

ПЕРВОЕ СОВЕЩАНИЕ О НОВОМ ПРИНЦИПЕ ЖЕСТКОЙ ФОКУСИРОВКИ ЧАСТИЦ

Это совещание состоялось в кабинете министра среднего машиностроения в один из первых дней января 1953 г. На нем собрались руководители институтов и научных организаций, прикрепленных к данному министерству. Но начать рассказ об этом совещании все же следует с объяснения, как я, год назад утвержденный И.В. Курчатовым в звании младшего научного сотрудника, мог попасть на столь высокое секретное совещание по обсуждению фокусировки частиц в кольцевых ускорителях, которые сами по себе в те годы только начинали внедряться*.

Для меня же проблема жесткой фокусировки частиц началась в ноябре 1952 г. с того момента, когда мне было поручено моим руководителем М.С. Козодаевым** срочно разобраться с этим новым физическим явлением, располагая лишь предварительным сообщением, появившимся в октябрьском номере американского научно-популярного журнала «Scientific American».

Мне тогда удалось быстро справиться с порученной задачей благодаря использованию статьи П.Л. Капицы «Маятник с вибрирующим подвесом», опубликованной в сентябрьском номере журнала «Успехи физических наук» за 1951 г. Мною была рассмотрена аналогичная магнитная задача, в которой вдоль кольцевой системы располагались магниты с большими чередующимися по знаку градиентами. В такой системе для отклонившихся от стационарной орбиты частиц возникает сильная фокусировка одновременно и в вертикальном, и в горизонтальном направлении. При этом стал ясен механизм фокусирующего эффекта: частицы, отклонившиеся от стационарной орбиты, испытывают параметрические колебания, благодаря которым в фокусирующих секциях они проходят через область больших магнитных полей, а дефокусирующие секции проходят при меньших полях. На этом разностном эффекте, который при больших градиентах становится значительным, и основан сам принцип жесткой фокусировки.

Когда же я изложил М.С. Козодаеву эту основанную на параметрических колебаниях маятника расшифровку идеи американских ученых о жесткой фокусировке частиц в кольцевом ускорителе, он сначала усомнился в правильности такого решения, назвав его слишком простым. В связи с этим мне пришлось упомянуть об авторитете автора использованной статьи и отметить, что задача о вибрирующем маятнике строго решена П.Л. Капицей. При решении этой задачи он использовал метод усреднения Н.Н. Боголюбова и показал, что задача сводится к решению уравнения Матье, известному в теории колебаний (для случая гармоничного закона изменения градиентов.) Эти ссылки на безусловные научные авторитеты явно оказали воздействие, и Михаил Силыч обещал подумать над моими расчетами. А на следующий день он похвалил меня за уверенность в полученных результатах и отме-

*В нашей стране идея кольцевого ускорителя была выдвинута впервые в 1946 г. известным специалистом по созданию быстрых реакторов А.И. Лейпунским. В Обнинске под его руководством были начаты работы по созданию кольцевого ускорителя на энергию 1,5 ГэВ, но в 1950 г. они были свернуты в связи с началом разработки в ФИАНе проекта более крупного кольцевого ускорителя на 10 ГэВ, который был построен в Дубне в 1958 г.

В США идея кольцевого ускорителя была опубликована в 1947 г. в статье М. Олифанта и его коллег. Разработки таких ускорителей начались в том же году сразу в двух лабораториях: в Калифорнийской лаборатории излучения разрабатывался бэватрон на 6 ГэВ, который предполагалось пустить в 1954 г., в Брукхейвенской национальной лаборатории создавался космотрон, который был пущен в 1952 г. на энергию 2,3 ГэВ, в последующем энергии удалось повысить до 3 ГэВ.

**Козодаев Михаил Силыч (22.10.1909—6.06.1986) — известный специалист по ядерной электронике, участник создания автоматических систем контроля самых первых реакторов и активный участник становления физики высоких энергий. В 30-е годы, после того как известный итальянский исследователь космического излучения Б. Росси создал на основе схемы совпадений первый телескоп из счетчиков Гейгера, М.С. Козодаев первым предложил оснастить телескоп счетчиком, включенным на антисовпадения, чтобы регистрировать число остановившихся частиц. В 1934 г. вместе с братьями А.И. Алихановым и А.И. Алиханьяном впервые наблюдали процесс образования электрон-позитронных пар от внутренней конверсии возбужденных ядер.

тил, что при больших градиентах магнитных полей действительно возникает сильная фокусировка и что нам нужно срочно писать письмо директору нашей лаборатории И.В. Курчатову, чтобы он узнал о нашем объяснении жесткой фокусировки еще до выхода декабрьского номера американского основного физического журнала, в котором, как нам известно, должна появиться научная статья о жесткой фокусировке частиц.

Пока писалось это важное письмо, я успел изложить появившееся у меня новое предложение о получении сверхжесткой фокусировки частиц, причем в самый важный начальный момент при инжекции частиц в кольцевую магнитную систему ускорителя. Для получения максимально возможной фокусировки предлагалось в кольцевой системе использовать только постоянные во времени магниты при максимально возможном магнитном поле. Для удержания частиц в кольцевой системе предлагалось применить магниты обратной полярности, строго чередующиеся с магнитами противоположной полярности. В такой системе происходит сверхжесткая фокусировка частиц, описываемая известным уравнением Хилла (аналог уравнения Матье при ступенчатых изменениях градиентов магнитного поля в кольцевой системе). Эти расчеты были включены в заключительную часть нашего письма, которое в начале декабря 1952 г. было отправлено И.В. Курчатову.

В начале января 1953 г. нас вызвали на совещание в министерство, где М.С. Козодаев должен был делать доклад по материалам нашего письма. На совещание мы поехали вместе с М.Г. Мещеряковым, директором гидротехнической лаборатории, где с конца 1949 г. действовал самый крупный тогда в мире ускоритель протонов на энергию 480 МэВ.

Совещание проходило в кабинете министра среднего машиностроения (тогда им был М.Г. Первухин), проводил его министр электропромышленности И.Г. Кабанов. Я сел поодаль у торцевой стены просторного кабинета. Со мной рядом сел известный химик Н.Н. Семенов — директор Института химической физики АН СССР, похоже, он сел подальше, чтобы беспрепятственно острить по поводу председательствующего, который, по его мнению, строгим ведением совещания вполне оправдывал свою фамилию.

М.С. Козодаев тем временем написал на доске основные соотношения и объяснил сущность жесткой фокусировки. Как только он закончил первую часть доклада, относящуюся к предложенной американскими учеными жесткой фокусировке, то возникли принципиальные возражения от приглашенных на это совещание специалистов ФИАНа во главе с главным специалистом по ускорителям В.И. Векслером, который указал на будто бы элементарный просчет американских ученых — они не учли повторяющиеся через каждый оборот толчки от различных неоднородностей и оказывающих резонансное влияние на движение частиц в циклических ускорителях. Об этом же, повторяясь, говорили и остальные сотрудники этой группы: В.А. Петухов, М.С. Рабинович и А.А. Коломенский.

Конечно, ни у докладчика М.С. Козодаева, ни у меня как соавтора не было готового ответа на это возражение. Действительно, в использованной нами аналогии с маятником П.Л. Капицы не учитывались подобные редко повторяющиеся толчки. Мне было ясно, что влияние таких толчков должно быть сильно ослаблено отклонениями колебаний от гармоничности, но с таким ответом, основанным на общих соображениях, я не решился выступить на столь высоком совещании.

Но тогда, на первом совещании от позора непризнания ценной идеи американских ученых, на основе которой в последующие десятилетия строились все крупные ускорители в мире, советских физиков спасло неожиданное выступление В.В. Владимирского, заместителя директора теплотехнической лаборатории (позднее она стала именоваться Институтом теоретической и экспериментальной физики). Он тогда встал и, подойдя к доске, сказал, что идея жесткой фокусировки имеет слишком большое значение для будущих ускорителей, чтобы от нее можно было бы отказаться сходу по теоретическим соображениям, без экспериментальной проверки. Поэтому они с директором лаборатории приняли такое гибкое решение: сначала на территории своей лаборатории построить ускоритель протонов всего на 7 ГэВ, на нем все проверить, в том числе и влияние резонансов, о которых здесь говорили, а также исследовать прохождение цикла ускорения через критическую энергию, при которой отсутствует обычная автофазировка. И только после получения положительных результатов приступить к проектированию ускорителя протонов на 70 ГэВ и началу изыскания места для его строительства.

Тогда на совещании против такого мудрого плана у оппонентов, естественно, не нашлось аргументов. И в дальнейшем именно такой план, объявленный на этом совещании, и был реализован,

включая названную тогда энергию. В последующем энергию этих ускорителей удалось даже немного повысить до 10 и 76 ГэВ соответственно. Физические исследования на них ведутся, начиная с 1961 и 1968 гг. соответственно.

После этого выступления М.С. Козодаев продолжил свой доклад, изложив мою идею о сверхжесткой фокусировке в знакопеременной системе магнитов с постоянными во времени и с предельно высокой напряженностью магнитных полей. Он закончил свое заключительное сообщение, указав на существование для такого ускорителя области устойчивости, описываемой уравнением Хилла, и на возможность получения в такой знакопеременной магнитной системе предельно узких пучков частиц. И сразу же после окончания доклада со стороны тех же специалистов ФИАНа раздались возгласы возмущения — еще не ясно, будет ли работать американская идея жесткой фокусировки, а вы предлагаете рассматривать свою утопию о сверхжесткой фокусировке. Этими дружными возгласами они сорвали всякое обсуждение новой оригинальной идеи.

Совещание на этом закончилось, и председатель, закрывая его, посоветовал всем участникам спокойно подумать над поставленными серьезными проблемами и на основе внимательного изучения принять окончательное решение о более экономичных путях строительства будущих ускорителей частиц.

Об этом совещании мне представилась возможность кратко рассказать И.В. Курчатову, когда в конце апреля того же года он посетил М.Г. Мещерякова в связи с начавшейся реконструкцией синхротрофона в целях повышения его энергии до 680 МэВ. Вначале я прежде всего поблагодарил Игоря Васильевича за то, что он придал нашему письму должное значение и предложил его обсудить на заседании научной секции министерства и что такое заседание состоялось в самом начале января и на нем был заслушан доклад М.С. Козодаева. Затем я рассказал о том, как против жесткой фокусировки выступил с явно псевдонаучным возражением В.И. Векслер, которое было фактически отклонено удачным выступлением В.В. Владимирского. Затем я попросил подтвердить все это М.Г. Мещерякова, который также был на этом совещании. По данному поводу он сказал, что дело, конечно, не в резонансах, а в том, что Векслером уже подписаны все правительственные постановления на его проект строительства большого кольцевого ускорителя на 10 ГэВ, основанного на старом принципе мягкой фокусировки, ему уже поздно что-либо менять. Поэтому он против американского новшества. После такого объяснения причины выступления В.И. Векслера против жесткой фокусировки И.В. Курчатов заметил, что если этим объясняется действительная причина выступления против, а не научным заблуждением, то тогда наш главный специалист по ускорителям рискует попасть в ретрограды, если жесткая фокусировка будет подтверждена на практике.

Далее в качестве послесловия к настоящему рассказу считаю необходимым добавить и сведения о дальнейшей судьбе моей необычной идеи применения в кольцевой системе ускорителя магнитов с обратными по направлению полями, описанием которой закончил тогда свой доклад М.С. Козодаев. Через два месяца после совещания в гидротехническую лабораторию пришла из ФИАНа для отзыва заявка на изобретение с необычным названием «Кольцевой циклотрон», подписанная авторами: В.А. Петухов, М.С. Рабинович и А.А. Коломенский.

Ответ на эту заявку М.С. Козодаев поручил написать Ю.Д. Прокошкину, который тогда занимался расчетами жесткой фокусировки. В своем отзыве он отметил большую ценность сделанного предложения, но в положительном решении отказал, поскольку авторы не отметили, что использовали исходную идею А.А. Тяпкина, которая была оглашена в их присутствии на совещании, проходившем в министерстве.

Тот же вопрос о приоритете вновь возник через 3 года, после того как и американские ученые пришли к совершенно аналогичным предложениям. Так, в США К. Саймон опубликовал в конце 1955 г. идею фокусировки частиц в симметричной знакопеременной магнитной системе при постоянных во времени полях. Непосредственно ссылаясь на это предложение, группа авторов, включая и К. Саймона, сделала второе предложение о кольцевом циклотроне. После того как из бюллетеня американского физического общества стало известно об этих предложениях, группа из ФИАНа на основании того, что они на 3 года опередили американских ученых, представила свою работу «Кольцевой циклотрон» на высшую премию Академии наук — премию М.В. Ломоносова. На состоявшемся в Академии наук заседании выступил М.Г. Мещеряков и отметил, что исходная идея таких необычных ускорителей была выдвинута А.А. Тяпкиным, выступивший затем Л.А. Арцимович подтвердил это и

рассказал, что в декабре 1952 г. И.В. Курчатов ознакомил его с письмом, в котором содержалась совершенно новая идея А.А. Тяпкина об инъекции частиц сразу в систему с максимальными полями. И на этом основании авторам было отказано в премии.

Об этих магнитных системах я напомнил на совещании в первой половине 70-х годов, проходившем в Президиуме АН. Совещание было посвящено обсуждению вопроса о будущих ускорителях. Все участники считали, что в будущем в ускорителях должны использоваться сверхпроводящие магнитные системы. Но А.Л. Минц заметил, что трудно будет изменять поле в сверхпроводнике в строгом соответствии с ускоряемым пучком. Тогда я напомнил о предложенной мною возможности ускорять частицы в кольцевой системе с постоянными магнитами. Затем я отметил, что дальнейшее развитие таких систем было предложено группой сотрудников ФИАН. После этого А.А. Коломенский поддержал мое предложение об использовании таких систем в сверхпроводящих магнитах будущих ускорителей и добавил, что на моделях испытали кольцевой циклотрон и убедились в возможности его создания.

В заключение хотел бы выразить уверенность, что идея, высказанная мной более 50 лет назад в письме И.В. Курчатову и оглашением которой закончилось первое совещание, посвященное жесткой фокусировке частиц, получит в XXI веке широкое признание и применение в физике встречных пучков, поскольку она обладает огромными возможностями как раз в этой области экспериментальной физики.

ТЯПКИН А.А. (ОИЯИ)

Рефераты статей

Продолжение. Начало см. на с. 147

УДК 621.039.526

Солонин М.И., Коновалов И.И. Текущие и перспективные задачи топливообеспечения ядерной энергетики. — Атомная энергия, 2003, т. 95, вып. 2, с. 113—121.

Рассмотрена структура ядерного топливного цикла, состоящая из технологических стадий добычи урана, рафинирования, обогащения, изготовления ядерного топлива и переработки отработавшего топлива для повторного использования делящихся материалов. Топливообеспечение включает в себя снабжение российских АЭС, транспортных и исследовательских реакторов, экспорт топлива для АЭС и исследовательских реакторов, построенных по российским проектам, экспорт низкообогащенного урана и топлива для АЭС, построенных по зарубежным проектам. Разведанные запасы природного урана, оцененные запасы урана в резервных месторождениях и складские запасы обеспечат урановым сырьем ядерную энергетику до 2030 г. и более далекую перспективу при запланированных темпах развития. Осуществляемый переход АЭС на новую топливную кампанию позволяет экономить до 20% природного урана. Объем переработки отработавшего топлива и повторного вовлечения

^{235}U позволяет удовлетворять до 30% потребностей российских АЭС в сырье. Наиболее эффективной мерой ресурсной безопасности российской ядерной энергетики является реализация взаимосвязанной стратегии действий на каждой стадии ядерного топливного цикла. Рис. 6, табл. 1.

УДК 621.039.54

Баранов В.Г., Годин Ю.Г., Иванова Н.А., Андрианов А.Н. Термодинамические свойства оксида $\text{U}_{0,718}\text{Ce}_{0,282}\text{O}_{2+x}$. — Атомная энергия, 2003, т. 95, вып. 2, с. 122—126.

Для изучения влияния добавки оксида церия на свойства оксидного топлива проведено экспериментальное исследование структуры и термодинамических свойств образца $\text{U}_{0,718}\text{Ce}_{0,282}\text{O}_{2+x}$, являющегося аналогом уран-плутониевого оксида. Образцы для исследования получали методами порошковой металлургии. С помощью рентгенографического анализа спеченных таблеток показано образование равновесного однофазного твердого раствора замещения на основе UO_2 достехиометрического состава. Для изучения зависимости кислородного потенциала уран-цериевого оксида от отношения кислород/металл и температуры использовали потенциометрический метод э.д.с. твердоэлект-