых экспериментов на ускорителях со встречными пучками. Ваше чутье физика, который в этой области давно работает, не подсказывает ли оно вам, насколько такое возможно?

Ю.Ц. Оганесян: Существование новых форм материи вполне возможно. И гиперядра могут быть более стабильными, чем обычные ядра. Априори ничего не исключено. Но я не могу делать комментарии, кроме тех, что подобные ядра могут быть.

В.А. Матвеев: Можно ли поставить подобный эксперимент?

Ю.Ц. Оганесян: Насчет эксперимента я сейчас не отвечу. Нельзя исключить возможность получения сверхтяжелого гиперядра, как нельзя исключить и то, что обсуждаемый "остров стабильности" химических элементов не последний. Если магические комбинации работают, то могут быть еще более тяжелые ядра. Сейчас теоретики рассматривают структуру сверх-сверхтяжелых ядер вплоть до массы 500, мы же обсуждаем свойства ядер с массой 300. Но должен сказать, что даже и столь незначительное продвижение в область больших масс ядер заметно расширяет пределы существования элементов в природе. И это, пожалуй, основной вывод нашей работы.

В обсуждении научного сообщения Ю.Ц. Оганесяна приняли участие: член-корреспондент РАН Ю.Г. ЛБОВ, академик А.Ф. АНДРЕЕВ, член-корреспондент РАН С.С. ГЕРШТЕЙН, академики В.Г. КАДЫШЕВСКИЙ, Г.А. МЕСЯЦ, Б.Ф. МЯСОЕДОВ, О.М. НЕФЕДОВ.

В.Г. Кадышевский: Начну с небольшого экскурса в историю. Объединенному институт ядерных исследований в Дубне скоро исполнится 45 лет. Он создавался как центр изучения физики элементарных частиц или физики высоких энергий. У каждого времени свое понятие об элементарных частицах и о высоких энергиях. Тогда элементарными считались протон, нейтрон, а энергии были достаточно скромные. Дубна была неким аналогом Европейского центра ядерных исследований (ЦЕРН), а в сущности была даже в политическом смысле ответом на его образование. Сейчас ЦЕРН - общепризнанный центр по физике элементарных частиц или высоких энергий, выражаясь по-нашему, головное предприятие. Дубна пошла несколько иным путем. Здесь развиваются многочисленные направления, связанные с наукой о строении материи. И тем, что мы сегодня обсуждали, - синтезом сверхтяжелых элементов - в ЦЕРНе не занимаются. Мы, если забыть о скромности, признанные во всем мире лидеры в этой области.

Не случайно в таблице Менделеева под номером 105 числится элемент "Дубний". Когда Международный союз по теоретической и прикладной химии принимал соответствующее решение, то было отмечено, что институт в Дубне внес определяющий вклад в эту область науки. Конечно, эти достижения в первую очередь связаны с именем Флерова, с лабораторией, которую он основал и которой сейчас руководит его ученик Юрий Цолакович Оганесян. Хочу сказать то, что Юрий Цолакович по скромности не мог здесь произнести. Ему совсем недавно присвоена престижная Премия имени Лизы Мейтнер Европейского физического общества как раз за заслуги, связанные с синтезом сверхтяжелых элементов, в том числе и "Дубния".

И последнее. 1 января 2001 г. в журнале "Физическое обозрение" опубликована статья Оганесяна с коллегами об открытии 116-го элемента. Характерно, что рецензент просил ничего не менять в тексте этой статьи. Таким образом, на очень высоком уровне научная экспертиза того открытия, о котором сегодня рассказывал Юрий Цолакович, уже состоялась.

С.С. Герштейн: Хочу обратить внимание на то, что открытие сверхтяжелых элементов с атомными номерами 114 и 116 может иметь большое значение и для исследования Вселенной. Как известно, в результате первичного нуклеосинтеза во Вселенной образовались водород, гелий, ничтожное количество дейтерия, гелия-3, может быть, лития. Все остальные элементы "варятся" в звездах. Имеется очень хорошее совпадение по железу, но при взрыве сверхновых звезд, когда есть нейтронные потоки, получить трансурановые элементы или элементы актиноидной группы довольно трудно, потому что в этих быстрых процессах потоки нейтронов недостаточны. Однако уже давно был указан и другой способ получения в природе нужного количества этих элементов - путем извержения из нейтронных звезд.

Нейтронные звезды в условиях "нейтронной бани" могут содержать, по расчетам, ядра с массой до 500. И если каким-то образом происходит извержение этих ядер, то в результате их распада могут возникать сверхтяжелые элементы. Это гипотеза старая, она принадлежит Маеиру и Теллеру. По-моему, Виталий Лазаревич Гинзбург также высказывал эти идеи.

Недавно было показано, что столкновение нейтронных звезд - сравнительно частое событие. С ними связывалось, правда, не всегда достаточно обосновано, излучение гамма-всплесков большой мощности. Если, действительно, происходят столкновения нейтронных звезд, при которых выбрасываются тяжелые элементы, то их присутствие можно попытаться обнаружить в космических лучах.

Насколько я помню, чуть ли не в 50-х годах общалось о наблюдении в фотоэмульсиях треков частиц, которые вызывали очень большую ионизацию. Тогда же Ферми думал, не монополю ли это, поскольку он тоже характеризуется большой ионизацией. Если есть надежда на то, что существует 108-й элемент со временем жизни миллионы лет, то на Земле, возраст которой 4.5 млрд. лет, он вряд ли выживет. Но в космических лучах такое, по-видимому, возможно. И при наблюдениях космического пространства интересно было бы поискать тяжелые элементы.

Ю.Г. Абов: Открытие "острова стабильности" сверхтяжелых ядер, сделанное Юрием Цолаковичем Оганесяном и его коллегами, с полным правом можно считать работой нобелевского уров-

ня. Это прорыв в ядерной физике вообще, и в физике ядерных реакций с тяжелыми ионами, в частности.

На протяжении десятков лет в Лаборатории имени Г.Н. Флерова ведутся комплексные исследования по физике столкновения тяжелых ионов. Этот процесс принципиально отличается от ядерных реакций с легкими заряженными частицами. В случае легких частиц ядерная реакция после преодоления частицей кулоновского барьера протекает мгновенно - за 10^{-22} секунды. Здесь же два сгустка ядерной материи взаимодействуют в десять, в сто раз дольше, идет длительный и самый сложный процесс, в ходе которого возникает обмен нейтронами, реализуются различные конфигурации ядер - вытянутые, сильно вытянутые, гантелеобразные с перетяжкой (шейкой), без шейки и т.д. На этой сильно возбужденной стадии происходит эмиссия нейтронов, гамма-квантов и других частиц, прежде чем образуются компаунд-ядра, которые, оказываясь, могут долго жить. Сечение процесса с выходом компаунд-ядер невероятно мало - миллиардные доли от полного сечения реакции. Юрию Цолаковичу удалось зарегистрировать этот процесс благодаря тому, что он не только физик-ядерщик, но и физик-ускорительщик. Чтобы осуществить реакцию, нужно было создать именно такой источник и разработать именно такой способ экономного ускорения дефицитных ядер (дефицитных в том смысле, что их мало в обычном кальции), какие использовал Оганесян.

Что же касается ядерного вещества, то при столкновении ионов образуется новая ядерная материя. Элементарные частицы в ней ведут себя не так, как в вакууме. Значит, для того чтобы понять природу взаимодействия частиц с ядрами, с ядерной материей, нужно знать свойства самой этой материи. Они изучаются в Лаборатории имени Г.Н. Флерова. Некоторая информация об этой материи уже получена. В ней возникают фазовые переходы, например, переход типа "жидкость-газ", в данном случае ферми-жидкость и ферми-газ. И эти фазы могут сосуществовать друг с другом.

На наших глазах появилась физика плазмы. Сегодня мы узнали, что существует и другая физика - физика ядерной материи, и нам приятно сознавать, что в этой области мы ушли вперед. Недавно опубликовано сообщение из ЦЕРНа о том, что при столкновении ядер свинца с энергией около 200 ГэВ/нуклон возникло подозрение о фазовом переходе и наблюдении кварк-глюонной плазмы. Это другое состояние вещества, но кварк-глюонную плазму непосредственно наблюдать невозможно, можно получить лишь косвенные указания о ее существовании.

Повторю: для того чтобы делать фундаментальный вывод о том, что происходит при взаимодействии элементарных частиц с ядерной материей, надо знать ее свойства. На пути этого познания флагманом не только в России, но и в мире является Лаборатория имени Г.Н. Флерова, которую возглавляет Юрий Цолакович Оганесян. Не мы с вами присуждаем Нобелевские премии, но кое-что в этом решении зависит и от нас.

Б.Ф. Мясоедов: Мне посчастливилось быть непосредственным участником работ по синтезу тяжелых элементов в далеком теперь 1954-м, когда Г.Н. Флеров поставил проблему. До того времени все элементы "конца" Периодической системы синтезировались только в Соединенных Штатах Америки.

По просьбе И.В. Курчатова директор Института геохимии и аналитической химии А.П. Виноградов командировал группу молодых химиков для участия в работах по синтезу элементов. В то время они проводились в институте Курчатова на старом циклотроне, предназначенном для ускорения только протонов. В распоряжении не было тяжелых ядер. Мы использовали лишь плутоний, да и то не самый тяжелый - плутоний-242. Тем не менее, уже в те годы были синтезированы 103-й, 104-й и 105-й элементы. К сожалению, Международный союз по теоретической и прикладной химии поспешил с утверждением названий этих элементов, потому что первые открытия, которые были сделаны в США и в Швеции, оказались неверными. Затем комиссия из ведущих международных экспертов подтвердила, что в открытии 102-го элемента приоритет принадлежит Дубне, в открытии 103-го, 104-го и 105-го элементов - в равной степени дубненской и американской группам. Дубненскую группу исследователей возглавлял в то время Флеров. Конечно, за прошедшие годы многое изменилось: построен специальный циклотрон, лучший в мире, который позволяет проводить синтез элементов в оптимальных условиях, появились совершенно новые подходы в решении этой проблемы.

Если в первых работах старались использовать как можно более тяжелые частицы для облучения, рассматривался и даже рассчитывался вариант, когда по урану хотели "стрелять" ядрами урана, то Юрию Цолаковичу Оганесяну принадлежит блестящая идея, принятая сейчас во всем мире: проводить синтез в условиях образования "холодных ядер", когда бомбардируемая частица имеет достаточно большую массу и, следовательно, образующееся в реакции сверхтяжелое ядро не сильно возбуждено. Тогда вероятность возникновения новых элементов существенно возрастает.

Сегодня уже говорилось, что в честь огромного вклада в развитие ядерной физики и ядерной

радиохимии один из элементов, синтезированных в Дубне, а именно 105-й, назван "Дубний". Это второй элемент, который открыт нашими соотечественниками, первым был рутений в 1844 г. В Дубне впервые в мире синтезированы 114-й и 116-й элементы. И мы надеемся, что этим элементам также будут присвоены названия, которые предложат авторы открытия. Считаю нужным выразить благодарность Минатому, поддерживающему эти интересные и крайне важные исследования, и пожелать новых больших успехов их участникам.

О.М. Нефедов: Наверное, самое интересное в науке - это то, что связано не только с одной областью знаний и достигается с участием специалистов из нескольких областей. Мне кажется, что блестящий по форме и по содержанию доклад, который мы заслушали сегодня, - яркий пример того, что можно сделать совместными усилиями специалистов по ядерной физике и ядерной химии. Следует сказать, что одно из самых ярких открытий отечественной науки - это Периодический закон Менделеева. Мне представляется, что результаты, доложенные нам, существенно дополняют Периодическую систему Менделеева.

Исключительно непросто обстоит дело с признанием приоритета в науке. Два международных союза - физиков и химиков - многократно рассматривали вопрос приоритета и вклада тех или иных исследователей, в том числе и физиков из Лаборатории имени Г.Н. Флерова, в синтез трансураниевых элементов, имеющих очень малое время жизни. И сегодня мы с удовлетворением констатируем, что названия двух элементов - 101-го "Менделевий" и 105-го "Дубний" - имеют отношение к нашей стране. Очень важно, что совместная рабочая группа этих двух международных союзов уже обсудила ситуацию с приоритетом синтеза 110-го и 112-го элементов и вполне определенно показала объективность международного научного сообщества, которое теперь не отдает автоматически приоритет американцам, как это было с элементами 102-м и 106-м.

Уверен, что получить выдающийся результат не просто, но еще сложнее добиться признания мирового сообщества, которое, хотим мы этого или не хотим, в большой степени контролируется нашими коллегами за океаном - американскими учеными и американскими научными организациями. Ну и очень хотелось бы надеяться, что

приоритет российских ученых в этой области будет не только признан, но и оценен по заслугам.

А.Ф. Андреев: Считаю наше заседание историческим, поскольку работа высочайшего уровня сделана совсем недавно. Начало публикаций относится к 1999-му, а сегодня, в конце 2000 г., мы говорим об этом как абсолютно установленном факте. Конечно, первое, что мы должны сделать, - это поздравить и авторов, и дубненский коллектив с безусловно выдающимся, фундаментальным открытием.

Мы видели, что синтез сверхтяжелых элементов, которым в Дубне успешно занимаются, привел к отрогам того самого "острова стабильности", куда исследователи шли много лет. Так что это открытие не завершает исследовательскую деятельность, а наоборот, побуждает продолжать ее дальше. И безусловно, мы будем свидетелями еще более знаменательных открытий в этой области.

Разумеется, когда подобное событие происходит в науке, сразу возникает желание поговорить о том, какая может быть присуждена премия, как назвать новые элементы. Наверное, авторы открытия об этом думают, но они почему-то ничего не сказали. Признание - это очень важное дело, и именно для Президиума РАН как руководящего органа академии. И все же самое главное, что в такие тяжелые годы сделано выдающееся открытие, которое к тому же имеет блестящую перспективу на будущее.

Ю.Ц. Оганесян: Здесь было высказано много положительных оценок нашей работы. Я и мои коллеги считаем, что они в значительной степени адресованы нашему учителю Георгию Николаевичу Флерову.

Г.А. Месяц: Думаю, действительно можно поздравить автора доклада и Лабораторию имени Г.Н. Флерова с выдающимся результатом. Олег Матвеевич Нефедов сказал, что не просто получить выдающийся результат. Я бы добавил: не просто получить выдающийся результат в непродолжительное время, да еще результат экспериментальный, для чего пришлось делать ускоритель с рекордными параметрами. Как человек, занимающийся созданием ускорителя, я знаю, что это - огромные деньги, гигантские трудности и все прочее. Большое спасибо всем ученым Дубны и руководству Объединенного института ядерных исследований за то, что они преодолели все эти трудности.