

Евгений ПАНОВ

ФАБРИКА ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ФАБРИКИ ОТКРЫТИЙ

Что бы ни происходило в мире, как бы ни менялись наши представления, научные открытия не могут быть пересмотрены или отменены. Это результат на все времена. На счету Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н.Флерова ОИЯИ таких результатов немало. Только за последние годы получено 6 новых элементов таблицы Менделеева, открыто 49 новых изотопов. Дубний (105-й), флеровий (114-й), ливерморий (116-й) уже обрели имена собственные. Фундаментальное значение этих работ понятно, они дали новые знания о том, как в процессе нуклеосинтеза образовались все элементы во Вселенной, о границах периодической системы, о структуре ядра, о ядерной стабильности. Практически завершен синтез сверхтяжелых элементов седьмого периода периодической таблицы – до 118 элемента. 118-й – гомолог благородных газов, он завершает 7-й период, говорит директор Лаборатории С.Н. Дмитриев. Что нас ждет дальше? В самых известных ядерно-физических центрах мира фактически начат синтез 119-го, 120-го, 121-го элементов, которой уже назван «большой гонкой».

В подмосковной Дубне сверхтяжелые элементы уже много лет синтезируются группой академика РАН Ю.Ц. Оганесяна. Это под его руководством достигнуты результаты верхнего уровня, выдвинувшие ОИЯИ в признанные мировые лидеры физики тяжелых ионов. Кого же еще спрашивать, как делаются открытия, как не Юрия Цолаковича?

- Юрий Цолакович, как делаются открытия? С чего начинаются?

- Как возникают открытия вообще?

- И вообще, и в частности. Возьмем, например, открытие сверхтяжелых элементов в Дубне. 114-го или 116-го.

- Открытия всегда непредсказуемы. На то они и открытия. Они могут быть, но чаще их может не быть. Путь к ним весьма тернист и напоминает хождение по неизвестной тропе в неизвестном лесу. До тех пор, пока что-то не прояснится, идешь иногда наугад. Но проясняется только тогда, когда идешь.

- То есть, в эксперименте?

- Именно в эксперименте. А эксперимент ставят потому, что есть надежды на то, что он внесет ясность. Хорошо, если существуют обнадеживающие предсказания. Но они для экспериментатора не более чем ориентиры. К сожалению, во многих случаях, весьма расплывчатые. Поэтому и начинается «с хождения по интуиции». В лесу ничего не видно, а когда что-то начинает проясняться, то постепенно понимаешь, что не туда зашел. Надо вернуться назад и пойти по другой тропе. А там, скорее всего, - будет то же самое... И так далее.

Говорят, что если в ста случаях экспериментатор семь раз вышел на правильный путь, то это просто блестяще. Если ты уложился в 7-процентную вероятность, тебе очень повезло. Не удивительно, что многие ученые не доживают до своих открытий; лишь следующие поколения убеждаются, что они были на верном пути, и открытие, по сути, состоялось раньше.

Не думаю, что занятия на каком-либо другом направлении физики чем-то принципиально отличаются от наших поисков сверхтяжелых элементов. Любознательность – свойство человеческого характера. Как и настойчивость, как упорство. Если хотите, упрямство. Эти качества и двигают исследования. Говорят: все это и есть творческий труд, Пусть так, но что заставляет им заниматься? Это ведь тяжелое и неблагодарное дело. Я полагаю, что многие люди, которые руководят наукой, но сами ей не занимаются, не всегда правильно понимают мотивы ученого. Дашь ему денег или не дашь, он все равно не бросит свои эксперименты. Он так устроен.

- Наверно, необходимо иметь не только упрямство, но и огромное терпение. Эксперимент длится месяцами, а значимые результаты так редки! Одно «событие» в месяц. Двадцать девять пустых дней на всего один удачный...

- Это, действительно, самая тяжелая часть исследований. Самое тягостное занятие – ожидание. Хотя и понимаешь, что ищешь редкое явление и надо набраться терпения. Хуже, когда ты ожидаешь первый раз, не зная, случится ли это, столь долгожданное, «событие». К тому же, и работа, как правило, ведется на пределе технических возможностей. И отсутствие в итоге внятного результата всегда ставит вопрос «что не так?»

На него всегда есть два ответа. К сожалению, не один, а именно два. Первый, очень важный: видимо, того, что ты ищешь, нет в природе. Второй, очень обидный: может быть, оно и есть, но ты до него не дотянулся. И если правилен

второй, то пережить это не просто. Ведь выложился до конца, кажется, все учел, насколько возможно улучшил аппаратуру, и все-таки – не дотянулся.

Теперь все сначала: построить новый ускоритель, но уже другой. Приобрести новую, более совершенную аппаратуру, тоже другую. Интенсивнее работать, привлечь больше людей... Но, для того чтобы построить–купить–привлечь, нужны средства, которых у тебя нет. Кроме того, на все это уйдут годы твоей жизни. Они уже ушли на то, что не получилось. Попробуй, убеди кого-то выделить тебе средства и вакансии на следующий эксперимент, если у тебя ничего не получилось! И неизвестно, получится ли во второй раз!

Но есть тут и положительный момент: так как сам ускорить процесс ты не можешь, то привыкаешь ждать. Долго. Продолжаешь эксперимент и ждешь, ждешь... И тогда, может быть, сработает статистика, которую Георгий Николаевич Флеров называл «садистикой», и природа сжалится над тобой. И появится так называемое «событие». Оно произойдет потому, что, если все правильно, статистически когда-нибудь должно произойти.

Кстати, само слово «событие» принесли в экспериментальные исследования физики. Они бывают совершенно счастливы, когда число «событий» возрастает до двух. А когда таких «событий» целых три, и все одинаковы, у физиков появляется уверенность в полученном результате, и они начинают писать статьи в престижные журналы... Когда я однажды дал почитать подобную статью дочери - она филолог - дочь очень удивилась: у вас бывает сразу два и даже три события?!

- А ведь верно... Событие – это нечто. И одного-то более чем достаточно. А уж если два, это вообще что-то грандиозное!

- Со стороны, это, конечно, не событие, но физики по-своему правы, они не случайно называют свои результаты «событиями». Будьте снисходительны, для них это действительно событие.

- Что же может привлечь в такие исследования талантливую молодежь, если она, глядя на старших товарищей-экспериментаторов, видит нудную и тягостную рутину? Выходит, наука, про которую ей говорили как об интереснейшем деле, о беззаветном поиске истины, в действительности-то дело скучное...

- Тут многое зависит от среды, от климата в лаборатории. Конечно, молодой человек не настолько образован и целеустремлен, чтобы сразу все понять и многим жертвовать ради поисков научной истины в своей интересной, молодой

жизни. Но, попав в среду своих коллег, он невольно начинает жить новой жизнью. Он смотрит на целиком погруженных в науку старших коллег и у него возникает желание попробовать свои силы, показать себя.

- Как же ее создать, эту творческую атмосферу?

- Я бы добавил - «совсем непонятную» Она нематериальна. Совершенно непонятно, как возникает и как уходит это коллективное вдохновение, раскрывающее таланты и оставляющее глубокий след в жизни общества. Как возникает этот грандиозный всплеск человеческого творения. В эпоху Возрождения его можно увидеть не только в науке, но и в литературе, музыке, живописи, философии... Или, ближе к нашему времени, в истории нашей страны после Октябрьской революции и Гражданской войны. В холодном Петрограде и далеко не сытой Москве создавались новый театр, искусство кинематографа, поэзия и проза, изобразительное искусство постимпрессионизма и рождались новые научные школы. В их числе физические школы Абрама Федоровича Иоффе, Сергея Ивановича Вавилова. Оттуда вышли замечательные физики, всемирно известные ученые... Не знаю, что является движущей силой этих превращений!

- Может быть, как утверждают некоторые гипотезы, они есть некоторое земное отражение каких-то неизученных нами космических циклов.

- Возможно. Хотя я не сторонник мистификаций. Интересно, что эти «ренессансы» возникают подчас в самые суровые времена (инквизиция, войны, эпидемии), когда казалось бы надо спрятаться и уйти в себя.

- Значит, далеко не все в науке зависит от финансирования, о котором сейчас много говорят?

- Лучше даже сказать, не все зависит от уровня жизни исследователя и общества. Если бы у нас было такое финансирование науки, как в развитых странах, мы приобрели бы больше хороших приборов и расширили бы фронт научных исследований. Всем понятно, что это было бы совсем неплохо. Но в науке материальная сторона не определяет научный результат. Хочу пояснить: в постановке того или иного исследования техническая сторона прямо зависит от вложенных средств. И высокий технический уровень исследования крайне необходим, но совсем недостаточен для того, чтобы этот эксперимент окончился результатом, меняющим наши представления о предмете исследования. Если же такое происходит, а это и есть открытие, то можно указать целый ряд других

факторов, таких как правильно выбранный подход, эрудиция и интуиция исследователя, его опыт и способности.

- В таком случае, наше сегодняшнее отставание в экспериментальной базе может объясняться не только погромом науки в 90-е годы, но и действительно неблагоприятным для творчества историческим периодом.

- Нет, погрома не было, но было полное безразличие. Человеку, который занимается наукой, или вообще любой творческой деятельностью, подчас бывает обидно. Обидно, что власть не понимает всю важность его труда, его идей, его результатов, которые могут оказаться востребованы для развития его страны. Это можно понять. Не будем кривить душой, прогресс общества в первую очередь зависит от творческих личностей. Из двух видов прогресса – эволюционного («лучшее – враг хорошего», и это ясный, нормальный поступательный путь развития) и революционного (через прорыв) кардинально и скачкообразно решает проблему второй. И этот второй путь обеспечивают именно творческие личности.

Простой пример: в крупных городах мира, как и в Москве, наблюдается безнадежный транспортный коллапс. Как решить проблему? Новые магистрали строятся медленно, и болезненное расширение старых улиц не решает проблему. Надо бы отказаться от автомобильного транспорта. Придумать что-то, что не было бы автомобилем. И заменить автомобиль этим «что-то». То есть решение должно быть революционным, прорывным.

- Открытие сверхтяжелых элементов – это революционное открытие? В чем его революционность? В том, что, как предполагают, они могут стать топливом для неисчерпаемых энергетических источников?

- Изучая мир, люди в каждую эпоху описывали его на своем уровне знаний. И какое-то время считали, что открыли ранее неведомый закон природы. Но независимо от этого, в любой модели или философии мироздания всегда возникал вопрос о границах окружающего нас материального мира. Тут парадокс: определить границы можно, если знать, как устроен мир.

- А как он устроен?..

- Если отбросить ранние наивные представления о плоском мире, который держится на трех китах, или на трех слонах, то более или менее серьезное изучение этой проблемы следует отнести к началу исследований химических элементов, как строительного материала материального мира. Далее стало известно, что элементы – это атомы, атомы – это их ядра и электроны, ядра – это протоны и нейтроны. Чтобы поменять атом, надо поменять ядро. А сколько,

например, может быть в ядре протонов, этих кирпичиков? Где тот последний, который рушит стройное здание последнего, самого тяжелого ядра, образуя тяжелейший атом (элемент)? Это предельное число положительно заряженных протонов и определяет границу существования химических элементов. И это одинаково справедливо для всех физических тел, Солнечной системы и других Галактик. Природа поставила здесь предел для сил сцепления, которые удерживают вместе протоны и нейтроны.

- Это, надо понимать, уже заявка на новый закон? То есть, на прорыв?

- Законом это может стать, если концепция о строении вещества будет подтверждена экспериментально. И такой эксперимент придумывается и ставится. Предположения оправдываются. Строится теория, которая объясняет сначала все, что мы видели, существование всех химических элементов, вплоть до самого тяжелого – урана. Она объясняет, почему это самый тяжелый элемент, который обнаружен в Земле, почему в ее недрах нет элементов тяжелее. Нет сейчас. А вообще, были они или нет? Возможно, были, но не дожили до нашего времени. Потому что планета наша очень стара, она образовалась, как часть Солнечной системы, 4,5 миллиарда лет тому назад. За это громадное время элементы тяжелее урана уже распались. Почему?

На заре ядерной физики в 1928 году наш соотечественник Георгий Антонович Гамов, выпускник Ленинградского университета, работавший сначала у А.Ф. Иоффе в Физико-техническом институте, а потом в Германии и США, предположил, что ядро имеет сферическую форму, и похоже на каплю заряженной жидкости (плотность этой ядерной жидкости на 15 порядков больше плотности воды). Тут же возник вопрос: каковы могут быть максимальные размеры этой капли. Оказалось, что совсем не намного большие, чем у урана. С увеличением размера, одновременно с увеличением положительного заряда ядра, оно начинает делиться на две части.

После открытия деления урана под действием нейтронов в 1939 году известный датский физик - теоретик Нильс Бор на основе капельной модели Гамова формулирует теорию деления. Он показывает, что деление ядра под действием электрических (кулоновских) сил происходит так, как это имеет место при отрыве капли жидкости от носика крана под действием сил тяжести (гравитационных сил). Аналогия полная, если в обоих процессах материя аморфная, лишенная внутренней структуры. Как только вы идете в область более тяжелых ядер, сильно возрастает кулоновское взаимодействие, деформирующее

ядро, и процесс деления становится доминирующим. Очень скоро он становится настолько быстрым, что электроны не успевают заполнить свои орбиты вокруг ядра. Это и есть предел существования атомов (элементов). Подобная ситуация может наступить непосредственно у элементов второй сотни – 106-го или 108-го элементов.

- А как же тогда быть с элементами тяжелее 104-го – Резерфордия, или 105-го - Дубния, на которых, как считали, должна закончиться область тяжелых элементов? Они проживут так мало, будто бы и не рождались?

- Тогда никто не собирался изучать свойства сверхтяжелых элементов. Физики, получив доказательства деления ядра и поняв его механизм, успокоились. Предсказания, сделанные в 1939 году, оправдались. К тому же, шла война... Но уже тогда стали получать элементы тяжелее урана, например, плутоний. Создавалась ядерная техника, ядерные технологии – это целая эпоха...

Да, 106-й, по предсказаниям капельной теории, должен прожить очень малое время. Но совсем недалеко уран, 92 - элемент, который имеет огромный период полураспада: 4,52 миллиарда лет. Следующий, 94 элемент – плутоний, его период полураспада 25 тысяч лет. А 102-й элемент живет секунды. Теория Бора блестяще подтверждается... Хотя в идущих своим чередом ядерных исследованиях неожиданно выяснилось, что «капельная аналогия» хороша до определенной степени, что есть эффекты, которые никак не вписываются в «каплю». Особенно не вписывается тот факт, что ядра отличаются друг от друга по своей стабильности скачкообразно. При определенном числе протонов и нейтронов действуют какие-то дополнительные силы связи. Такие ядра были названы «магическими».

- Красиво!..

- Почему бы, в самом деле, не дать явлению красивое имя? Но тут гораздо важнее другое. «Магические числа» свидетельствуют о том, что в ядре есть структура. Как в твердом теле, в кристалле, в алмазе, например. Там она целиком определяет строение материи. А тут выглядит какой-то чужеродной. Вроде бы, удачная аналогия с жидкостью, и вдруг – в этой жидкости структурный эффект. Пусть небольшой, но не нулевой. Он проявляется в том, что некоторые элементы оказываются значительно более связаны и тем самым более стабильны: гелий, кислород, кальций, олово, свинец. Если бы не было этого эффекта, свинец не дожил бы до наших дней. Но он, как известно, стабилен и его в природе много. В тяжелых элементах, эффект хоть и небольшой, но играет в

«ядерной капле» роль арматуры, предохраняет ее от деления. Этот эффект решающим образом сказывается на времени жизни элемента.

Что же дальше?.. Новая теория, названная микроскопической, предсказывает, что этот эффект будет работать и далее. Он будет периодически появляться вблизи новых «магических» чисел, сначала – около 108-го элемента, затем – около 114-го. Они приведут к возникновению островков стабильности в окружающем океане нестабильности. Причем это структура очень сильная. Подобные островки должны появляться и дальше. Берем «каплю», вставляем в нее структуру...

- По типу генной инженерии?

- Так, собственно, и возникла идея «острова стабильности» в области очень тяжелых (сверхтяжелых) элементов. Эта гипотеза появилась в 1969 году.

- Кто ее впервые высказал? На этот счет можно услышать разные мнения.

- Ее высказали сразу несколько человек. У нас – Вилен Митрофанович Струтинский. Его, к сожалению, уже нет... Потом весь мир стал этим заниматься. Буквально - весь мир, все крупные лаборатории, университеты многих стран. Если я начну перечислять все теоретические группы, то наберется не меньше пятидесяти.

Но что получается? Теория красива, выводы ее крайне неожиданны. Но надо еще доказать, что мир устроен так, как предрекают теоретики. Где эти столь устойчивые сверхтяжелые элементы в природе? Их нет. Наверно, они распались, что вполне вероятно. Но, может быть, их и не было в природе во время зарождения других элементов? Однако мы не можем создать условия, которые существовали в космосе во время образования Солнечной системы. В космосе такие элементы рождаются при температуре в миллиарды градусов, которые бывают только в недрах звезд.

- Но... Как же сделать то же самое, но по-другому, если необходимые для этого условия принципиально недостижимы?

- В этом самая большая сложность. Надо искать другой способ синтеза, осуществимого в стенах лаборатории. В отличие от природного сценария, это искусственный метод. С помощью ускорителя тяжелых ионов можно осуществить ядерное превращение. Преодолев кулоновское отталкивание, два ядра могут войти в контакт. Под действием ядерных сил притяжения они могут слиться, в результате чего образуется новое, тяжелое ядро суммарной массы. Если ядро–

мишень уран (92-ой элемент), а ядро–снаряд, скажем кальций (20-й элемент), то реакция слияния может нам дать составное (компаунд) ядро с атомным номером 112! Не забудем только, что оба ядра заряжены положительно и силам ядерного сцепления всегда противостоят кулоновские силы отталкивания. Это означает, что слияние ядер – редкий процесс. Но если слияние и произошло и образовалось тяжелое компаунд-ядро – это еще не конец дела. Образовавшееся ядро сильно нагрето и с большой вероятностью делится на две части. Охлаждение ядра осуществляется последовательным испарением нейтронов. И на каждой ступени испарения с эмиссией нейтрона конкурирует деление, вероятность которого в 100 раз выше. Нетрудно понять, что если для охлаждения ядра нужно испустить 4 нейтрона (так оно и бывает), вероятность выживания составит $(0.01)^4$ – одну стомиллионную долю! Отсюда эти малые эффекты, долгие ожидания, эта знаменитая «садистика»!

Теперь, возвращаясь с этими проблемами к синтезу сверхтяжелых элементов, мы должны выполнить еще одно непростое условие.

Предсказанный теорией «Остров Стабильности» состоит из ядер с большим избытком нейтронов. В искусственном синтезе используется реакция слияния двух ядер стабильных элементов с определенным соотношением протонов и нейтронов. Но нейтронов не хватает, чтобы попасть на «Остров». А поскольку их взять неоткуда, то их надо иметь до слияния. Надо изначально выбрать партнеры, обогащенные нейтронами.

Главная трудность заключалась в том, что в качестве мишени надо было использовать уже нестабильные элементы, нарабатываемые в ядерных реакторах в процессе захвата нейтронов и тем самым обладающие избытком нейтронов. Например, искусственный 94-й элемент – плутоний. Но только не изотоп плутония-239, которого много и который используется в ядерной энергетике, а редкий изотоп – плутоний-244, имеющий на 5 нейтронов больше! А в качестве бомбардирующего «снаряда» - изотоп кальция. Кальция, как известно, тоже много, но это, в основном, изотоп - кальций-40 (20 протонов и 20 нейтронов). Вместе с тем, в смеси природных изотопов кальция, есть очень редкий (всего 0.19%) и невероятно дорогой изотоп кальция-48 (стоимость одного грамма около четверти миллиона долларов) у которого 28 нейтронов, то есть на 8 нейтронов больше! Компаунд-ядро 114-го элемента, полученное в экзотической комбинации: плутоний-244 плюс кальций-48 обогатилась на 13 нейтронов! Это важно: с таким

соотношением протонов и нейтронов мы попадаем в акваторию, где находится «Остров Стабильности»

Правда, для этого надо поработать в мощном реакторе плутоний-244, ускорить примерно до 1/10 скорости света и получить интенсивный пучок ионов кальция-48, создать сверхчувствительную установку, способную распознать один атом сверхтяжелого ядра и исследовать его радиоактивные свойства, на фоне триллиона побочных продуктов реакции...

- Но это, как принято считать, является делом техники.

- Да, техники. Но сложной и наукоемкой техникой реакторов, ускорителей, сильноточных сепараторов, плазменных ионных источников ионов, прецизионных детекторов, современной цифровой и аналоговой электроники и прочая, прочая, прочая...

К счастью, выбранный нами путь оказался правильным. Мы повысили чувствительность эксперимента. В 500 раз – по сравнению с тем, что было достигнуто к тому времени на всех других установках мира. Это кажется невероятным. Академик Арцимович, блестящий экспериментатор, говорил: если вы хотите, чтобы ваша установка работала лучше, «вылизывайте» ее. Где-то вы улучшите ее на 20 процентов, где-то на 50 процентов, может быть, вам повезет и какой-то параметр улучшится вдвое. Так вы можете повысить ее чувствительность до 10 раз. Но не больше. А если хотите больше - выкидывайте свою установку и делайте новую. Вот нам и пришлось, в трудной нашей жизни, многое выкинуть.

Пять лет напряженной работы позволили нам получить столь желаемые технические характеристики всего экспериментального комплекса и к 2010 году синтезировать 6 самых тяжелых (сверхтяжелых) элемента. К 2014 году наши эксперименты были повторены 8 раз в различных лабораториях мира. Все свойства изотопов 112-го, 113-го, 114-го, 115-го, 116-го, и 117-го подтвердилось полностью. До 118-го пока не добрались, но уже ясно, что и его свойства подтвердятся. А новые элементы, их изотопы и продукты их радиоактивного распада – это 48 новых ядер, расположенных на гипотетическом «Острове Стабильности» и уходящих от него в глубины «Моря Нестабильности». Этот ландшафт, выход на «Остров» мы тестируем в 48 точках, каждая из которых – новое ядро, синтезированное в описанных выше экспериментах. Результаты 10-летних исследований не только экспериментально подтверждают существование

сверхтяжелых элементов, но и показывают границы «Острова сверхтяжелых элементов».

- Но ведь они живут у вас доли секунды! Разве это стабильность?

- Действительно, многие живут, как вы выражаетесь, доли секунды, другие секунды, минуты, а новые изотопы 105 элемента - 20–30 часов. В ядерном масштабе это гигантские времена. Когда мы говорим о нестабильных атомах, имеем в виду те, которые распадаются за 10^{-14} долю секунды. У долгоживущих элементов можно исследовать химические свойства. Возникло новое научное направление - химия сверхтяжелых элементов. Вписываются ли сверхтяжелые элементы в Таблицу Менделеева? Похожи ли они на свои легкие гомологи? Как видите, подобные вопросы не возникали до открытия сверхтяжелых элементов.

- А новая физика, которую, кажется, все очень ждут? Подтверждают ли ваши открытия ее существование?

- И физика, и химия, как и все науки – всегда новые. Вы могли задать мне вопрос: «Остров Стабильности», о котором мы говорили, последний участок «суши», то есть стабильной материи, или за ним ничего нет? Иными словами, есть другие «острова» еще более тяжелых элементов? Может быть, мир наш не ограничивается одним островом? Может быть. Но для этого необходимо детально исследовать уже открытые элементы.

- Вы хотите наработать их в количестве, достаточном для досконального изучения?

- Тратить по два месяца на одно событие мы не можем, так дело не продвинется. Попробуем поднять эффективность производства этой экзотической продукции. Мы вошли плотно в проблему сверхтяжелых почти 20 лет тому назад. За это время не только наука, но и техника сильно продвинулась.

Оценки показывают, что приобретенные знания и современная техника, позволят повысить производство сверхтяжелых элементов почти в 100 раз! Для этих целей можно создать новую лабораторию, нацеленную на это 100-кратное производство. Лабораторию, которая работает по принципу фабрики. «Фабрики сверхтяжелых элементов».

Такого нет нигде в мире. Поэтому сама идея создания «Фабрики» получила большой резонанс. Ведь только 5 лет тому назад были впервые синтезированы эти элементы в штучном количестве, и это считалось большим достижением, а теперь – фабрика. Но в науке так и бывает. Как только познали новое, можно на этой основе двигаться дальше...

Открыть сверхтяжелые элементы – только полдела. Нужно еще понять, что они такое. Что открыто – газ, металл? И тут ядерная физика отступает в тень. Она свое дело сделала. На первый план выходит техника, даже нечто более масштабное – научная индустрия в виде удивительного предприятия, «фабрики элементов». Она должна готовить исследовательский материал для следующей фазы исследований. На «передовую» выдвигаются радиохимия и ядерная химия. С их помощью предстоит провести идентификацию и изучение новых элементов периодической таблицы Д.И. Менделеева. По мнению директора ЛЯР профессора С.Н. Дмитриева, это один из самых интересных вопросов современной науки. «Его особая привлекательность в том, что, говоря «новые», мы сегодня имеем в виду сверхтяжелые элементы, и современная ядерная химия и радиохимия во многом связаны с изучением именно их свойств», - говорит он. То есть свойств тех кирпичиков мироздания, которые, по-видимому, играют фундаментальную роль в процессах нуклеосинтеза во Вселенной, определяют границы периодической системы, влияют на структуру и стабильность ядер.

Радиохимия как наука возникла сто с небольшим лет назад. Одной из ее основоположниц считается Мария Склодовская-Кюри. Радиохимические методы были впервые использованы при открытии полония и радия. Большую роль в ее развитии сыграло открытие особых свойств урана и получение первых искусственных элементов – трансураниевых. Сегодня, говоря о химии тяжелых и сверхтяжелых элементов, имеют в виду элементы, начиная со 104-го, то есть, с первого трансактинида. Первые химические опыты с ними проведены по инициативе Г.Н. Флерова в ОИЯИ в 1966 году. Тогда впервые было показано, что 104 элемент не является актинидом, что он образует летучие соединения подобно цирконию и гафнию, то есть открывает таблицу после актинидов.

В последние годы XX века все тяжелые элементы, начиная со 107 и кончая 112, были получены в реакции холодного синтеза. По сути дела, это нейтрон-дефицитные изотопы с очень короткими временами жизни, которые не могли быть использованы для изучения химических свойств новых элементов. Для этого по-прежнему использовались только реакции горячего слияния. Подступиться хоть каким-то образом к изучению свойств большинства тяжелых элементов химии даже не мечтали, поскольку времена их жизни составляли десятые доли секунды, а то и миллисекунды. Исследования, которые удалось провести с

изотопами, 108-го элемента хассия, жившего 9 секунд, показали, что его соединения ведут себя практически так же, как соединения осмия – никаких значимых различий найдено не было. Периодический закон, заложенный в таблицу Д.И. Менделеевым, строго выполнялся.

В начале XXI века интерес к химическому изучению сверхтяжелых элементов заметно снизился, что объяснялось короткими временами их жизни. Ренессанс в области ядерной химии и радиохимии наступил после синтеза в ОИЯИ группой академика Оганесяна сверхтяжелых элементов со 113 по 118. Кроме того, были получены нейтронно-избыточные изотопы известных элементов со 104 по 112. Времена жизни этих нуклидов уже были на порядки выше, чем у полученных в холодном слиянии, и исчислялись секундами, а в некоторых случаях минутами и даже днями, что позволило совершенно по-другому взглянуть на радиохимический подход и открываемые им возможности.

При этом возникли две задачи. Ведь в чем сложность синтеза нового элемента? Если синтез происходит с помощью холодного слияния, то, хотя новый элемент никому не известен, его цепочка распада всегда уходит в область актиноидов, а их свойства известны. Именно ядерные характеристики конечных продуктов распада служат для идентификации материнского ядра. Когда мы говорим о синтезе сверхтяжелых элементов, нейтронно-избыточных изотопов, то начинаем с неизвестного ядра и заканчиваем неизвестным ядром. И в этой связи роль химии в изучении не только химических свойств новых элементов, но и в их идентификации очень велика. Достаточно в любой цепочке распада нового нуклида надежно идентифицировать один из изотопов и отнести его к какому-то конкретному химическому элементу, чтобы восстановить всю цепочку распада – так, как это делается в классической радиохимии и классической ядерной химии.

Но еще больший интерес представляли изотопы 114 и 112 элементов, живущие от 0,5 секунды до нескольких секунд. Это стало одним из доказательств существования «острова стабильности» (хотя его центр, элемент с числом протонов 114 и числом нейтронов 184, недостижим, таких комбинаций в природе нет). Времена жизни этих изотопов уже позволяли ставить эксперименты как по идентификации цепочек распада, так и по изучению химических свойств, что для 112 и 114 элементов делалось впервые. Оказалось, что 112 элемент все-таки относится к 12 группе и является гомологом ртути, но свойства 114-го существенно отличаются от тех, что прогнозировались, и весьма неожиданно

делают его сильно похожим на благородный газ. Но является ли 114 элемент газом или нет, до конца не ясно. Требуются новые эксперименты.

Самым ярким и самым интересным результатом, в том числе для радиохимии, явился синтез 117 элемента в реакции берклий-249 плюс кальций-48. В цепочке его распада времена жизни элемента 113 уже составляют от 5 до 30 секунд, что достаточно для проведения химических экспериментов. Такая возможность исследовать химию 113—го представилась впервые. И ей не преминули воспользоваться. Как можно оценить результаты? 113-й летуч. Это было предсказано теоретиками. Но его химическая активность явно меньше, чем у ртути, а теоретики предсказывали обратное. Сегодня они должны внести коррективы в свои расчеты.

Приступить к изучению химических свойств 115 и 117 элементов пока не удастся – их времена жизни малы. Но сам факт синтеза 117-го дает богатую пищу для размышлений. Обнаружение последнего из элементов 7 периода (118 был синтезирован ранее), по сути дела, закрывает периодическую таблицу в том объеме, в каком она представлена. 119 элемент открывает уже 8 период. 121 элемент должен открыть новую группу – пока ее никто никак не назвал, но можно, по-видимому, назвать ее группой «суперактинидов». Каковы будут их химические свойства, сегодня предсказать невозможно. Тем интереснее будут радиохимические исследования элементов 8 периода.

Предположив, что «остров стабильности» существует, можно попытаться найти подходы к его центру. Хотя бы приблизиться к нему будет большой удачей. Для этого необходимо получить еще более нейтронно-избыточные ядра. При этом должны возрастать времена жизни новых нуклидов. Прорывные исследования в этой области потребуют создания новых физических регистрирующих систем, а кроме того, значительно возрастет роль радиохимических методов.

Так говорил в своем докладе на Комитете Полномочных Представителей ОИЯИ Сергей Николаевич Дмитриев. Причем не так давно. Но время в пространстве науки несется стремительно. Казалось бы, чисто научная проблема идентификации и изучения сверхтяжелых элементов переросла в научно-производственную, научно-индустриальную. Потому что иначе решить ее невозможно.

- Дело не только в кратковременности жизни элементов, открытых в ЛЯР на ускорителе У-400 за последние 10 лет, и не в малом их количестве, - *говорит директор Лаборатории сегодня.* - Конечно, химия сверхтяжелых - очень интересная задача. Но на все исследования лаборатория имеет сегодня 12 тысяч часов ускорительного времени в год. Ускоритель У-400М ориентирован на две задачи из области как высоких, так и низких энергий. На высоких, а фактически, средних энергиях (от 20 до 60 МэВ на нуклон) идет изучение экзотических ядер – водорода-5, водорода-7, гелия-8,10. На низких с помощью сепаратора «MASHA» ведется определение масс сверхтяжелых элементов. И, конечно, мы разрываемся. Не можем достаточно долго заниматься свойствами синтезированных сверхтяжелых.

А вот когда в Лаборатории будет три ускорителя, то время экспериментов увеличится до 18 тысяч часов в год. И тогда мы уберем низкие энергии с У-400М и полностью переориентируем его на экзотические ядра. А У-400 полностью сосредоточим на ядерно-физических экспериментах - слиянии, делении и прочих ядерных реакциях в соответствии с профилем ЛЯР.

- То есть, ваша главная проблема – недостаток установок?

- Это общая беда ОИЯИ. Институту очень не хватает хороших базовых установок, на которых можно было бы вести эксперименты того уровня, который нам уже по силам. Сегодня он недостижим именно из-за нехватки исследовательского оборудования мирового класса. Чтобы ликвидировать отставание, нужны большие усилия, нужно время. И, разумеется, средства... А пока отставание не преодолено, мы не можем сосредоточиться на сверхтяжелых элементах, изучать их прицельно. Сможем только после появления третьего ускорителя, DC-280. Он-то и будет решать монозадачу – собственно синтез.

Сегодня в наших экспериментах мы, в лучшем случае, даже при хороших сечениях видим одно событие за неделю. А при синтезе, например, 118-го – зачастую одно событие в месяц. А то и в три месяца. Конечно, детальное изучение как ядерно-физических, так и химических свойств, при такой статистике практически нереально. Хорошо, если снимается функция возбуждения, регистрируется открытие, но по-настоящему изучать элемент мы не можем. Плюс у нас очень большой запас синтезированных при холодном слиянии нейтроно-дефицитных ядер, а при использовании какльция-48 - ядер с повышенным

содержанием нейтронов. А между одним синтезом и другим синтезом – терра инкогнита. Многие изотопы, находящиеся там, пока не открыты.

Сейчас идет первый эксперимент с плутонием-239 по синтезу нового изотопа 114-го элемента. Он займет не менее двух-трех месяцев, может быть, даже несколько больше. Конечно, все-таки не годы, но... Поэтому мы ожидаем совершенной новой техники, нового ускорителя, который будет иметь интенсивность по кальцию-48 по меньшей мере в 10 раз больше, чем сегодня. Будут созданы новые сепараторы, новые детектирующие системы, и в целом эффективность увеличится на порядок. Имели 5-10 событий, будем иметь 50-100. Это уже совсем другая наука. 100 событий – это уже абсолютно значимый результат, который можно и статистически обрабатывать, и изучать, появляется возможность спектрометрических исследований. Появляется возможность заняться широким спектром химических задач...

Нет, вы представляете, что такое одно-два события?..

-По правде, с трудом...

- Думаю, вообще не представляете. Вообразите: вы проводите эксперимент в течение 30 дней и при этом не можете менять условия, потому что оценить, насколько эффективны те, что приняты вами на этот раз, вы сможете только через месяц! Только спустя месяц вы поймете, правильно или нет внесли изменения по сравнению с прошлым опытом... А когда вы имеете хотя бы одно событие в сутки, вы можете играть всеми этими условиями, менять параметры эксперимента и реально изучать химические свойства.

Что мы знаем сегодня? Что 112-й элемент – наша пионерная работа – летуч. Это мы установили совместно со швейцарскими радиохимиками. Он садится на поверхность золота. Определили температуру, при которой это происходит. Из десятка событий выжато все, что можно, но это действительно все. Фактически удалось лишь констатировать летучесть.

По 114-му ситуация еще сложнее. Мы имеем здесь лишь четыре события. Все они связаны с абсорбцией на поверхности золота. Имея только это, мы получили уникальный результат. Во-первых, 114-й в атомарном состоянии летуч, чего нельзя сказать по его легким гомологам. Свинец, как известно, не летит...

-Ну почему? Летит. Только по-другому.

- Ну да, по-другому... У нас не «летит». И в этом смысле мы провели первое экспериментальное наблюдение влияния релятивистских эффектов на изменение химических свойств сверхтяжелых элементов.

Все четыре события по 114-му, зарегистрированные в Дубне на У-400, лежат в области отрицательных температур, даже еще более отрицательных, чем по 112-му, до минус 80 градусов по Цельсию. Это позволяет предположить, что 114-й по свойствам может быть ближе к благородным газам, чем к металлам. В Дармштадте в практически аналогичном эксперименте наблюдали всего два события при комнатной температуре. Кто прав?.. Оба результата в пределах статистики.

Но что такое два события, когда у вас летучий элемент, короткоживущий в пределах одной секунды нуклид? Он с таким же успехом мог распасться на пролете, и, значит, вы наблюдаете распад в теплой части детектора. А если вы будете иметь таких событий не два и не четыре, а 40 или 50, то точно определите все нужные параметры.

-И это, как вы сказали, будет совсем другая наука?

- Я не хочу преуменьшать значение уже полученных результатов. Сам факт летучести 114-го, на мой взгляд, куда более важен, чем точная температура его осаждения. Неважно, в какой части детектора, в холодной или теплой, он распался, важно, что он туда долетел. Летучесть - это уже фундаментальное свойство, но детально изучать сверхтяжелые элементы на такой статистике очень сложно. А чтобы набрать другую, требуется многомесячное облучение при достаточно большой программе лабораторий, что у нас, что в Дармштадте, и ясно, что каждый год тратить по два месяца на повторение экспериментов никто не хочет. Поэтому, пока мы реально не построим «фабрику сверхтяжелых элементов», мы не выйдем на новый уровень эффективности, многие вопросы останутся открытыми.

- Наверно, для ученого это тяжело – оставлять в тылу упрямые вопросы. Ведь это же вызов! И вы хотите его принять? Он требует ответа, и вы хотите ответить? Для этого вы, собственно, и строите свою «фабрику»?

- Чтобы снять вопросы, мы нуждаемся сегодня в новой технике, позволяющей работать с «секундниками». На нашей «фабрике» можно будет установить, например, так называемый газкетчер, то есть газовую ловушку. Сегодня мы транспортируем образовавшиеся в мишени ядра газовой струей. Какова ее скорость, таково и быстродействие установки. В газкетчере применяется сверхчистый гелий, самый инертный из известных инертных газов, не образующий никаких химических соединений, атомы которого очень неохотно расстаются со своими электронами. В сочетании со специальными

конструктивными особенностями аппарата это позволяет снизить время транспортировки однозарядного иона, в который уже успело превратиться ядро, с нескольких секунд до 10-30 миллисекунд, что, в свою очередь открывает более широкие возможности для изучения спектра элементов со временем жизни 0,1 – 0,2 секунды. Сегодня таких больших времен в нашем распоряжении нет, а когда они появятся, начнутся настоящие ядерно-физические и ядерно-химические исследования сверхтяжелых элементов.

Конечно, «фабрика сверхтяжелых элементов» будет решать не только задачи новой химии, но и задачи собственно синтеза сверхтяжелых. Сегодня экспериментов по синтезу 119-го и 120-го у нас не ведется. Мы понимаем, что сечение образования этих элементов на порядок меньше, чем те, которые мы можем получить сегодня. 118-й – последний элемент, который можно синтезировать с использованием кальция-48 и мишени из калифорния. Можно заменить калифорний-98 эйнштейнием, но его в мире нарабатывается микрограммы, а наша мишень, по меньшей мере, 10 миллиграмм. Поэтому необходимо уйти от кальция с его 20 протонами и перейти к титану, где 22 протона. Тогда с тем же калифорнием можно синтезировать 120-й.

Переходя от кальция-48 к титану-50, вы получаете менее нейтронообогащенное ядро, а сечение его образования будет на порядок ниже, чем при кальции-48. Значит, если при синтезе 118-го мы получаем одно событие в месяц, то при синтезе 120-го одного события придется ждать 10 месяцев. Это, мягко говоря, нереально. Поэтому мы и строим новый ускоритель DC-280 с интенсивностью в 10 раз большей, чем на У-400. Это компенсирует нам переход от кальция к титану. Тогда мы сможем начать синтез 120-го. Ждать результатов снова придется два-три месяца, но все-таки не год и не два.

- Представляю себя на месте экспериментатора, который ждет события год. Или хотя бы два месяца. Он каждое утро приходит в лабораторию. И каждый вечер уходит, так ничего и не увидев...

- Психологически это бывает тяжело. Но не катастрофично, не безнадежно. Эксперимент требует постоянного совершенствования. Необходимо добиваться абсолютно бесфоновых условий, высокой интенсивности. И это не рутинная работа. Проблем у экспериментатора хватает. Скажем, мы очень обижаемся на сверхтяжелые элементы за их короткие времена жизни. Но что бы было, имей мы возможность сейчас поставить эксперимент по нейтроно-избыточным изотопам, допустим, того же 114-го с мишенью из плутония-250? Такого нет, это просто

умозрительный пример. Мы стали бы продвигаться к центру «острова стабильности»: 184 нейтрона, 114 протонов, предполагаемое время жизни – тысячи лет. А где-то в интервале между сегодняшней секундой и этой ожидаемой тысячей появится изотоп, который будут жить, допустим, один год.

- Так это же, наверно, прекрасно!

- Прекрасно? А как его регистрировать?

- То есть?

- То есть – возникают проблемы идентификации. Чтобы определить, какой это у нас элемент, надо получить цепочку распада, а он ведь будет распадаться год. Когда у вас много ядер, срабатывает статистика и какое-то из них распадается. А когда одно? Прикажете ждать целый год?.. Понятно, что нужны другие методы. Сегодня их нет. Мы ломаем над ними голову, но, по-видимому, это задача будущего. Придется разрабатывать новые методы идентификации ядер, регистрации их распадов. Так что горизонты этих наук, ядерной физики и ядерной химии еще очень далеки. Новая техника их приближает. На первый план выходит техническая сторона дела. Газкетчер, новые сепараторы... «Фабрику сверхтяжелых элементов» по плану мы должны запустить в 2016 году. А дальше она будет развиваться.

- Она будет выдавать чисто научную продукцию?

- Конечно.

- Потому что ЛЯР – это чистая-чистая наука?

- Это совершенно неправильно. Наша Лаборатория – одна из наиболее продвинутых в ОИЯИ в области прикладных исследований. Каждый из наших трех ускорителей имеет специализированные каналы для ведения прикладных работ. На маленьком ускорителе ИЦ-100 мы получаем порядка 200 тысяч кв.м трековых мембран в год и продаем их. И при этом не удовлетворяем спрос. На У-400М предусмотрены специализированные каналы для тестирования микросхем космической техники. Здесь спрос со стороны «Роскосмоса» тоже больше нашего предложения. А когда у нас будет три ускорителя, мы сможем в полтора раза увеличить прикладные исследования, потому что каждая машина должна будет тратить на них определенную часть своего времени. Для этого на «фабрике» предусмотрен особый выделенный канал.

- Но ведь все-таки ваша сверхцель – «остров стабильности» и то, что с ним связано? Новая энергетика, например?

- Часто спрашивают и про какое-то связанное с ним сверхоружие... Но до всего этого еще очень и очень далеко. Даже если мы на «фабрике» будем получать сотни ядер сверхтяжелых элементов, это еще не энергетика. Другое дело, какая все-таки может быть польза от их поиска народному хозяйству? Что ж, это вполне закономерный и правильный вопрос, его тоже часто задают. Все тут зависит от того, как вы подходите к решению фундаментальных научных задач. У нас никогда не было бы таких замечательных ускорителей, если бы не значимая научная задача, вокруг которой объединяются большие коллективы талантливых людей. Потом коллективы реализуют свои идеи – например, строят ускоритель DC-60 в Астане, DC-110 в особой экономической зоне Дубны... Не будь у нас идей, не было бы и наших ускорителей, которые построены под конкретную задачу.

Ожидать практического народнохозяйственного результата от синтеза единичных атомов, конечно, не стоит. Но дело в том, что только такая фундаментальная задача способна объединить большие научные коллективы для решения сложнейших инженерных и физических задач. Так развивается наука. Вряд ли можно было бы объединить огромные коллективы для создания, скажем, энергетического реактора вне советского оружейного проекта. Вряд ли в СССР занялись бы гражданским космосом, не появилась нужда в баллистических ракетах для транспортировки ядерных боезарядов. Одно постоянно следует за другим. Без постановки мегапроектов, к которым, кстати, относится наш проект DRIBs-III и другие проекты ОИЯИ – NICA/MPD и ИБР-2М, невозможно ни развитие науки, ни, главное, привлечение молодых сотрудников.

Если убрать из ЛЯР всю фундаментальную науку и сосредоточиться только на прикладных задачах, первые год-два мы жили бы прекрасно, тратили бы на них не тысячу, а все 12 тысяч часов, имели бы в 12 раз больше внебюджетных средств, повысили бы зарплату, помогли бы молодым. Только через два года все идеи бы закончились. И что дальше?

Вот по совместному проекту с «Роснано» мы строим новый корпус, который будет оснащен самой современной техникой именно для развития новых технологий. Именно наша Лаборатория, где люди занимаются и конденсированными средами, и полимерами, и чисто ядерной физикой и химией, способна решать конкретные задачи на стыке многих дисциплин. А вот если взять центр в Дармштадте, казалось бы, аналогичный нашему, увидим, что там физики – сами по себе, химики – сами по себе. Посмотрите на то, что мы делаем для

«Роскосмоса»! Это же совершенно уникальные работы. Они основываются на уникальном исследовательском методе, при котором вы контролируете весь процесс облучения микросхем за счет твердотельных детекторов, а это тот же самый процесс, что и в производстве трековых мембран, которые надо облучить, протравить, потом подсчитать число пор и прочее. Ни один другой центр этого не имеет. Он имеет ускоритель, а производство мембран находится в другом городе. А у нас все это - в двух соседних корпусах. Да будут еще третий и четвертый. И все сконцентрированы в одном месте, на одной площадке.

- Вы полагаете, что это правильно?

- Конечно же, правильно. Возьмите наши эксперименты последних лет. В них обязательно вовлечены и физики, и химики, и ускорительщики. Все решают одну общую задачу. Такая сосредоточенность дает синергетический эффект. Наш Институт тем и отличается в лучшую сторону от многих мировых ядерно-физических центров, включая ЦЕРН, что он многоцелевой. Отцы-основатели хорошо его задумали. В ОИЯИ есть и теоретическая Лаборатория, и реактор для экспериментов по конденсированным средам, и физика высоких энергий, и физика низких энергий, и нейтринная физика, и радиобиология. Отсюда и результаты. Ну, смогли бы радиобиологи только под свои задачи построить такие ускорители?

- Думаю, никогда в жизни.

-Именно. А в ОИЯИ они проводят исследования и на ускорителях, и на реакторе. В этом и проявляется уникальность Института. И когда на Ученых советах, на Комитетах полномочных представителей экспериментаторы из разных лабораторий делают тематические доклады, это зачастую становится открытием для их коллег, работающих в других областях. Мы подчас и сами не понимаем, как одна лаборатория опосредованно влияет на другую...

- Когда исследователи вторгаются в чужую область, это естественно и не страшно. А вот когда они идут дальше поставленного природой предела... У вас не бывает чувства, что не стоит ходить на запретную территорию? Что процесс Творения не случайно остановился, не дойдя до «острова стабильности»?

- Нет, не бывает. Наука, по моему глубокому убеждению, пока еще не открыла ничего такого, что не создала бы природа. Не знаю ни одного открытого людьми явления, которого уже в ней не было бы. Посмотрите на самую бурно развивающуюся науку – биологию. Там лишь изучают изобретения живой природы. А мы просто их обнаруживаем или воспроизводим и называем своими.

- Но ведь в природе нет синтезированных вами элементов.

- А кто вам это сказал?

- Они не найдены, не обнаружены. Можно сказать, они не воспроизведены, а созданы заново.

- Мы как раз проводим исследования по поиску сверхтяжелых в природе. Большим энтузиастом этого направления был Георгий Николаевич Флеров. Другое дело, насколько наши поиски продвигаются. К сожалению, все связанные с ними эксперименты очень длительны.

- Ну, у природы, если она участвовала в их создании, было много времени...

- А у нас его не так много. Мы измеряем образцы – а это руды, метеориты, конкреции в подземной лаборатории в Модане на границе Франции и Италии. Один образец исследуется там два года. Это очень долгая и кропотливая работа... Но очень важная. Если бы сверхтяжелые были найдены в природе, это изменило бы всю науку. Какова бы ни была концентрация сверхтяжелых в источнике, с помощью современных технологий удалось бы выделить их в реальных количествах. Они могли бы послужить мишенями для синтеза еще более тяжелых элементов. Однако до сих пор ни астрофизики, ни физики-ядерщики не могут объяснить процесс образования сверхтяжелых в процессе нуклеосинтеза. Поэтому сегодня, когда мы изучаем эти элементы, то предполагаем, что времена их жизни могут быть сравнимы с возрастом Земли. Возможно, их происхождение надо связывать со взрывами сверхновых. Такие работы ведутся и в других центрах. Но вестись широким фронтом, ясно, они не могут.

- В таком случае, возможно, ваши «события» можно считать указаниями на то, что сверхтяжелые все-таки были созданы природой. Вы просто пока не можете добраться до их «месторождений».

- Да, пока не умеем. Но, опять-таки, если бы мы знали ядерно-физические и химические свойства сверхтяжелых, на что, собственно, и нацелены наши усилия по строительству «фабрики», то сумели бы поточнее подойти к вопросу о механизме их образования. Сейчас же мы очень приблизительно представляем, каковы могут быть их химические свойства и как они могли проявить себя в геохимических процессах за миллиарды лет, где их следует искать. Потенциальных объектов для исследования очень много, но если каждый объект изучать по два года...

- Вы как-то очень по-свойски, по-дружески относитесь к этим сверхтяжелым, Сергей Николаевич. Словно они для вас не объект изучения, а живые существа, ваши питомцы. Или даже боевые товарищи.

- У нас в Лаборатории все так к ним относятся. Их появление на свет в стенах ЛЯР – большое достижение, которым можно гордиться. Мы увековечили в их названиях имя нашего учителя и основателя Г.Н. Флерова и имя нашего города, Дубны. Поэтому наше отношение к флеровию и к дубнию, я бы сказал, отчасти трепетное, хотя они уже отделились от нас, перешли в пространство вечности, к которой принадлежит периодическая таблица элементов, и останутся там навсегда.