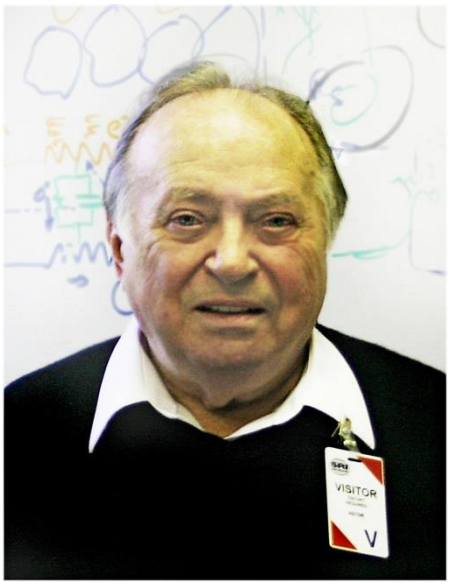


Обращение к читателю

При попытке рассказать о моих идеях в объяснении механизма так называемого холодного ядерного синтеза я столкнулся с проблемой определить состав аудитории, для которой это объяснение предназначается и где оно будет понято.

Да, конечно, эта аудитория входит в сообщество всех физиков-ядерщиков – теоретиков, экспериментаторов и инженеров на нашей планете. Это где-то около 200,000 человек или несколько больше. Назовем это широкое сообщество группой А.

Для понимания нашего предмета нужно также обладать знаниями в области физики элементарных частиц, иерархии типов (зарядов) взаимодействий и соответствующих переносчиков этих взаимодействий – слабых, электромагнитных и сильных (мы исключаем здесь гравитацию). Это обычно называют стандартной моделью Вайнберга-Салама. Круг нашей аудитории уже сужается примерно до 10 тысяч участников. Без участия этих людей из этого сообщества продвинуться в объяснении холодного синтеза невозможно. Назовем это сообщество группой Б.

О процессе холодного синтеза заговорили около 25 лет тому назад после опытов ученых-химиков М. Флейшмана и С. Понса, где наблюдалось аномальное энерговыделение при насыщении металлического палладия дейтерием. Уже с первых же попыток объяснения наблюдаемого эффекта становилось ясно, что для понимания эффекта необходимо знать специфические правила кристаллических структур.

Число физиков-кристаллографов в мире огромно в настоящее время, вся полупроводниковая индустрия требует детального понимания основных физических процессов, происходящих в кристалле. Однако, если рассмотреть состав тех необходимых 10 тысяч участников, о которых говорилось в предыдущем параграфе, то окажется, что сравнительно немногие из них имеют какие-либо детальные знания или интересуются процессами в кристаллах. Конечно, можно вспомнить эффект Моссбауэра, который интересует и физиков элементарных частиц, и кристаллографов, но все равно интересующий нас круг ученых драматически сокращается. Назовем это сообщество группой В. Мы полагаем, что в этой группе остается около 1000 интересующих нас участников.

Как оказывалось в дальнейшем, химический катализ имеет самое непосредственное участие в рассматриваемых процессах. Необходимо знать химию этого явления и понимать, каким образом она может влиять на такой процесс, как чисто ядерный синтез. Физика (химия) электронных оболочек примесного дейтерия в проводящих кристаллах? Группа Г – около 100 человек?

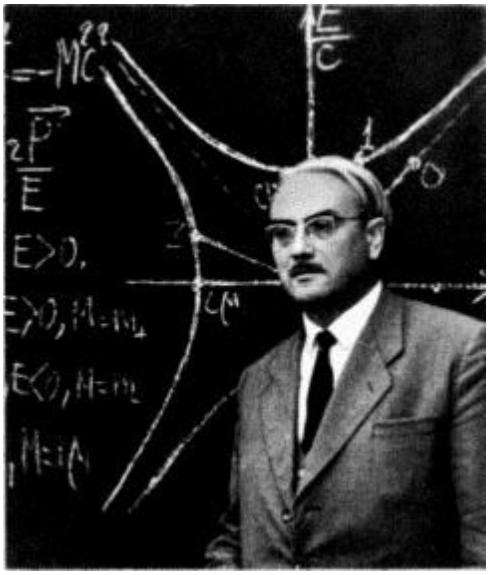
Основы квантовой механики, соотношение неопределенности $\Delta E \times \Delta t \geq \hbar$. Казалось бы – зачем оно здесь нужно? Однако, без него процесс передачи избытка ядерной энергии кристаллической решетке при холодном ядерном синтезе просто-напросто запрещен известными законами сохранения. Сколько человек из группы Г обратили бы на это внимание?

В нормальных условиях развития науки все эти отборы А, Б, В, Г были бы преодолены в разумное обозримое время. Однако, овладение секретами холодного синтеза неминуемо повлекло бы за собой кардинальные изменения во всей мировой энергетике, главным образом в нефтяной и газодобывающей промышленности. Недоверие к холодному синтезу сохраняется и в среде традиционной атомной энергетики, которая постепенно укрепляет свои позиции, несмотря на всю опасность этого направления. Именно эти социальные обстоятельства главным образом затрудняют в настоящее время развитие направления холодного ядерного синтеза. Пока трудно предвидеть, как долго продлится это негласное табу. Мы верим, что этот процесс окажется недолгим.

Развитие идеи холодного синтеза

Когда в 1950 году я проходил собеседование при поступлении на физтех МГУ, преподаватель спросил меня: “Почему вы хотите поступить на специальность строение вещества?” Я ответил: “Хочу делать бомбу”. Преподаватель рассмеялся... Мне долго казалось, что это послевоенное чувство, близкое к клятве – “Никто не увидит нас больше слабыми!” – не исчезнет никогда. Конечно, за более чем полвека острота этого чуства сгладилась, но не исчезла до конца. “Не забыть бы тогда, не простить бы, и не потерять...” Владимир Высоцкий...

На третьем курсе физфака МГУ я понял, что нашу группу готовят для работы на российских ядерных объектах. Наша преддипломная практика проходила на кафедре И.М. Франка в ФИАНе. Мы измеряли распределение нейтронов в большом, размером в два этажа, графитовом кубе. Там я начал практическое знакомство с ядерной физикой. Мой экзаминатор 1950 года аккуратно выполнил мое пожелание. Однако, за это время разработка ядерного оружия была уже практически завершена. Дальнейшее продвижение в овладении законами ядра обещала физика высоких энергий. Так я оказался в Дубне в Объединенном Институте Ядерных Исследований в далеком 1956 году. Я об этом не пожалел никогда. Тем не менее, как это ни странно, азы ядерной физики пригодились мне совсем недавно. “Как старое, но грозное оружие...” И также неожиданно, через 50 с лишним лет мне вдруг пришлось вспомнить в деталях и квантовую электродинамику, которую нам вдохновенно преподавал Я.П. Терлецкий...

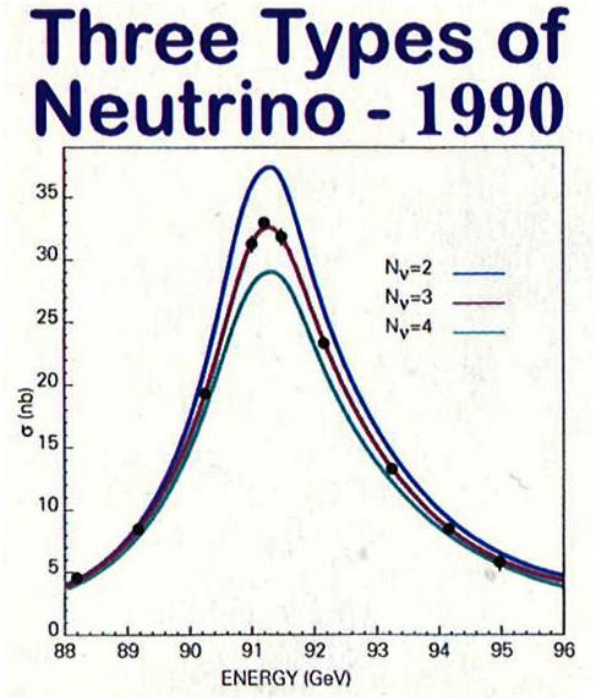


Я.П. Терлецкий

Я горжусь своими пионерскими экспериментами по измерению электромагнитных размеров π–и К– мезонов при рассеянии этих частиц на электронах водорода на ускорителях Серпухова и Фермилаба. Эти эксперименты начались в 1970 году и были первым советско-американским сотрудничеством в науке. У меня есть основания думать, что без меня эти эксперименты не состоялись бы. В 1979 году я доложил результаты серии этих экспериментов на конференции по физике высоких энергий в Токио. Это был, что называется, мой звездный час.

Выступление на конференции в Токио

В эксперименте ДЕЛФИ в ЦЭРН, где я принимал участие с 1984 по 1992 годы (там участвовало еще около 500 физиков), были существенно отодвинуты пределы на неточечность кварков и лептонов. В этом эксперименте я принял участие в определении числа типов нейтрино, то есть фактически в определении числа семейств фермионов. Если бы вдруг получилось, что типов нейтрино четыре, а не три, теория физики оказалась бы в очень-очень сильном затруднении.



Один из основных результатов комплекса ЛЭП в CERN.

В каждом эксперименте бывают критические и эмоциональные моменты. Одними из очень эмоциональных в моей практике оказались эксперименты с изогнутыми кристаллами. Кристалл...Немного подробнее об этом.

В начале 1976 года наша группа была занята в Фермилабе подготовкой системы дрейфовых камер, изготовленных в Дубне для экспериментов в Фермилаб по рассеянию $\pi-$ и К–мезонов на электронах на пучке с энергией 250 ГэВ. Нас консультировал Фабио Саули из ЦЭРН, на короткое время приехавший в Фермилаб. В это время они вместе с Жоржем Шарпаком (впоследствии Нобелевским лауреатом) участвовали в исследованиях каналирования частиц высоких энергий в кристаллах. Фабио с увлечением рассказывал об этих экспериментах.

Интригующие процессы коррелированного взаимодействия частиц высоких энергий с атомами кристалла увлекли и меня на какое-то время. Поведение частицы в потенциале между кристаллическими плоскостями весьма напоминало путь света в плоском световоде. Сразу возник соблазн изогнуть кристалл таким образом, чтобы управлять

траекториями заряженных частиц. Расчеты показывали, что этот метод отклонения частиц будет намного более эффективен, чем отклонение частиц магнитными полями, ввиду очень сильных электрических полей внутри атома. Что любопытно – чем больше энергия частиц, тем эффективнее этот метод.

Аргоннская национальная лаборатория, 1978 год. Автор воспоминаний первый слева во втором ряду.

Фермилаб, 1978 год.

Подписание соглашений по сотрудничеству в области атомной энергии между СССР и США, 1978 г. Фото автора.

Помню, Саули отнесся к этому моему предложению весьма скептически. Он рассказывал, что неконтролируемые изгибы кристаллической фольги в их эксперименте доставили просто массу хлопот, затрудняя точную ориентацию.

Пессимизм Саули по отношению к моей, как мне казалось, очевидной идее об отклонении частиц изогнутыми кристаллами меня несколько удивил и обескуражил. Вскоре после этого ко мне подошел физик из Фермилаб Дик Карриган и предложил использовать наш спектрометр из дрейфовых камер в эксперименте по изучению каналирования $\pi-$ мезонов с энергией 250 ГэВ в кристаллах. Наш спектрометр с дрейфовыми камерами из Дубны в это время обладал рекордной пространственной и угловой точностью. Я согласился и предложил ему расширить этот эксперимент, дополнив его задачей по отклонению пучка изогнутым кристаллом. Подумав несколько дней, Дик сказал, что лично он не верит в это предложение, и посоветовал обсудить это в дирекции лаборатории, собрав специальную комиссию экспертов.

Недели через две, летом 1976 года, собралась комиссия из шести экспертов (“панель”), где я изложил свои идеи и привел количественные оценки. В панель входили известные специалисты по каналированию, в частности, профессор Д. Геммел из Аргоннской национальной лаборатории. Он был автором прекрасного обзора по каналированию, и на его поддержку я особенно расчитывал. Примерно через час после моего выступления комиссия объявила мне, что не считает изложенные мной аргументы убедительными и не рекомендует проводить предложенный эксперимент.

Мне трудно сейчас передать мою реакцию на такое решение. Что-то вроде: “Да они просто идиоты! Как такое возможно?”

Я решил хотя бы опубликовать свои идеи. Я направил рукопись статьи в журнал Physical Review Letters. Довольно быстро пришел ответ – вежливый отказ, сопровождаемый двумя отрицательными (анонимными) отзывами. Я написал в редакцию “очень сердитое” письмо с просьбой найти более квалифицированных рецензентов. Примерно через месяц я получил рецензию профессора Алексея Мараддудина из Калифорнийского университета в городе Ирвин, известного физика в области каналирования. Он сообщал редакции, что реферируемая статья является ненаучным измышлением автора, не представляет никакой ценности и не может быть принята к печати. Звучало примерно так – этого не может быть, потому что это чистый абсурд.

Прочитав рецензию Мараддудина, я решил – во что бы то ни стало необходимо провести этот эксперимент на ускорителе. Никакими другими рассуждениями невозможно убедить физиков, занимающихся процессами каналирования, этой наукой, возникшей при изучении явлений при низких энергиях. Кристаллическая решетка представлялась этим физикам как нечто незыблемое, раз и навсегда данное. На изогнутый кристалл было наложено табу. Были нужны неоспоримые экспериментальные факты. Я был уверен в своей правоте, и захотелось наказать фактами так называемых классиков.

Сейчас видно, что этот случай в миниатюре напоминает ситуацию, происходящую сейчас с явлением холодного ядерного синтеза. Но об этом несколько позже.

В ОИЯИ поначалу все шло не очень гладко. После двухгодичной командировки в США практически распалась группа, “уплыли” помещения, “рассосалось” почти все оборудование. На остающихся нескольких человек легла задача обработки данных эксперимента по рассеянию $\pi-$ и К–мезонов на электронах на пучке с энергией 250 ГэВ, выполненного в Фермилаб. Для экспериментов по каналированию пришлось собирать новую команду.

Эксперимент с изогнутыми кристаллами самого начала поддержал директор ОИЯИ Н.Н. Боголюбов, этот выдающийся физик двадцатого века. Как рассказывал мне директор ЛВЭ А.М. Балдин, его знакомые физики из Московского Института Кристаллографии считали, что эксперимент обречен на неудачу. Для меня это было уже неудивительно. В сентябре 1977 года в журнале CERN Courier была опубликована редакционная статья, где буквально было сказано, что “некоторые предлагают отклонять пучки изогнутым кристаллом, но они просто не понимают процесса каналирования”. Это был явный ответ на мой технический меморандум по этой теме, написать который мне предложил тогдашний директор Фермилаб Р. Вилсон.

Перед самым началом эксперимента осенью 1978 года под председательством А.М.Балдина в его кабинете состоялось, что называется, “совещание на высшем уровне”. В это время в МГУ проходила международная конференция по каналированию, и группа его участников приехала в Дубну. На совещании у Балдина присутствовал основоположник теории каналирования профессор Дж. Линхард, признанный глава экспериментов с кристаллами при высоких энергиях датчанин профессор Эрик Уггерхой, профессор А.Ф.Тулинов из МГУ и другие “авторитеты”. Обсуждались шансы на успех

нашего эксперимента. Вердикт этого совещания был категорическим – изогнутый кристалл не удержит каналирующих частиц.

Тем не менее, благодаря настойчивости Н.Н. Боголюбова дирекцией ОИЯИ было принято решение провести этот эксперимент. Необходимо было определить место на пучке синхрофазотрона. Несколько вариантов пришлось отбросить – слишком тесно. И тогда главный инженер ЛВЭ Леонид Григорьевич Макаров предложил нам разместиться в еще недостроенном экспериментальном корпусе 205: “Ну и ничего, что он недостроен. Электричество мы вам пробросим, пучок пошлем, а больше вам ничего и не нужно. Зато сколько места – гектар под крышей! Крыша надежная, окна застекляем. Нет крана – ваше оборудование внесете на руках. Нет отопления – электроника только лучше будет работать. Действуйте! А заодно мы отрапортуем, что корпус передан физикам в эксплуатацию”.

Идея оказалась неплохой. В ноябре 1978 года мы сдали установку в эксплуатацию, в декабре состоялся первый сеанс на выведенном пучке протонов. Пучок с энергией 8,4 ГэВ был еще не полностью сформирован, потому что в корпусе 205 не было никаких магнитных элементов – нет воды, но это были мелочи жизни. Более существенной трудностью оказался холод. На улице было минус 20 с ветром. Чтобы работать в экспериментальном домике, пришлось поставить в нем 11 масляных нагревательных батарей, все, что мы могли собрать в ЛВЭ. Пришлось обогревать (термостатировать) и наши дрейфовые камеры. Работа по монтажу установки проводилась в зимних условиях. В экспериментальном павильоне было тоже минус 20, но правда без ветра.

Нужно сказать, что эксперимент оказался совсем не таким простым, каким он представлялся вначале. Пучок, выделяемый системой сцинтилляционных счетчиков, надо было “вложить” в кристалл с точностью лучше десятых долей миллиметра. Полупроводниковый детектор, встроенный на входе в кристалл, позволял отбирать частицы, захваченные в процесс каналирования, по малой величине ионизационных потерь. Прецизионный гониометр позволял ориентировать кристалл в двух измерениях с точностью 0,001 градуса.

Обсуждение первых результатов экспериментов по отклонению пучка в ЛВЭ.

Мы изгибали кристалл двухмиллиметровой толщины довольно примитивным устройством, работая обычной отверткой. По лазерному лучу изогнули кристалл на 0,5 миллирадиана – и пучок отклонился! 1 миллирадиан – идет! 3 миллирадиана – идет! 4 миллирадиана! Победа! При попытке выставить угол изгиба 6 миллирадиан образец сломался. Поставили более тонкий кристалл, изогнули его до 12 миллирадиан, после чего сломался и он. Взяли еще более тонкий кристалл, выставили угол изгиба 26 миллирадиан. Есть 26 миллирадиан! Магнитное поле, необходимое для такого отклонения, составляет около 80 Тесла.

При попытке увеличить угол изгиба сломался и этот образец. Переставили аппаратуру для регистрации угла 45 миллирадиан, поставили последний, самый тонкий полумиллиметровый кристалл. Вдруг – удар грома, и все встало. Молния попала в кабель, который соединял нас с ЭВМ ЕС-1040 в физическом корпусе ЛВЭ. Этот кабель шел прямо по деревьям... На дворе, оказывается, был уже июнь 1979 года. У нас выгорела аппаратура связи с ЭВМ. И тут наступило утро... Нет, это не про Шахерезаду, это закончился сеанс ускорителя. Каждый физик знаком с этим чувством конца сеанса, которое очень напоминает чувство преждевременной и грубой разлуки. Тем не менее, сеанс закончился нашей убедительной и полной победой.

После окончания сеанса

Вскоре после публикации результатов нашего эксперимента отклонение частиц изогнутыми кристаллами подтвердили в ЦЕРН, в Гатчине, затем в Фермилабе. Появилось много интересных предложений по использованию изогнутых кристаллов в физике высоких энергий, возникла так называемая кристаллооптика – отклоняющие элементы, фокусирующие элементы, устройства для расщепления пучков на несколько направлений и т.д. Как говорил тогда А.М.Балдин о нас – “Они могут пучком помахивать!”

Должен сказать, что мне очень не хотелось делать “отскок в сторону” от физики высоких энергий. Начиналась эра встречных пучков, стандартная модель элементарных частиц делала первые шаги, пугала возможность “отстать от поезда”. В Фермилабе активно разрабатывался сверхпроводящий комплекс встречных пучков Тэватрон, начиналось проектирование установки, получившей впоследствии название CDF. Физика высоких энергий звала обратно. Мои усилия переключить сотрудничество ОИЯИ-ЦЕРН с экспериментов с фиксированными мишенями на комплекс встречных пучков ЛЭП увенчались успехом, мое “лоббирование” встречных пучков дало свои плоды.

Предложение об участии ОИЯИ в эксперименте ДЕЛФИ.

В 1984 году наша группа уже интенсивно подготавливала эксперимент ДЕЛФИ на встречных электрон-позитронных пучках на ускорительно-накопительном комплексе ЛЭП. Однако, еще один “отскок” в сторону изогнутого кристалла все-таки состоялся. Одним из заманчивых предложений был вывод пучков из ускорителей изогнутым кристаллом. За прошедшие пять лет никто не собрался это сделать. Пришло время попытаться это сделать самим.

Нужно сказать, что синхрофазотрон ЛВЭ представлял из себя не самый легкий ускоритель для демонстрации такого вывода. Было только одно место во втором квадранте ускорителя, где на внутренней циклически вдвигающейся мишени можно было разместить изогнутый кристалл. Небольшое выходное отверстие из вакуумной камеры ускорителя отстояло от отклоняющего кристалла на расстоянии около 50 метров, и чтобы попасть выводящимся пучком в это отверстие, нужно было вырезать и изогнуть кристалл чрезвычайно точно. Ситуация усугублялась еще тем, что положение выходного отверстия ускорителя вообще было известно недостаточно точно. Для точной корректировки траектории отклоненного пучка на пути до этого выходного отверстия отклоняющий кристалл внутри камеры ускорителя можно было дистанционно поворачивать с помощью мини-гониометра.

Невозможно описать все подробности этих исследований на ускорителе. Время на ускорителе было дано нам в условиях жесткой конкуренции с интересными физическими задачами ЛВЭ, как шанс впервые попробовать вывести пучок из синхрофазотрона изогнутым кристаллом. Надо сказать, что группа блестяще справилась с этой задачей. Есть первый вывод пучка из ускорителя изогнутым кристаллом!

Одна почти комическая (по крайней мере, для меня) деталь. Как раз в это время в Государственном комитете по делам изобретений и открытий СССР проходило рассмотрение нашего предложения на открытие явления отклонения заряженных частиц высоких энергий изогнутыми кристаллами. Вердикт был – отказать, так как в этих результатах не содержится элемента новизны. Наверно, так оно и есть... Но все-таки это как-то напоминало Козьму Пруткова: “Если у тебя спрошено будет: что полезнее, солнце или месяц? – ответствуй: месяц. Ибо солнце светит днем, когда и без того светло; а месяц – ночью...”

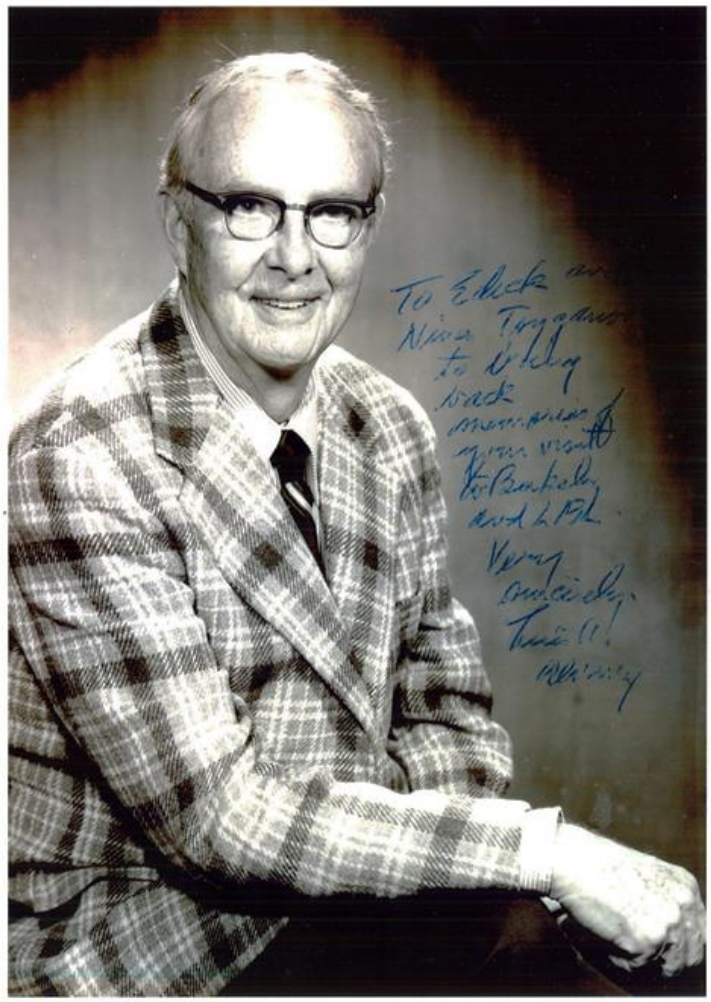
На конференции по физике высоких энергий в Далласе в 1992 году директор ЦЕРН профессор К.Руббиа доложил о выводе пучка из ускорителя SPS изогнутым кристаллом как об основном результате ЦЕРН за этот год. Я помню, как во время аплодисментов двухтысячной аудитории физиков я чуствовал себя юбиляром, хотя никто не обращал на меня внимания...

Как же так получилось, что меня опять вынесло из физики высоких энергий в эти прикладные исследования под названием холодный ядерный синтез? Правда, эта прикладные исследования обещают скачок по выработке энергии в 10^7 раз (!) по сравнению со всеми химическими процессами. Вдохнуть новую жизнь на нашей планете! Дешевой энергии нам хватит в избытке на миллиарды лет!

Мне посчастливилось присутствовать на семинаре М. Флейшмана в ЦЭРН в декабре 1989 года. Мы в это время запускали в ЦЭРН установку ДЕЛФИ на ЛЭП’е. Я поверил Флейшману сразу. На семинаре Флейшмана я решил, что попытаюсь понять этот холодный синтез, когда закончу с экспериментом ДЕЛФИ. Я тогда считал себя большим специалистом по кристаллу из-за открытия феномена отклонения частиц высоких энергий изогнутыми кристаллами. Я дал себе слово обязательно с этим холодным синтезом “разобраться”.

Вспомнились мои встречи с легендарным физиком Луисом Альварецом в 1976 году во время посещения Лаборатории имени Лоуренса в Беркли. Он рассказал мне о первых экспериментах по μ–катализу в реакциях DH–синтеза, обнаруженных его группой в 1957 году на снимках жидководородной пузырьковой камеры. Я уже слышал о ядерном μ–катализе. Я полагал, что этот путь из-за технических сложностей с получением достаточно интенсивных пучков μ–мезонов, повидимому, не приведет к практическому применению холодного синтеза.

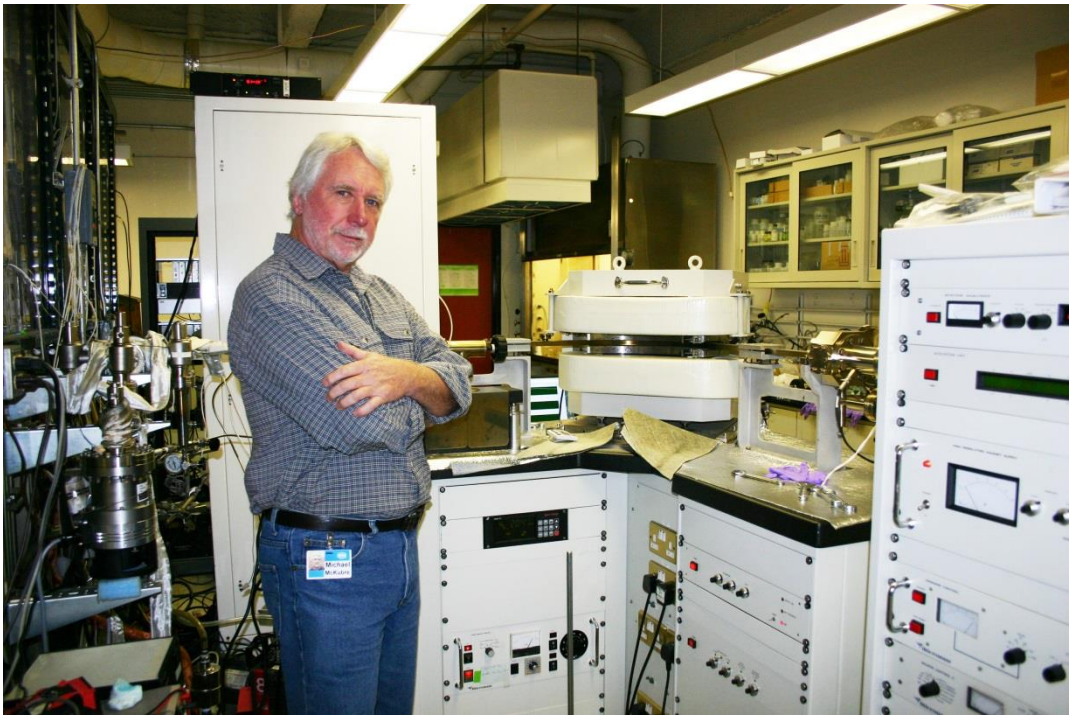
И вот снова идеи холодного синтеза, но уже в кристаллах!



Луис Альварец

После семинара Флейшмана в ЦЭРН я и не подозревал, что для того, чтобы разобраться с холодным ядерным синтезом, мне понадобится более двадцати лет. Вскоре после 1989 года события покатились так быстро, что только несколько лет тому назад мне удалось вернуться к проблеме.

В начале 2011 года я встретился с доктором Мак-Кубре из Международного Исследовательского Института в Стенфорде в его Лаборатории. Я убедился, что качество работ, выполненных группой Мак-Кубре, удовлетворяет всем строгим требованиям физического эксперимента. Наблюдаемый эффект выходит примерно за 100 экспериментальных погрешностей.



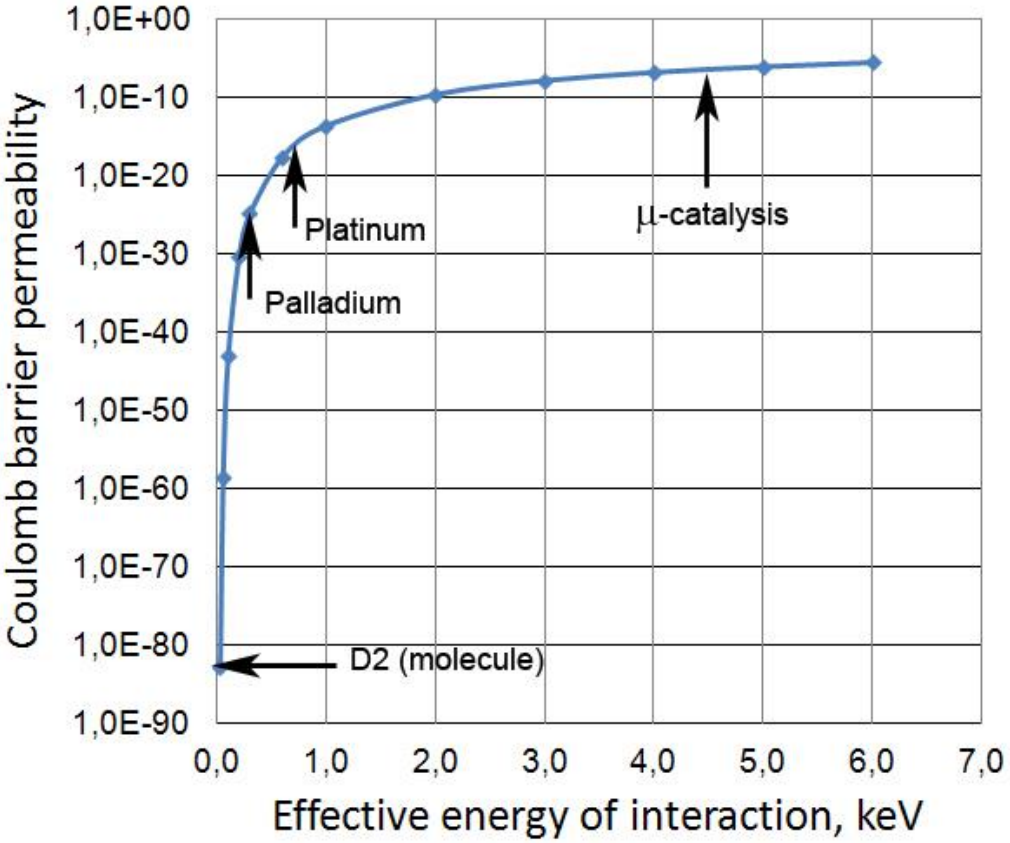
Доктор Мак-Кубре в своей лаборатории. Фото автора.

Мои попытки объяснить наблюдаемый эффект холодного синтеза долгое время не приносили желаемых результатов. Если опыты группы Мак-Кубре еще как-то можно было объяснить “горячим” синтезом, предполагая механизм перекачки длинноволновых колебаний кристаллической решетки индивидуальным атомам дейтерия, имплантированным в кристалл, с помощью эффекта “домино” в гиперканалах этой решетки, то опыты группы Араты в Японии с микрокристаллами палладия никак не укладывались в этот механизм.

Прорыв в понимании механизма холодного синтеза произошел у меня после ознакомления с опытами по исследованию традиционного “горячего” синтеза на ускорителях низких энергий в группах Ролфса (коллаборация LUNA) и Черского в Берлине. Как потом оказалось, аналогичные эксперименты были проведены еще ранее их японскими коллегами. В этих экспериментах было замечено, что так называемый потенциал электронного экранирования, который в случае столкновения свободных атомов дейтерия составляет 27 эВ, при протеканнии реакции DD–синтеза в объеме проводящего кристалла может составляет 300-700 эВ. Потенциал электронного экранирования характеризует расстояние, до которого атомы дейтерия могут сближаться, не испытывая кулоновского отталкивания.

Опыты на ускорителях показывали, что в условиях проводящего кристалла реакция DD–синтеза протекает таким образом, что атомы дейтерия могут сближаться, не испытывая кулоновского отталкивания, до расстояний в 1/10 или даже в 1/20 от

номинальных размеров атома дейтерия. В работах Ассенбаума и других теоретиков было показано, что потенциал электронного экранирования можно трактовать как дополнительную кинетическую энергию частицы. Если применить эту трактовку (она справедлива, если этот дополнительный потенциал существенно меньше амплитуды потенциального барьера), то в этих условиях для двух атомов дейтерия, расположенных в одной и той же потенциальной нише проводящего кристалла, прозрачность потенциального барьера будет выглядеть следующим образом:



Прозрачность потенциального барьера для DD синтеза.

Не могу передать моих эмоций словами после того, как я построил этот график! В этих расчетах нет ничего другого, кроме абсолютно надежной квантовой механики и хорошо известных параметров (размеров) ядра дейтерия. Прозрачность потенциального барьера для двух атомов дейтерия, расположенных в одной потенциальной нише проводящего кристалла, возрастает на ~60 порядков по сравнению со свободной молекулой дейтерия! Архимед в похожей ситуации (“эврика!”) выбежал из ванны голый. А наша задача была заметно труднее, чем у Архимеда. Мои руки немного дрожали еще несколько часов.

Первый барьер на пути к объяснению холодного синтеза рухнул.

Оппоненты нас сразу же спросят – “А где же нейтроны? Где тритий? Это продукты, возникающие при DD синтезе”. Приходится предположить, что при малой энергии возбуждения составного ядра ^{4}He* (суммарная тепловая энергия начальных взаимодействующих дейтронов) постоянная времени жизни составного промежуточного ядра ^{4}He* по ядерным модам его распада увеличивается, замедляя его распады. Нам нужно, чтобы состояние ^{4}He* при холодном синтезе оказалось метастабильным. Ответ оппонентов – “Ну ничего, мы для вас подождем *распадать* промежуточное ядро! Сколько надо ждать? И что дальше?” Ждать надо столько, чтобы виртуальные фотоны, испускаемые составным промежуточным ядром ^{4}He*, долетели до атомов кристаллической решетки и передали им всю избыточную энергию возбуждения ^{4}He*, которая составляет 24 МэВ. Это время не более 10^{-15} секунды. Возражение оппонентов – “Вот вы и попались! Испускание фотона ядром ^{4}He* невозможно, так как спин фотона равен единице, а орбитальный момент образовавшегося промежуточного ядра ^{4}He* равен нулю!” Наш ответ – вы правы в случае реальных фотонов, а наш фотон является виртуальным, и пространственная составляющая его спина равна нулю, когда этот спин направлен по оси времени... “А сколько времени существует этот ваш виртуальный фотон?” А это зависит от его энергии, так как $\Delta E \times \Delta t \geq \hbar$. 10^{-18} секунды виртуальному фотону вполне достаточно, чтобы долететь до границы атома, встретить там электрон внешней среды и больше не возвращаться обратно.

Оппонент берет паузу на обдумывание...

В июне 2011 года я принял участие и выступил с докладом на рабочем совещании по холодному синтезу в MIT под руководством М. Шварца. Pdf-файл моего доклада в MIT прилагается на этом сайте. Мой доклад был был выслушан со вниманием. Было несколько вопросов. Помню один из них: “Скажите, а почему Вы считаете, что традиционные моды распада промежуточного составного ядра ^{4}He* могут быть запрещены при холодном синтезе? Это противоречило бы теории ядерной физики! Откуда взялся этот запрет?” Мой ответ был – во-первых, взаимное кулоновское отталкивание ядер дейтерия, проникнувших в потенциальную яму сильных взаимодействий, никуда не девалось. Это отталкивание, по моему мнению, является причиной образования метастабильного состояния системы ^{4}He* при малых энергиях возбуждения составного промежуточного ядра при холодном синтезе. Это не запрет, это замедление скорости таких распадов. Во-вторых, при всем моем глубоком уважении к ядерной физике, я полагаю, что настоящей теории ядерной физики пока не существует. То, что Вы называете такой теорией, является на сегодня не чем иным, как феноменологическим набором эмпирических правил.

По-моему, реакция зала на мой ответ была неоднозначной. “А не слшком ли категорично такое утверждение? Не слишком ли далеко мы зайдем на этом пути?”

На представленном ниже рисунке весьма схематически иллюстрируется ситуация, возникающая в первые моменты после проникновения дейтронов с тепловыми энергиями в потенциальную яму сильных взаимодействий. Высота кулоновского барьера между этими двумя дейтронами, возможно, составляет доли кэВ’а, их суммарная кинетическая

(тепловая) энергия около 0,040 эВ, то есть на 3-4 порядка меньше этого барьера. Это обстоятельство, повидимому, является причиной метастабильного состояния данной системы, что замедляет ее ядерный распад до 10^{-15}-10^{-16} секунды. Этого оказывается достаточным для того, чтобы с помощью виртуальных фотонов излучить добавочную энергию 24 МэВ в реакции $D+D \rightarrow {}^{4}He+24$ МэВ.

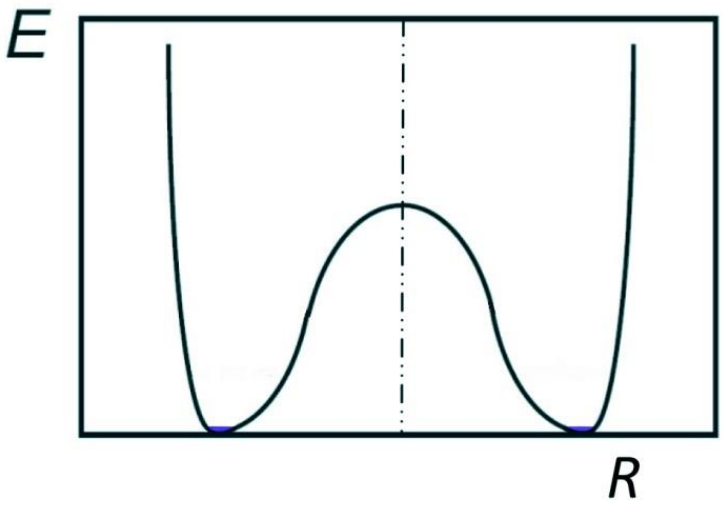


Схема потенциальной ямы для холодного DD синтеза.

Можно предположить, что потенциальный кулоновский барьер внутри общей ямы сильных взаимодействий после осуществления реакции синтеза уже больше не является удерживающим фактором для нейтронов, и нейтроны могут “почти свободно” перемещаться от одного протона к другому. В этом случае метастабильная dd-система переходит в метастабильную pt-систему. Однако, это “почти свободно” означает необходимость дополнительной энергии около 2 МэВ из-за энергии связи в дейтроне. Напомним, что в нашем случае кинетическая энергия дейтронов в яме сильных взаимодействий очень мала, гораздо меньше 1 эВ. Эти процессы, конечно, необходимо рассмотреть более подробно количественно.

Практическое отсутствие нейтронов в реакции холодного синтеза $D+D \rightarrow {}^{3}He+n$ – это доказанный экспериментальный факт. Экспериментальным фактом также является и зарегистрированный, хотя и весьма малый, выход трития из реакции холодного синтеза $DD \rightarrow {}^{3}H+p$.

Идеи холодного синтеза, основанные на расчетах этого эффекта с учетом потенциала электронного экранирования в металлах, легли в основу материалов, представленных на данной вэб-странице. Сюда относятся доклады, сделанные мной и моими коллегами в 2011-2013 годах (MIT, Ставрополь, Channeling 2012 Conference, Объединенный Институт Ядерных Исследований в Дубне, Россия, конференция Российско-Американского Научного Общества (RASA) 8-10 ноября 2013, Clearwater Beach, Fl.), а также наши публикации в этот период (Nuovo Cimento 2011 г., препринт Фраскати 2011 г, журнал Ядерная Физика 2012 г., XI Международная Научная конференция “Химия твердого тела: наноматериалы, нанотехнологии”- Ставрополь, Россия, 2012, NIM B 2013 г, Инженерная Физика, Москва 2013 г, Channeling 2012 – сборник МИФИ, 2013).

После завершения совещания по холодному синтезу в MIT в июне 2011 г.
Фото автора.

Подводя итоги данного обсуждения холодного синтеза, можно сделать следующее обобщающее заключение:

В настоящее время человечество подошло к такой стадии развития, когда борьба за энергетические ресурсы становится особенно актуальной, так как все известные источники энергии в самое ближайшее время не смогут обеспечить наши потребности. Химическая энергия, кроме того, ограничена так называемым парниковым эффектом. Ядерная энергия, основанная на использовании делящихся материалов, также не является решением проблемы, так как запасы этих материалов ограничены. Первоначальные оптимистические ожидания перехода к процессу управляемого термоядерного синтеза пока так и не материализовались. Технические трудности устойчивого получения сверхгорячей плазмы и разрушающее воздействие громадного нейтронного потока, возникающего вследствие термоядерных реакций, отодвигают решение этой задачи на все более отдаленное и неопределенное будущее.

Недавно появилась уверенность в том, что проблема управляемого ядерного синтеза может быть решена совершенно другим способом. Было показано экспериментально, что сечение подбарьерных процессов синтеза очень сильно зависит от физического состояния вещества, в которое помещены реагирующие атомы. Расстояние сближения двух ядер дейтерия с помощью механизма Ридберга в кристаллической ячейке металлов на порядок величины меньше, чем размер свободного атома дейтерия. Проницаемость кулоновского барьера в таком процессе DD синтеза очень сильно (на ~60 порядков) возрастает по сравнению с проницаемостью барьера для свободной молекулы дейтерия.

В настоящее время мы обсуждаем возможность экспериментальной регистрации процесса “холодного” DD синтеза с помощью детектирования электронов малой энергии, которые появляются в результате реакции слияния двух дейтронов в кристалле палладия при очень малых (тепловых) энергиях возбуждения промежуточного составного ядра 4He*. Такой процесс возможен благодаря обмену составного ядра с электронами кристаллической решетки последством виртуальных фотонов.

Подробности наших исследований по холодному синтезу приводятся в приложениях на данном сайте.

Э.Н. Цыганов