

## Первая «лунка» В.С.Куликаускас

Я познакомился с Анатолием Филипповичем Тулиновым весной 1958 г., будучи студентом 3-го курса, после распределения на кафедру ускорителей. Анатолий Филиппович встретил меня доброжелательно. Он сказал, что с Литвой у него связано много воспоминаний. Оказалось, что он там воевал, а после ранения в Восточной Пруссии лечился в госпитале в моем родном Каунасе. Впоследствии, каждый раз после моей очередной поездке домой в Каунас Анатолий Филиппович детально расспрашивал меня обо всем, что происходило в Литве. Видно было, что ему это интересно. У всех студентов, которые приходят к Анатолию Филипповичу в лабораторию, он обычно подробно выясняет какой характер работы им больше нравится. Я выбрал эксперимент, припомнив, что какое-то время работал в школе лаборантом в физ. кабинете. Анатолий Филиппович предложил мне интересную экспериментальную задачу. Речь шла о развитии нового метода определения времени жизни возбужденных состояний ядер, который был незадолго до этого предложен Анатолием Филипповичем. Первые эксперименты, выполненные совместно с А.Н.Бояркиной показали, что метод работает в области  $10^{-12}$ - $10^{-14}$ сек., однако для более широкого применения необходимо было провести большую дополнительную методическую работу. Эта задача оказалась довольно сложной, она отняла много времени. Ею я занимался как в студенческие, так и в аспирантские годы. Аспирантуру я закончил в 1964 году и был оставлен на работу в НИИЯФ, но так как я не имел московской прописки, пришлось некоторое время жить и работать в Дубне, часто наезжая в Москву для окончания работ над диссертацией. Однако закончить работу над той диссертацией так и не удалось.

Однажды после летнего отпуска 1964 года, Анатолий Филиппович пришел в лабораторию, собрал несколько человек нашей группы и объявил, что у него есть интересная идея. И он рассказал об идее использовать на ускорителе в качестве мишени монокристалл. При этом должны появляться тени и с их помощью можно будет измерять время протекания ядерных реакций. Идея была на редкость красивой. Правда, было неясно, наблюдал ли кто-нибудь раньше эти тени, и Анатолий Филиппович поручил всем нам подробно расспросить об этом у знакомых физиков и просмотреть соответствующие реферативные журналы. Быстро выяснилось, что тени раньше не наблюдались. Анатолий Филиппович объявил, что мы будем заниматься этой проблемой, а мне и М.М.Малову поручил оставить уже начатую работу и подготовить все для регистрации упруго рассеянных протонов на монокристалле. На первый взгляд задача казалась довольно простой. Необходимая аппаратура для этого у нас была, был опыт работы с регистрацией протонов ядерных реакций на циклотроне. Однако, задача оказалась не такой уж тривиальной. Оценки, связанные с угловым разрешением показывали, что детектор надо было располагать значительно дальше чем это обычно делается. Мы расположили его в 1 метре от мишени. Это не могло не сказаться на интенсивности счета. Она оказалась довольно низкой. Некоторые хлопоты доставила и монокристаллическая мишень. Так как у нас никакого опыта работы с кристаллами не было, нам помогли физфаковские твердотельщики. Анатолий Филиппович достал у них монокристаллический образец вольфрама. Вольфрам был выбран ввиду его термостойкости и высокого значения атомного номера  $Z$ . Необходимо было довольно точно ориентировать монокристалл. Это было сделано тоже с помощью сотрудников кафедры физики твердого тела. Они использовали для этого рентгеновскую методику. Стали искать минимум интенсивности рассеянных частиц в направлении  $[111]$ , т.к. при этом межатомное расстояние в цепочках минимальное, а угловые размеры «лунки» должны быть наибольшими. Так как предстояло измерить угловые распределения, была использована оригинальная камера, сконструированная Анатолием Филипповичем за несколько лет до этого. Она позволяла изменять угловое положение детектора без нарушения вакуума. Сначала никакого эффекта не было, но постепенно, по мере того как улучшали условия опыта стал иногда проявляться мелкий минимум. Трудность состояла в том, что интенсивность счета частиц была низкой, статистика бедной, необходимой повторяемости не было. Я помню, как мы с М.М.Маловым постоянно проводили многочасовые замеры, и Анатолий Филиппович сидел вместе с нами до часа ночи. Потом он уходил домой, а в 5 утра звонил, спрашивая «как дела?». Постепенно стала проявляться причина «мелкости» лунки. Оказалось, что при регистрации мы захватывали довольно большую часть спектра рассеянных протонов, так что регистрировались не только частицы рассеянные на поверхности, но и те, которые шли из глубины кристалла. Они то и «засыпали лунку». После того как был улучшен амплитудный анализ импульсов от частиц и обеспечено выделение только верхней части спектра эффект стал наблюдаться достаточно надежно. Одна из последних «лунок» изображена на рис.1. Наблюдение эффекта, конечно, всех нас воодушевило. Вся наша группа постоянно следила за ходом работы. Проблемы живо обсуждались с товарищами из лаборатории, которые работали над другими вопросами. Это было очень интересное время. Анатолий Филиппович каждое утро приходил с новыми идеями и предложениями.

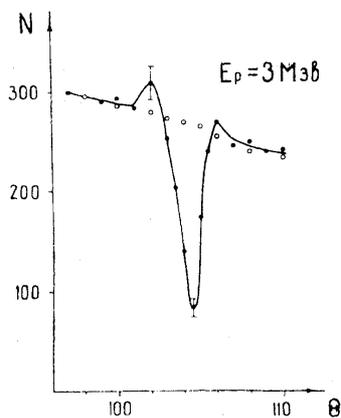


Рис.1. Угловое распределение протонов, упруго рассеянных на монокристалле вольфрама вблизи оси  $\langle 111 \rangle$ .

На все описанные выше работы у нас ушло немало времени, фактически вся осень 1964 года и начало зимы. Но в начале 1965 года мы уже получали достаточно надежные результаты, и стало возможным расширять исследования. К работе привлекли аспирантов А.А.Пузанова из Свердловска и Б.Г.Ахметову из Алма-Аты. Им было поручено провести эксперименты на каскаднике при меньших энергиях (500-600 кэВ) и регистрировать протоны фотопластинками для получения общей картины теней в широком угловом диапазоне. Первое же облучение, проведенное с кристаллом Мо, принесло неожиданный успех. На пластинке были видны не только теневые пятна, но и однородные прямые линии. Таким образом, мы обнаружили не только осевые тени, но и плоскостные. Стало ясно, что получение всей теневой картины фактически привело к новому методу измерения структуры кристаллов, названной протонографией. (рис.2.)

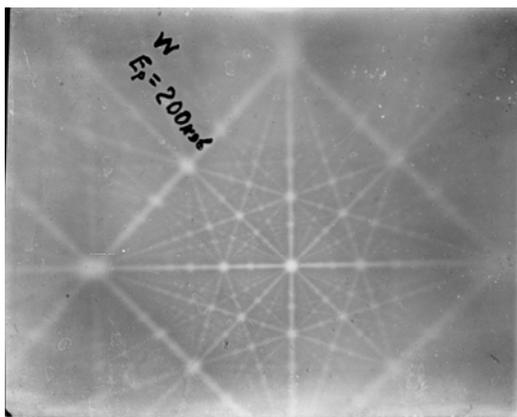


Рис.2. Одна из первых протонограмм, полученных на кристалле вольфрама с помощью фотопластинки с ядерной фотоэмульсией.

Мне же Анатолий Филиппович предложил продолжить измерения и исследовать температурные эффекты, т.к. из качественных соображений предполагалось, что температура должна оказывать сильное влияние на картину теней. Сначала проводились исследования, связанные с охлаждением кристалла. Помогли, как всегда, тесные связи с другими кафедрами физфака. На кафедре низких температур нам помогли спроектировать систему охлаждения до гелиевых температур. Система работала и, хотя исследования проводились только с азотными температурами, эффект уменьшения амплитуды колебаний атомных ядер приводил к сужению теней. Позднее, в совместной работе с группой А.А.Пузанова после его возвращения в УПИ, было показано, что сужение теней наблюдается и без нагрева, если перейти к кристаллам с низкой дебаевской температурой, например, исследуя кристаллы висмута, у которых амплитуда колебания высока и при комнатной температуре.

Помимо температурных исследований на ранней стадии «кристаллических» работ, мне довелось участвовать в измерениях зависимости формы теней, как осевых, так и плоскостных от глубины рассеивающего слоя. На рис.3 и рис.4 изображены типичные примеры таких зависимостей. Видно, что в центре осевой тени оси  $[111]$  вольфрама при энергии 500 кэВ уже микронные толщины «рабочего» слоя вносят существенные искажения в форму тени. Поэтому для извлечения информации о физике формирования тени и о характере колебаний атомов необходимо было работать только с самым верхним участком энергетического спектра. То же относится к сравнению экспериментальной формы тени с теоретической. В дальнейшем большинство задач, которые выполнялись в лаборатории по «кристаллической» тематике использовали при регистрации самый верхний участок спектра рассеянных частиц. Это достигалось не только с помощью дискриминатора в счетной методике, но и наложением тонких пленок на фотопластинки. При этом основная часть пробега приходится на пленку. Подбором ее толщины

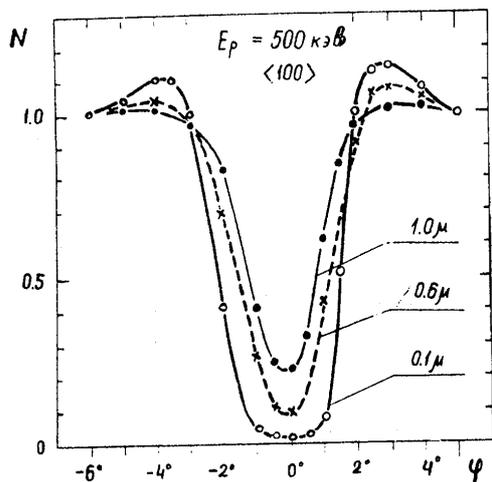


Рис.3. Угловое распределение протонов для разных глубин рассеивающего слоя.

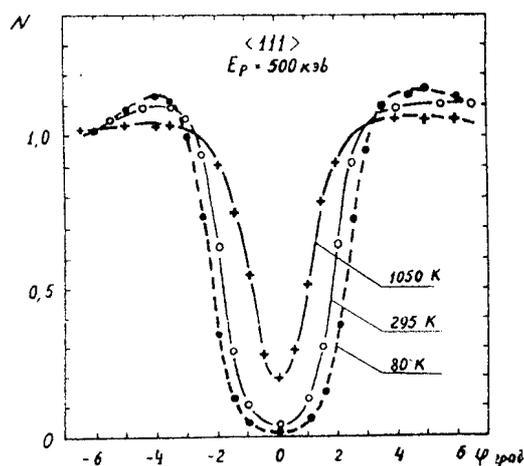


Рис. 4. Угловое распределение протонов при разных температурах кристалла W.

можно обеспечить необходимые условия регистрации. Работа с верхним участком спектра резко повышает чувствительность методики к различным воздействиям на кристаллы. Поэтому было решено выполнить цикл измерений по влиянию на эффект теней радиационных дефектов. Для этого Анатолий Филиппович предложил использовать в одном опыте два эффекта – эффект теней и эффект каналирования. Измерения проводились на вольфраме при энергии  $E_p=500 \text{ кэВ}$ . Пучок направлялся вдоль оси [100], а детектор устанавливали по направлению оси кристалла [111]. Каждый эффект уменьшает интенсивность примерно на 2 порядка. На рис.5 кривая 1 – тень без каналирования, кривая 2 – угловое распределение в режиме каналирования, кривая 3 – при двойной ориентации. Такая ориентация используется ныне в установках по исследованию поверхности монокристаллов методом MEIS.

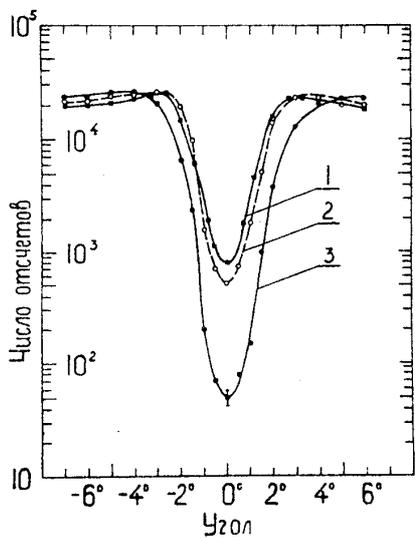


Рис. 5. Угловое распределение протонов:

- 1 - в режиме затенения,
- 2 - в режиме каналирования,
- 3 - при двойной ориентации.

В последующие годы мне довелось участвовать во многих работах, связанных с взаимодействием частиц с кристаллами. Это касается и разработки методов определения с помощью ориентационных эффектов положения примесных атомов в ячейке кристалла и использования метода обратного рассеяния с каналированием для многих прикладных задач. Однако воспоминания о первых месяцах работы в этой новой области, когда было постоянное ощущение того, что все, что мы делали, делалось впервые, оставили самый яркий след в моей жизни.