

80-летию со дня рождения  
А. М. Рожкова  
посвящается  
(1936–1994)

## ROTATING PLASMA

В. И. Фареник\*

### Осень 1965 года...

*Они сидели друг против друга за выдавшим виды письменным столом, угол которого был освобождён от привычной для экспериментальной физической лаборатории атрибутики. Эскизы, платы, радиодетали в коробках, паяльник на подставке, гаечные ключи, крепёж и мелкие фланцы были сдвинуты в сторону, чтобы уместились пару листов бумаги.*

*Ближе к окну сидел невысокий пожилой седой мужчина в мешковатом твидовом пиджаке в мелкую клетку. Перед ним лежала пачка сигарет «Джебел» без фильтра, из которой он вытряхивал сигареты одну за одной, заправляя их в мундштук, держа пожелтевшими пальцами левой руки. Правая рука была занята ручкой «вечное перо» и находилась в постоянном движении: писать и рисовать, прикуривать, пояснять взмахами над бумагами. Изредка он делал секундную паузу и внимательным взглядом глубоко посаженных глаз осматривал собеседника. Как-то так — всего, не в одну точку, отстранённо. Казалось, в его тонких губах скрывались улыбка и сочувственное одобрение, поддержка, понимание многократно повторявшейся в его жизни ситуации — дружище, вникай, ты разберёшься, да, это внове для тебя, я тоже начинал часто почти с нуля, прояви характер.*

*Собеседнику, сидевшему к нему лицом, похоже было, характера не приходилось занимать. Молодой человек в черном лабораторном халате, каштановые волосы с пробором посередине спадали на высокий лоб. Крупный нос и решительное выражение лица, волевой подбородок, папираса в уголке рта, менял которую он из пачки «Шахтёрских» так же часто, как собеседник свой «Джебел».*

*В узком проходе между ограждением экспериментальных установок, с одной стороны, и объёмными шкафами для комплектации, с другой, сидели двое, лицом к беседе. Импоантный мужчина средних лет, в строгом костюме, белая рубашка, галстук. И симпатичная полная женщина с белокурыми завитыми волосами, в очках, с блокнотом и ручкой в руках.*

*Мужчина с почтительным достоинством слушал беседу, женщина старалась вести конспект разговора.*

*За спинами, на высоком «химическом» табурете, с грустью в душе, но с внимательным выражением лица сидел я, Владимир Фареник — студент четвёртого курса кафедры физики плазмы физико-технического факультета Харьковского государственного университета. С грустью, так как сокурсники из моей подгруппы уже четверть часа сидели за проломом зоопаркового забора в кафе «Чёрный лебедь». Постарше — с пивом, помладше, как я, затракали вкуснейшими пончиками: 3 коп. с картошкой и капустой, 5 коп. с мясом! К этому чай б/с за 1 коп.*

*Сегодня — лабораторный практикум по диагностике у А. М. Рожкова. Меня, как снимавшего угол на ул. Данилевского 10 (напротив к-тра «Харьков»), пять минут до университета, подгруппа уполномочила быть в лаборатории к 9 час.,*

\*Директор Научного физико-технологического центра МОН и НАН Украины, ведущий научный сотрудник кафедры материалов реакторостроения и физических технологий Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина.

получать ключи у инженера Михаила Васильевича Мозгового и под его наблюдением включать питание трех установок, «ставить их на вакуум». Это — около получаса, а там и коллеги подтягивались.

В этот раз всё пошло по-другому. Вскоре после запуска форвакуумных насосов (три единицы типа РВН-20, включены все — говорить нужно только очень громко), вошел чуть озабоченный Алим Михайлович. Ко мне: «Фамилия?» «Владимир Фареник, кафедра плазмы, Советский Союз.» — привычно отрапортовал я. «Диффузионники ещё не включал, хорошо. Так, Владимир, форнасосы вырубай, у меня серьёзные гости. Да, ребятам скажи, сегодня библиотечный день». «Бу сделано, Алим Михайлович.» — с естественной готовностью ответил я в удаляющуюся спину. Заглядывавшим в дверь сокурсникам я говорил: «Встретимся в «Черном лебеде».

Отключить форнасос это: перекрыть ручной шибер на диффузионнике, пережать ручным зажимом резиновый вакуумпровод, отключить питание на пульте управления установкой, 5 минут без спешки. Я завершал операцию уже на третьей, своей установке, она находилась через ограждение рядом со столом будущих переговоров, когда в лабораторию вошли несколько человек. Алим Михайлович опередил всех и рукой освободил на столе уголок для работы.

Расселись, начался разговор. Я же, на цыпочках, выбирался из переплетения труб и проводов. Каждая установка была заключена в своё ограждение (рамы из уголков с натянутой крупноячеистой сеткой), к каждой вела дверь. Я уже закрывал свою, не рассчитал, она закрылась с легким стуком. Все лица повернулись ко мне. С извинительным выражением лица и приложив руку к груди, я сделал движение в сторону выхода. Но взметнулась правая рука «Седого», она однозначно и властно указывала на свободный табурет. Я послушно занял место «на галёрке». Все возвратились к разговору.

Надо отметить, что, с учетом месяца в колхозе, учеба наша длилась около трех недель. Начал читать лекции по элементарной физике плазмы Борис Николаевич Руткевич, по диагностике плазмы Людмила Ивановна Крупник, велись курсы по газовому разряду, электронике, незамедлительно выделен день в неделю в УФТИ. Изучение физики плазмы только начиналось.

Со своего возвышения мне хорошо было видно, как слегка дрожащая правая рука «Седого» уверенно рисовала четкие окружности и цилиндры, пронзала их чертёжными стрелами — направлениями полей, обозначала ларморовские радиусы частиц, выстраивала их в дрейфовое движение. Незнакомые термины как-то незаметно обращались в осязаемые конструкции. Меня роднило с присутствовавшими ощущение новизны от услышанного и для них, а докладчик располагал к себе фантастической способностью войти в доверие и донести материал до сознательного понимания. А что это, нам к четвертому курсу, после лекций по матанализу Гестрина, термодинамике Цукерника, электродинамике Кирочкина, было хорошо известно.

«Скрещенные поля, вращением плазмы усилить эффект удержания, установка «Иксион», уход через торцы мал из-за соотношения продольной и поперечной составляющих скоростей частиц, пристеночная плазма с неоднородностью по радиусу, другие силы в плазме, поперечные направлению магнитного поля...» — ловил я отрывками информацию.

К разговору начал подключаться импозантный мужчина. В его замечаниях преобладали процессы в стеллараторе, очистка плазмы за счет дрейфового движения, важность изучения пристеночного движения плазмы в стационарных ловушках, к коим относится стелларатор, преодоление скин-эффекта при помощи пристеночной плазмы.

Молодой человек поглощал информацию продуктивно и с хорошей реакцией, к чему у него был природный талант. Судя по довольному выражению лица «Седого», собеседник задавал ему вопросы «в тему».

Под конец обсуждения молодой человек с напором отчаявшегося, но решившего для себя внутри человека спросил: «На чем я это буду делать? У меня нет нужного железа!». «Седой» впервые рассмеялся, нервно и облегченно, не раз он, опытный искуситель ранимых научных сердец, но превосходно разбирающийся в психологии собеседника режиссёр, задавался вопросом: а правилен ли выбор персонажа?, ибо наука, при коллективном образе исполнения, критически персонифицирована в зародыше тематики. Положив обе руки на стол, откинувшись на спинку стула, он, вполоборота ко всем, сказал: «Возьмём секцию с маленького ускорителя, линза Габора».

«Седой» сосредоточил свое внимание на молодом человеке напротив, наклонился над столом и, глядя пристально в глаза собеседнику, произнёс неожиданно для сегодняшней встречи командным, негромким, но проникающим в душу голосом: «Таким образом, вы, Алим... — сделал значительную паузу, пожевал сухими губами и повторил — вы, Алим Михайлович, без промедления приступаете к решению всех вопросов, связанных с началом экспериментальных исследований свойств плазмы, находящейся в скрещенных электрическом и магнитном полях, литература, сотрудники, экспериментальная техника. Вы, Владимир Тарасович, пожалуйста, оказывайте помощь новой научной группе. Вращающаяся плазма — произнёс он помягче и совсем мечтательно повторил — *rotating plasma...*»

После того как ушли почтенные гости, я заторопился к выходу, в «Черный лебедь». Алим Михайлович отрешенно сидел за столом. Природная воспитанность и естественный интерес побороли желание припустить аллюром к сокурсникам, я подошел к находившемуся в лёгкой прострации преподавателю: «Похоже, вас сильно озадачили, Алим Михайлович?» «Не то слово, ты хоть знаешь, Володя, кто приходил?» Я ответил отрицательно, мол белокурую женщину встречал в коридоре. «К. Д., Кирилл Дмитриевич Синельников, директор УФТИ, заведующий нашей кафедрой, а с ним Толок Владимир Тарасович, после К. Д. первый человек по термояду. Белокурая, как ты говоришь, ученый секретарь кафедры Александра Павловна Страшко. Озадачили. А что мне с этим хозяйством Людмилы Крупник делать?» — махнул он рукой на установки в лаборатории. «Ну, Алим Михайлович, железо — оно и в Африке железо», — ответил я фразой, которую мы часто от него слышали. Скромная шутка, казалось, расшевелила его. «Молодец, сечешь. А ты куда распределён на практику, иди ко мне в лабораторию.» «Спасибо, за доверие, Алим Михайлович, в УФТИ я у Швеца Олега Михайловича, вместе с Григорием Мирошниченко. Входим в курс дела на установке «Алмаз». Там, кстати, что-то похожее на наложенные поля имеем.» «Скрещенные поля, студент. А Олег — сильный мужик, спец по ВЧ-нагреву, а поле переменное он, действительно, поперёк магнитного загоняет. К. Д. говорил о его работах. Ну, что же, Владимир Фареник, иди к «корешам» в «Черный лебедь».

Я вышел из университета и, замявшись на секунду, зоопарк — направо, решительно повернул налево, в сторону парка им. Горького, на остановку служебного автобуса УФТИ, прикинув про себя: «А что, в институте хорошая столовая, копеек на двадцать–тридцать пообедать».

Мне трудно было передать настроение присутствовавших на встрече, но понял, что случилось нечто очень важное. Вспоминался «Седой», благоговейно произнесший слова: «Вращающаяся плазма... ROTATING PLASMA.»

Действующие лица этой части:





«Седой» — Кирилл Дмитриевич Синельников, академик АН Украины, директор Украинского физико-технического института, заведующий кафедрой физики плазмы



«Импозантный мужчина» — Толок Владимир Тарасович, один из руководителей исследований управляемого термоядерного синтеза в Украинском физико-техническом институте



«Симпатичная женщина» — Александра Павловна Страшко, ученый секретарь кафедры физики плазмы



«Молодой человек» — Алим Михайлович Рожков, инженер-конструктор экспериментальных мастерских физико-технического факультета



Владимир Фареник, студент четвертого курса (на снимке слева)

Много лет спустя, занявшись самостоятельной наукой, в том числе, научно-организационной работой, В. И. Фареник осознал, что в то далёкое время довелось быть свидетелем постановки проблемы на несколько десятков лет вперёд гениальным мыслителем.

**Осень 2015 года...**

Рабочий день начался со звонка одного из мобильных телефонов. Киевстар, по звуку сигнала определил Фареник, на связи был профессор Лисовский. «Приветствую тебя, Валерий Александрович, и поздравляю!» — ответил Фареник, увидев на опознавателе номера знакомую фамилию. «Вероника Коваль-Деревянко вчера успешно, по нулям, защитила кандидатскую, внесите в свой список, Владимир Иванович!» «Спасибо, Валерий, реферат я читал. У тебя уже два кандидата. Как дела у Кати Артюшенко?» «Будет в срок защита, и Руслан Осмаев активно работает.» «Успехов, Валерий Александрович!» Фареник открыл папку с пока еще условным названием «Школа экспериментальной физики плазмы А. М. Рожкова» Вероника Коваль стала двадцать восьмым кандидатом наук (см. дополнение 2).

В. А. Лисовский в давнем постоянном контакте с профессором Владимиром Дмитриевичем Егоренковым, долгие годы работавшем в ОНИЛ ДПТП зав. теоротделом, защитившем докторскую диссертацию по тематике Константина Николаевича Степанова, весьма успешно развили фронт исследований свойств газового разряда в комбинированных полях. Оба изобретательные по части простых, но оригинальных устройств, В. А. Лисовский экспериментально с хорошим теоретическим аппаратом, В. Д. Егоренков от теории с тонким пониманием возможностей отлаженного «железа», они не уставали удивлять постановкой КЛАССИЧЕСКИХ задач с оригинальнейшими решениями по вопросам  $E$ - и  $H$ -разрядов, их комбинаций, возникновению и развитию этих разрядов в технологических установках. Казавшаяся «чистой» наукой классика протекания различных стадий прямого разряда (вспомним Таунсенда и Ленгмюра), тонкое зажигание ВЧ-диодного разряда, знание скоростей дрейфа электронов в реактивных газах, позволяли существенно оптимизировать ионно-плазменные источники, а то и вовсе снизить почти на порядок энергозатрат при обработке деструктурирующихся от воздействия температуры материалов нанoeлектроники. Их работа органично проходила рядом со строительством сложнейших экспериментально-технологических устройств — последний «крик» — кластерная установка многовариантной обработки наноструктур А. В. Зыкова с группой — не заглушал негромкой работы Валерия Лисовского с аспирантами.

В 2008 году В. Лисовский успешно защитил докторскую диссертацию, полностью посвященную классическим вопросам физики газового разряда (см. дополнение 3).

В лаборатории А. М. Рожкова, наряду с решением задач по горячей плазме, как-то: неустойчивости и нагрев вращающейся плазмы, формирование в ней азимутальных и продольных ионных потоков и связанная с таким движением неустойчивость параметров, слиппинг-эффекты в пограничных слоях плазмы в  $E/H$ -полях, квази- и нелинейные процессы, параметрическая распадная раскачка колебаний плазмы и т. д., требовались доскональные знания так называемых элементарных процессов и плотность-температура-пространственное и фазовое распределение параметров. Алим Михайлович и, подключившиеся к регулярному обсуждению К. Н. Степанов и В. А. Супруненко, жестко ставили перед сотрудниками лаборатории КОЛЛЕКТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ (с подачи В. Т. Толока прижилось название) освоить газовый разряд, чтобы в подробностях знать ближнюю историю нашей плазмы. Поэтому на столах, рядом со статьями и книгами о микронеустойчивостях плазмы Степанова, Силина, Михайловского, Цитовича появились труды по ионизованным газам Капцова, Мак-Даниеля, Грановского, Энгеля...

Со статьями, посвященными основной теме исследований нескольких лет — обнаружению новой РЕЗОНАНСНОЙ ИОННО-ЦИКЛОТРОННОЙ неустойчивости во вращающейся плазме (научная общественность быстро поверила в исключительную новизну эффекта, «Письмо в ЖЭТФ»!), приведенными ниже, появились изыскания в области газоразрядных процессов.

**Из перечня  
научных и учебно-методических работ  
Фареника Владимира Ивановича**

| № п/п | Название                                                                                                                 | Характер работы | Выходные данные                                                                                                                                 | Соавторы                                                           |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 1     | 2                                                                                                                        | 3               | 4                                                                                                                                               | 5                                                                  |
| 1.    | Резонансное возбуждение ионно-циклотронных колебаний во вращающейся плазме                                               | печат.          | «Письма в ЖЭТФ», 10, вып. 2, 71. 1969                                                                                                           | Рожков А. М.<br>Степанов К. Н.<br>Супруненко В. А.<br>Власов В. В. |
| 2.    | Резонансная циклотронная неустойчивость во вращающейся плазме                                                            | печат.          | Ротапринт ФТИ АН УССР, ХФТИ 69-35, Харьков, 1969                                                                                                | Рожков А. М.<br>Степанов К. Н.                                     |
| 3.    | Резонансное возбуждение ионно-циклотронных колебаний в плазме, находящейся в скрещенных электрическом и магнитном полях  | печат.          | УФЖ, 14, вып. 2, 1856, 1969                                                                                                                     | Власов В. В.<br>Рожков А. М.<br>Степанов К. Н.<br>Супруненко В. А. |
| 4.    | Cyclotron resonance instability in rotating plasma                                                                       | печат.          | Plasma Physics, 12, 519, 1970                                                                                                                   | Rozkov A. M.<br>Stepanov K. N.<br>Suprunenko V. A.<br>Vlasov V. V. |
| 5.    | Исследование возбуждения ионно-циклотронных колебаний в плазме, находящейся в скрещенных электрическом и магнитном полях | печат.          | Сб. «Физика плазмы и проблемы управляемого термоядерного синтеза», вып. 1. из-во «Наукова думка», Киев, 1971                                    | Рожков А. М.<br>Степанов К. Н.<br>Супруненко В. А.                 |
| 6.    | Экспериментальное исследование кинетической неустойчивости в альтернативном магнетроне Габора                            | печат.          | ЖТФ, 42, вып. 8, 1625, 1972                                                                                                                     | Власов В. В.<br>Рожков А. М.<br>Степанов К. Н.<br>Супруненко В. А. |
| 7.    | Резонансная циклотронная неустойчивость во вращающейся плазме                                                            | печат.          | Сб. «Физика плазмы и проблемы управляемого термоядерного синтеза» вып. 3, стр.193, из-во «Наукова думка», Киев, 1972                            | Рожков А. М.<br>Степанов К. Н.<br>Супруненко В. А.                 |
| 8.    | Способ нагрева плазмы                                                                                                    | печат.          | Авторское свидетельство № 352610. Официальный бюллетень Комитета по делам открытий и изобретений при Совете Министров СССР, № 4, стр. 164, 1973 | Власов В. В.<br>Рожков А. М.<br>Степанов К. Н.<br>Супруненко В. А. |

Власов В. В., Кривонос М. И., Рожков А. М., Сосипатров М. В., Фареник В. И. «Экспериментальное исследование разряда с накаливаемым катодом в скрещенных полях» // ЖТФ. — 1974. — Т. 43, вып. 10. — 822 с.;

Власов В. В., Ковалев В. В., Рожков А. М., Фареник В. И. «Исследование собственного электрического поля в плазме высокочастотного разряда в магнитном поле» // IV Всесоюзная конференция по физике низкотемпературной плазмы. — Киев. — 1975. — Т. 1. — 85 с.

Дальнейшее изучение механизма резонансной ионно-циклотронной неустойчивости (РЦН) дало новые эффекты, в том числе, с неожиданными продолжениями.

Например, работа Власов В. В., Рожков А. М., Кожарин А. А., Фареник В. И. «Энергетические спектры ионов и коллективные эффекты в ионном источнике с осциллирующими электронами» // ЖТФ. — 1974. — Т. 44, вып. 9. — 2023 с. заинтересовала кафедру технологии радиоэлектронной аппаратуры Минского радио-технического института, что послужило началом технологических разработок в области нанесения тонких плёнок.

Профессор Латышев из Московского авиаинститута обратился с предложением совместных работ по двигателям малых тяг.

Сам Герман Батанов из Лебедевского физического института АН СССР предлагал сотрудничество по пучковой плазме.

Алим Михайлович был непоколебим: вращающаяся плазма, ROTATING PLASMA.

Ситуативное исключение было сделано только для коллег из Минского радиотехнического института, где работал Михаил Пикуль, дипломник А. М. Рожкова [1].

Алим Михайлович защитил кандидатскую по механизму раскачки РЦН, легко. Новизна — неоспорима, в списке работ — Письмо в ЖЭТФ! Отзывы Силина, Рухадзе, Михайловского. Всемирная поддержка работ Степановым. Руководитель — Толок. Первая диссертация по физике плазмы. Триумф! «И только миг между прошлым и...» настоящим — пять лет прошло с памятной встречи с К. Д.

Через три с небольшим года Фареник представил комплекс исследований неустойчивостей плазмы в скрещенных электрическом и магнитном полях, в котором, кроме углублённого изучения РЦН, исследован диокотронный эффект в прианодном электронном слое, распадное взаимодействие диокотронных и ионно-циклотронных колебаний, показана возможность перекачки энергии слоя в нагрев ионной компоненты (к слову, тоже «Письмо в ЖЭТФ»).

Через два года великолепную работу, где плазма находилась уже в комплексе комбинированных — магнитного и электрического внешнего постоянного, от ВЧ-генератора переменного и собственного плазмы — полей представил Вячеслав Васильевич Власов. Параметрическое взаимодействие в условиях нижнего гибридного резонанса — надежда для нагрева плазмы на частотах вблизи ионной циклотронной, дитя Степанова.

Новый шаг в экспериментальной технике в группе Рожкова — ВЧ-разряд в магнитном поле. Осваивали новую высокочастотную технику.

Во второй половине 70-х лаборатория коллективных процессов в плазме А. М. Рожкова становится заметным явлением на физтехе. Костяк: Рожков, Фареник, Власов, Михаил Сосипатров и Александр Кожарин, недавние дипломники, быстро стали ведущими сотрудниками лаборатории. Аспирант Юрий Якимчук, студенты Николай Юнаков, Юрий Крячко, Виктор Редванский, Александр Маслов, Александр Бизюков органично вливались в микрогруппы. Вошли в высокое мастерство уже инженеры Михаил Кабыченко, Михаил Кривонос. Константин Николаевич Степанов на постоянной основе (финансирование позволяло, Толок и Залюбовский помнили наказ К. Д., да и результаты «шли») привлек к работе в лаборатории своих теоретиков-соискателей Анатолия Покроева, Юрия Елисеева, Игоря Гордиенко. Чуть позже — кандидата наук Владимира Егоренкова. После службы в армии появился цепкий в науке



Александр Лучанинов, из ХФТИ перешел прекрасный эксперименталист, как говаривал Михалыч, Николай Манзюк.

Фареник в который уже раз смотрел этот список Школы Рожкова. Отбор в него проводился по двум критериям. Первый — специальность по номенклатуре ВАК «физика плазмы» (несколько лет название этой специальности было «физика и химия плазмы»). Одна работа талантливого Будянского Александра Михайловича защищена была по специальности «приборы и устройства для создания и использования плазмы», она была пионерской по вопросам исследования комбинированных разрядов диодного и индукционного типов, что полностью отвечало второму критерию — в темах, предмете, инструменте и объектах исследований диссертаций должны быть упомянуты скрещенные или в различных комбинациях МАГНИТНОЕ: постоянное, вихревое и ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ: постоянное, переменное от внешнего источника, собственное разряда ПОЛЯ (см. список 1).

Список 1

|                                                                                        | Соискатель       | Научный руководитель         | Год защиты |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------|------------|
| 1.                                                                                     | Рожков А. М.     | Толок В. Т.                  | 1970       |
| 2.                                                                                     | Фареник В. И.    | Толок В. Т., Рожков А. М.    | 1974       |
| 3.                                                                                     | Власов В. В.     | Степанов К. Н., Рожков А. М. | 1976       |
| 4.                                                                                     | Пикуль М. И.     | Достанко А. П.               | 1976       |
| 5.                                                                                     | Сосипатров М. В. | Рожков А. М.                 | 1979       |
| 6.                                                                                     | Редванский В. М. | Рожков А. М.                 | 1991       |
| 7.                                                                                     | Маслов А.        | Рожков А. М.                 | 1982       |
| 8.                                                                                     | Якимчук Ю.       | Рожков А. М.                 | 1981       |
| 9.                                                                                     | Бориско В. Н.    | Лапшин В. И.                 | инф. нет   |
| 10.                                                                                    | Битная И.        | Лапшин В. И.                 | инф. нет   |
| 11.                                                                                    | Лучанинов А. А.  | Рожков А. М.                 | инф. нет   |
| 12.                                                                                    | Петрушеня        | Бориско В. Н.                | инф. нет   |
| 13.                                                                                    | Середа И. Н.     | Бориско В. Н.                | инф. нет   |
| 14.                                                                                    | Юнаков Н. Н.     | Фареник В. И.                | 1985       |
| 15.                                                                                    | Бизюков А. А.    | Луценко Е. И.                | 1986       |
| 16.                                                                                    | Зыков А. В.      | Фареник В. И.                | 1987       |
| 17.                                                                                    | Марущенко Н.     | Фареник В. И.                | 1989       |
| 18.                                                                                    | Лисовский В. А.  | Фареник В. И.                | 1993       |
| 19.                                                                                    | Дудин С. В.      | Фареник В. И.                | 1995       |
| 20.                                                                                    | Ушаков А.        | Фареник В. И.                | 1997       |
| 21.                                                                                    | Будянский А. М.  | Фареник В. И.                | 1999       |
| 22.                                                                                    | Положий К. И.    | Фареник В. И.                | 2001       |
| 23.                                                                                    | Яковин С. Д.     | Фареник В. И.                | 2002       |
| 24.                                                                                    | Бизюков И. А.    | Азаренков Н. А.              | инф. нет   |
| 25.                                                                                    | Кашаба А.        | Бизюков А. А.                | инф. нет   |
| 26.                                                                                    | Харченко Н. Д.   | Лисовский В. А.              | 2011       |
| 27.                                                                                    | Рафальский Д.    | Дудин С. В.                  | 2011       |
| 28.                                                                                    | Коваль В.        | Лисовский В. А.              | 2015       |
| <b>Доктора наук:</b> Рожков А. М. — 1984, Бизюков А. А. — 2002, Лисовский В. А. — 2008 |                  |                              |            |



И еще одна отличительная особенность — все работы посвящены ЭКСПЕРИМЕНТУ, с обращением к работам теоретического характера, построением собственных аналитических или математических моделей, расчетами, сопоставлением всего перечисленного с результатами экспериментов. Фареник подумал, что отбирать-то и не было особой необходимости, ибо все работы сотрудниками и аспирантами лаборатории коллективных процессов Алима Михайловича, а, позднее, его учениками и последователями и выполнялись, исходя из этих критериев, как некоей заданности. Впоследствии, в СКТБ «Контур», отраслевой лаборатории диагностики плазменных технологических процессов, в которых выполнялся большой объем работ по заказам промпредприятий, добавилось требование обязательного включения приложений с конкретными прикладными результатами. На кафедре физических технологий была принята такая же практика.

А. М. Рожковым было заведено, что каждая работа выполнялась на «своей» экспериментальной установке или с принципиальной модификацией существовавших. И в этом не было никакой искусственности, так как каждая последующая работа ставила серьезнейшие задачи при естественном строгом соблюдении основной тематики и преемственности.

Фареник закурил сигарету. Вспомнилось давнее посещение лаборатории А. М. Рожкова Кириллом Дмитриевичем Синельниковым — К. Д. Давнее... Ровно 50 лет прошло, пятьдесят.

Звонок по внутренней связи отвлёк Фареника от воспоминаний. Заместитель по научной работе Петр Васильевич, несколько текущих вопросов требуют обсуждения. Необходимо запускать процесс перерегистрации нашего с Университетом научного журнала «Физическая инженерия поверхности», раз в пять лет. Кажется, вчера бегал по Киеву с бумагами, а уже пора. Затянули вопрос с аттестацией научных сотрудников, пригласили начальника отдела кадров, определили сроки, тем более, что двух старших научных сотрудников пора представлять к соответствующим научным званиям. Обнадёживающая информация из министерства о финансировании одного из проектов по твёрдотельной тематике. Успокаивают чиновники, урезали не сильно. Отдел кадров напоминает, что в течение двух-трёх недель из отпуска по уходу за ребёнком выходит сотрудница. Деньги на зарплату — ? Инженер, 13-й разряд, ого! В дверь заглянула секретарь-референт, срочный звонок из министерства. Департамент научно-технического развития требует полный комплект уставных документов института. Ответственный — директор. В дверь вошел Зыков Александр Владимирович с оговоренным заранее вопросом обсуждения содержания докторской. Саша, ты моё спасение, заходи! Сашенька, проходи, включай чайник, у меня силовая проводка, кофе, пожалуйста, располагайся.

Фареник выпил таблетки и на несколько минут отключился.

*...Весной 1966-го меня и Виктора Бителёва вызвал к себе Георгий Анатольевич Милютин, наш декан. В свойственной ему изящной манере мягко и демократично поставив перед фактом, Жора (так уважительно, между собой студенты, и, между собой большинство преподавателей, называли Г. А. Милютину) сообщил, что по решению заведующего кафедрой Кирилла Дмитриевича Синельникова мы откомандированы для прохождения всех практик и выполнения дипломной работы в лабораторию А. М. Рожкова с последующим распределением для работы в Университете на кафедре физики плазмы или направлением в аспирантуру.*

*Должен сказать, что среди студентов невозможно было найти недовольных Жорой в случае расхождения планов с реальностями. Мы понимали: служба у Жоры на тяжелейшем факультете не проста, а мы есть частица этого сложнейшего симбиоза.*

*Я ушел к О. М. Швецу сказать прощальные слова, Виктор известил своего руководителя практики в УФТИ. После чего мы направились представляться Рожкову.*

*Нашли мы Алима Михайловича в экспериментальных мастерских факультета, разгоряченного, в прожженном местами черном халате, у вакуумной плавильной печи. В руках*

у него был скребок-шаберок, которым он без энтузиазма пытался соскрести со стенок вакуумной камеры серебристый налёт. Мы сходу предложили свою помощь и после ответа А. М. поняли, что скучно нам здесь не будет. Михаил Васильевич Мозговой, которого мы уже знали по лабам, растолковал тихонько, Михалыч хотел для повышения чувствительности какого-то реле посеребрить контакты, использовав для этого кофейную серебряную ложечку, расплавив ее в вакуумной печи, способной на тончайшие металлургические процессы. Но то ли с вакуумом не угадал, то ли с температурой тигля, а ложечка тонкой пленочкой разлетелась по стенкам камеры, безвозвратно. Алим Михайлович отряхнул руки над умывальником, окликнул нас с Виктором и мы двинулись в знакомую нам лабораторию.

*Постановка экспериментальных тем работ много времени не заняла.*

Мне была определена установка, которую я приводил в стадию физического пуска в осеннем семестре прошлого года — импульсный коаксиальный источник плазмы, «пушка Маршалла». Задача состояла в освоении тонкостей сложной конструктивно системы, приведении в рабочее состояние всех её элементов. Особенную сложность представляла неукоснительно точная работа схемы строго поочерёдного, через заданные микросекундные промежутки времени, включения схем питания импульсного источника плазмы, так называемая линия задержки, небольших размеров прибор, от которого зависела эффективность функционирования многотонной установки.

*Задача: установка «работает в полный рост, как конфетка», получать импульсные плазменные сгустки. Цель: методом зондирования сгустков быстрым нейтральным пучком определить их характеристики — временная структура, размер «головы» сгустка и хвостовой части, плотность частиц в голове, режимы уверенного разделения частей сгустка для заполнения плазменной ловушки сильноионизованной, с высокой плотностью плазмы головы, отсекая хвост — нейтралы, примеси. Помогал мне Николай Шулика, сотрудник лаборатории Л. И. Крупник из ХФТИ.*

Виктору было сказано: мы с тобой на Облако-1. Они ушли в другую комнату. Как позже я узнал, так назвал А. М. установку, сооруженную на базе линзы Габора, которая, как и обещал К. Д., была доставлена из УФТИ. Это был передний край лаборатории, поэтому А. М. определил туда Виктора, с которым по теоретической подготовке мы были равны, но мой коллега носил почетнейшее звание «радиолюбитель». А это значило серьёзное владение основами электро- и схемотехники, электроники. У меня, при прочих равных навыках, полученных в Университете, за спиной был судомодельный кружок, третий взрослый разряд по лёгкой атлетике и полученный на летних подработках 2-й разряд токаря-фрезеровщика.

Надо сказать, над «Облаком-1» А. М. создал плотную завесу тайны, Виктор Бителёв тоже строго соблюдал секретность. О результатах, полученных на «Облаке-1» мы с Ефимом Шульманом — третий дипломник А. М. — услышали уже на защите дипломов, а в помещение с этой установкой я впервые попал после зачисления на работу в лабораторию А. М. Рожкова в январе 1968-го. «А, местные дрязги.» Коротко пояснил мне А. М.

«Владимир Иванович, вот более-менее близкое к оптимальному содержанию,» — услышал Фареник голос Александра, разложившего на столе несколько отпечатанных с большим межстрочным интервалом страниц, — синтезировал обсуждения с вами и Стасом Дудиным». Фареник очнулся от забытья, как раз вчера он по Скайпу беседовал с Виктором Борисовичем Бителёвым, попросил его прислать любые материалы, так как его диплом — первая формально работа, хоть и неопубликованная, считается рукописью — по скрещенным полям. Обещал и тему вспомнил: **«Некоторые вопросы кинетики плазмы в скрещенных магнитном и электрическом полях».**

Разговор с А. Зыковым проходил в привычном ритме. Александр был многословен, громадный багаж материала накоплен. Фареник ловил неувязки и коротко рубил по ним.

Сегодня большая часть выпадов не достигала цели. Александр всё уверенно разложил по своим местам. Оппонент смотрел на листки с содержанием будущей докторской и думал об астрономическом расстоянии между бытующими понятиями «написать» и «сделать» диссертацию, хотя процессы эти и взаимосвязаны формально.

**«Генерация и транспортировка ионных потоков в плазменных системах с комбинированными электрическими и магнитными полями».**

По публикациям результатов это творение автора Зыкова А. В. занимает более двадцати лет экспериментального научного труда, десятки моделей и рабочих технологических пучковых и плазменных источников со скрещенными  $EH$ -полями, на основе разрядов с комбинациями этих полей и комбинациями самих разрядов, несколько экспериментальных и экспериментально-технологических устройств и установок, сотни экспериментальных приспособлений и технических хитростей и уловок (см. дополнение 4).

Эта работа была СДЕЛАНА, выполнена коллективом одиозумцев, у каждого из которых свой подход к теме, свой конёк в решении физических задач, свой набор исполнительских особенностей и привычек, своё АВТОРСТВО, которое с честью, когда приходит время, без натужных разборок раскладывается по индивидуальным корзинам. При этом бережно охраняется стержневое направление, соблюдается преемственность — постулаты А. М. Рожкова, хотя в этой когорте уже совсем мало прямых последователей А. М. Всего несколько лет Алим Михайлович возглавлял кафедру физических технологий, но принципы крепости здорового научного духа достигли молодёжи.

«Саша, я что-то не могу тебя сегодня сильно зацепить, стройно, логично. Работай с Николаем Алексеевичем, заведующим кафедрой, Азаренков очень сильный научный консультант. Сам он уже плеяду своих по тематике докторов выпустил.»

Фареник недавно обсуждал с Н. А. Азаренковым материалы касательно наследия А. М. Рожкова. После воспоминаний прошлых лет именно Николай Алексеевич предложил на мемориальной доске Алима надпись: СОЗДАНА НАУЧНАЯ ШКОЛА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ». После слов, что в Школе Рожкова (аж!) 28 кандидатов и 3 доктора за 50 лет, все — экспериментаторы, Алексеевич пообещал прислать «список Кондратенко» (Анатолий Николаевич Кондратенко, профессор, доктор физико-математических наук, развивает сложнейшие теоретические исследования ограниченной плазмы). Этот список приводится ниже (см. список 2).

## Список 2

|     | Кандидаты наук      |                           |
|-----|---------------------|---------------------------|
| 1.  | Фаузи Бен-Хабиб     | н. рук. Кондратенко А. Н. |
| 2.  | Пенева Й. Х.        | н. рук. Кондратенко А. Н. |
| 3.  | Азаренков Н. А.     | н. рук. Кондратенко А. Н. |
| 4.  | Куклин В. М.        | н. рук. Кондратенко А. Н. |
| 5.  | Ткаченко В. И.      | н. рук. Кондратенко А. Н. |
| 6.  | Гущин В. И.         | н. рук. Моисеев С. С.     |
| 7.  | Гирка В. А.         | н. рук. Кондратенко А. Н. |
| 8.  | Загинайлов Г. И.    | н. рук. Кондратенко А. Н. |
| 9.  | Олефир В. П.        | н. рук. Кондратенко А. Н. |
| 10. | Заиончковский В. В. | н. рук. Кондратенко А. Н. |
| 11. | Круша И.            | н. рук. Кондратенко А. Н. |

|     |                     |                                |
|-----|---------------------|--------------------------------|
| 12. | Прохоренко Е. И.    | н. рук. Кондратенко А. Н.      |
| 13. | Севидов С. М.       | н. рук. Кондратенко А. Н.      |
| 14. | Сидоренко Ю. В.     | н. рук. Кондратенко А. Н.      |
| 15. | Воробьев В. М.      | н. рук. Кондратенко А. Н.      |
| 16. | Костенко В. В.      | н. рук. Кондратенко А. Н.      |
| 17. | Сархадов И.         | н. рук. Кондратенко А. Н.      |
| 18. | Кавчук В. Н.        | н. рук. Кондратенко А. Н.      |
| 19. | Гуленко В. В.       | н. рук. Кондратенко А. Н.      |
| 20. | Дубовик В. Н.       | н. рук. Кондратенко А. Н.      |
| 21. | Репалов И. Н.       | н. рук. Кондратенко А. Н.      |
| 22. | Голуб В. Л.         | н.рук. Кондратенко А. Н.       |
| 23. | Роменский И. В.     | н.рук. Кондратенко А. Н.       |
| 24. | Остриков К. Н.      | н. рук. Азаренков Н. А.        |
| 25. | Денисенко И. Б.     | н. рук. Азаренков Н. А.        |
| 26. | Галайдыч В. К.      | н. рук. Азаренков Н. А.        |
| 27. | Акимов Ю. А.        | н. рук. Азаренков Н. А.        |
| 28. | Гущин В. В. (мл.)   | н. рук. Азаренков Н. А.        |
| 29. | Михайленко В. В.    | н. рук. Азаренков Н. А.        |
| 30. | Бизюков И. А.       | н. рук. Азаренков Н. А.        |
| 31. | Павленко И. А.      | н. рук. Азаренков Н. А.        |
| 32. | Споров А. Е.        | н. рук. Азаренков Н. А.        |
| 33. | Шишкин О. А.        | н. рук. Азаренков Н. А.        |
| 34. | Свистун Е. Н.       | н. рук. Азаренков Н. А.        |
| 35. | Марущенко И. Н.     | н. рук. Азаренков Н. А.        |
| 36. | Ткаченко И. В.      | н. рук. Азаренков Н. А.        |
|     | <b>Доктора наук</b> |                                |
| 1.  | Азаренков Н. А.     | н. консульт. Кондратенко А. Н. |
| 2.  | Куклин В. М.        | н. консульт. Кондратенко А. Н. |
| 3.  | Ткаченко В. И.      | н. консульт. Кондратенко А. Н. |
| 4.  | Загинайлов Г. И.    | н. консульт. Кондратенко А. Н. |
| 5.  | Воробьев В. М.      | н. консульт. Кондратенко А. Н. |
| 6.  | Круша И.            | н. консульт. Кондратенко А. Н. |
| 7.  | Гирка В. А.         | н. консульт. Азаренков Н. А.   |
| 8.  | Гришанов Н. И.      | н. консульт. Азаренков Н. А.   |
| 9.  | Бизюков И. А.       | н. консульт. Азаренков Н. А.   |
| 10. | Остриков К. Н.      | н. консульт. Азаренков Н. А.   |
| 11. | Денисенко И. Б.     | н. консульт. Азаренков Н. А.   |
| 12. | Литовченко С. В.    | н. консульт. Азаренков Н. А.   |

Слов просто нет. Вернее, к этому списку, всего несколько слов: фантастическая работоспособность научного руководителя направления Анатолия Николаевича Кондратенко и пожелания долгих лет творческой жизни — А. Н. Кондратенко днями исполнилось 80 лет. Благодеяния его многочисленным ученикам и последователям!

Анатолий Николаевич Кондратенко пришел на кафедру в начале 70-х, приглашенный для укрепления научных кадров факультета Георгием Анатольевичем Милутиным, вместе с Владимиром Ивановичем Муратовым и Евгением Ивановичем Луценко.



Евгений Иванович оказался ЭКСПЕРИМЕНТАТОРОМ от Бога. Лаборатории Рожкова и Луценко располагались рядом. Как-то Фареник заглянул к Е. И. спросить совета, как поточнее промерять конфигурацию магнитного поля. Возле входа стоял слесарный столик, порядку на котором позабавлялись бы хирурги, за тисками стоял Е. И. в халате и любовно полировал пастой гои алюминиевую, изогнутую под углом 45 градусов пластину. «Вот, Владимир, собираю осциллограф, это отклоняющие пластины полирую» — буднично произнёс Евгений Иванович. Фареник онемел, медленно развернулся, в прострации заглянул в кабинет Рожкова. Через несколько минут, весело, но без гиканья — электроника тонкая — Рожков и Фареник на заводской тележке с резиновым ходом закатили в лабораторию Луценко громадный осциллограф — пятилучевой, с прекрасными частотными полосами, закрывающими все потребности Е. И., пахнувший заводской краской — (недавно были в Вильнюсе, на приборостроительном, привезли десяток приборов). «Бери, Женя, пользуй» — с рисовкой под щедрого персидского шаха, бесконечно довольный собой, произнёс Алим. Теперь застыл неподвижно, с полировочной ветошью в руках, Евгений Иванович. Не ожидая благодарностей, дарители покинули помещение.

Поездка в Вильнюс для покупки приборов была одним из шагов в процессе поддержки лаборатории А. М. Рожкова, о которой К. Д. просил Толока В. Т. Владимир Тарасович был в дружбе с Ильей Ивановичем Залюбовским, поэтому покупка частично финансировалась из университетского бюджета но и у нас были хозрасчетные сбережения.

*Летом 70-го распоряжение А. М. Рожкова: летим в Вильнюс, на приборостроительный завод, к «корешу» по армейской службе.*

*Такая дальняя командировка для меня была первой. Дома меня серьезно снарядили: курочка, десяток яичек, бутерброды с колбаской, как оказалось, весьма предусмотрительно.*

*Самолёт Харьков-Москва-Вильнюс и, к концу дня вылета, мы на проходной завода. Вечером в гостиницу пришел «кореш», пригодилась домашняя снесь.*

*Два дня по заводу с застывшими гримасами изумления: какая мерилровка, блоки питания, управляющие аналоговые комплексы, а у А. М. «добро» на 10–12 тыс. руб. Заводчане связали Михалыча по междугородке с И. И. Залюбовским в Харькове, и мы увозили домой счет на 30 тыс. руб. (шесть «Волг», ребята, Алим был доволен). Вечером я пораньше лёг выспаться, а Михалыч ушел с «корешем» прогуляться.*

*Утром — самолёт, через два часа аэропорт в Москве. Не помню, куда прилетели, но самолёт на Харьков улетал с другого, необходимо добираться автобусом.*

*Здесь и начались наши негромкие приключения, в которых Михалыч с блеском проявил находчивость и смекалку. В автобусе к нам подошла кондуктор с целью обилетить. Алим пальчиком попросил её наклониться к нему, что-то зашептал на ушко. Девушка улыбнулась, с интересом глядя на симпатичного мужчину. А мужчина запустил руку во внутренний карман своего пиджака и извлёк из него... ручку, шариковую ручку. Предмет его гордости и интереса мужской части (и не только мужской) факультета. Мало того, что шариковая, с толстой многомесячной ампулой с пастой — невидаль. В центральной части ручки находилась прозрачная вставка, внутри вставки — фигурка женщины в ярком красном платье. При лёгком повороте колпачка платье чудесным образом исчезало и можно было убедиться, что эта женщина не имела привычки носить бельё. Ах! сказала кондуктор, отрывая нам два билета и пряча ручку в билетёрскую сумку.*

*«Владимир Иванович,» — сказал Михалыч, а так он обращался ко мне только в случаях исключительных — «Мы с корешем вчера слегка погуляли, так что до дома будем экономить.» Алим в поездке «банковал», деньги, для сохранности, хранились у него. За исключением нескольких монет у меня в карманах, экономить нам было нечего. «Нормально, спокойнее будет» — философски ответил я. Часть «тормозка» еще оставалась на дне сумки.*

Мы расположились на двух свободных местах в здании аэропорта, до самолёта в Харьков оставалось часов пять. Я по незабытой еще студенческой привычке, сумку под руку, склонил голову на плечо и задремал. «Провинившийся» А. М. охранял территорию.

Растолкая меня «минут через тридцать–сорок, проговорил: «Дома выступишься, давай в нардишки переберемся.» На плоской стороне дорожной сумки, между нами, лежал лист бумаги, разлинеенный характерными треугольниками доски для нард (в лаборатории практиковали в редкие часы досуга), нарезанные квадратики-фишки, и, да простит нас, атеистов, Всевышний, слепленные из хлеба два игральных кубика. От удивления я спросил только, где он ручку взял. Хохотнув, Михалыч показал мою, которую я тоже носил во внутреннем кармане пиджака.

Бросили кости «на ход», пошла игра. Алим был азартен, выигрыш сопровождался неподдельной детской радостью. Я тоже не был лишен азарта, но манера игры у меня была расчетливой, против его — рискованной. Он чаще проигрывал, от чего приходил в полное расстройство.

Играли мы без шума, но флюиды азарта витали вокруг нас. Мимо прошел мужчина характерной кавказской наружности, через несколько минут подошли уже двое. «Ыграете» — спросил мужчина постарше. «Играем, играем» — ответил Алим, занятый сложной комбинацией, и добавил для определенности — «Мы на интерес». Я проиграл партию, тот, что постарше попросил: «Дай мне партэчку сыграть». Я согласно кивнул, встал, прошелся по громадному залу ожидания.

Буфеты манили скромной роскошью бутербродов с икрой и колбасой, пузатенькими киевскими котлетами, шашлычками на деревянных шампурках... Вспомнился зоопарковый «Черный лебедь» с пончиками по 3 и 5 коп. и чаем б/с за 1 коп.

Возвращаясь, я увидел, что наш бивак окружает группа из пяти–шести очень довольных собой симпатичных черноволосых ребят, а среди них сияющий Михалыч. На скамейке между ним и его очередным соперником стояла чуть ли не из красного дерева игральная доска, на ней лакированные чудо-фишки, в руке он нежно, не встряхивая, как должно быть, держал серебряный стаканчик для костей, который благоговейно подносил ко рту. «Ну, где ты ходишь, Володя, я их тут чешу (обыгрываю, слэнг) всех подряд! Садись, поешь.» «Да, куший, маладежь, куший,» — добавил черноволосый и показал рукой на скамейку. Там, в помятой, выдавшей виды и не раз прочитанной газете казали себя миру добрые шматы шашлыка, помидоры, зелень и ломти лаваша. В руке у меня оказался стаканчик для костей, кавказский друг плеснул в него из небольшого деревянного бочонка жидкости. «Каняк, каняк» и своей рукой сопроводил стаканчик мне ко рту.

К посадочной стойке на Харьков нас с Михалычем провожала представительная делегация вновь обретенных друзей, они несли наши сумки, а в свежей газете — абэд на дарожку дарагим друзьям!

Научная тематика у Е. И. Луценко — физика сильноточных разрядов в Z-пинче была уникальнейшей, вернее, на своих пинчах Е. И. обнаружил уникальный эффект отрыва двойного электронного слоя от электрода и его движение! вдоль тела пинча. Поэтому и нужен был многолучевой осциллограф для регистрации сигналов с нескольких датчиков динамики движения слоя. Из-за перепада напряжения в слое падало общее напряжение на разряде, что фиксировалось как повышение сопротивления плазмы пинча. Эффект увеличения сопротивления некоторые московские физики, да и в УФТИ тоже, называли «турбулентным нагревом», по цепочке: увеличение сопротивления — увеличение поглощения внешней энергии-нагрев плазмы. Причиной было названо развитие мощных плазменных колебаний. Запахло открытием, но результаты Луценко упрямо указывали на классическое происхождение эффекта.

Установки у Е. И. были сложнейшими — импульсная сильноточная техника, энергоёмкими — десятки киловатт, тяжелейшими — катушки магнитного поля, силовые трансформаторы. Обслуживающего персонала и самостоятельного финансирования нет.

Алим Михайлович взял творческое шефство над группой Е. И., в частности, заказ из Обнинска по мощным импульсным устройствам выполнялся молодым соискателем Николаем Дмитриевичем Середой и инженером Михаилом Григорьевичем Кривоносом при непосредственном участии Луценко. Но и свою науку Е. И. не оставлял вниманием. Защитил кандидатскую диссертацию Н. Д. Середя. Несколько позже, способнейший студент, аспирант Целуйко Александр Фёдорович, по характеру, экспериментальным навыкам напомилавший Е. И., также успешно выполнил диссертационные исследования на Z-пинче. Николая Середу Фареник в начале 80-х пригласил на должность начальника отраслевой лаборатории, открытой в ХГУ Минэлектронпромом СССР. На усиление группы Е. И. был направлен подававший надежды Александр Анатольевич Бизюков, защитивший кандидатскую диссертацию по скрещенным полям с акцентом на двойных слоях под руководством Е. И.

Метаморфозы науки, научного коллектива. Фареник вспомнил, как много лет назад К. Д. с уверенной надеждой беседовал с Алимом... Алимом Михайловичем. И как пошло развитие направления, третье поколение защит, научные внуки Рожкова.

И грустный конец перспективнейшего направления Е. И. Луценко. Н. Д. Середя успешно, квалифицированно, в тесном творческом контакте с научным руководителем в течение почти десяти лет возглавлял ОНИЛ ДПТП И СКТБ «Контур», А. Ф. Целуйко проявил недюжинные организаторские способности в развитии кафедры физических технологий, основании компьютерного отделения, а, затем, факультета компьютерных наук. Науку Евгения Ивановича продолжать некому. Установки — Z-пинчи не включались, хотя бы «на вакуум», лет двадцать.

Фареник вставил флешку в компьютер перед собой на столе, решил еще раз просмотреть запись телепередачи, в которой декан физ-теха И. А. Гирка рассказывал об исследованиях в области физики плазмы.

В частности, не называя фамилий, упомянул о сильном на факультете в середине 80-х, студентом был и восхищался, направлении: плазменные технологии в микроэлектронике. В те времена только одно подразделение разрабатывало, и довольно успешно, эту тематику — ОНИЛ ДПТП+СКТБ «Контур», начальник лаборатории и КБ к. ф. м. н. Середя Николай Дмитриевич, научный руководитель, доц. Фареник В. И. Славное было время. Хронология тех событий подробно изложена в [2, 3].

Фареник подумал, что надо бы поговорить с Игорем Александровичем и отметить память экспериментаторов, которых с нами уже нет, в частности, Валерия Дмитриевича Афанасьева и Виталия Федоровича Боржковского, бывших в близкой дружбе с А. М. Рожковым.

Фареник задумчиво вглядывался в ведущую передачи Л. Стародубцеву. Не часто жизнь балует сюрпризами познакомиться с исключительной личностью. Успешная телеведущая седьмого канала, доктор философских наук, профессор, заведующая кафедрой медиа-коммуникаций, КМК (и такая в Университете есть, как недавно узнал Фареник) и, очень приятная в общении женщина. После случайно увиденного Фареником фрагмента передачи с Игорем Александровичем, Л. Стародубцева за день-два по его просьбе представила видеокопию. Он начал обращать внимание на объявления в Университете и в фейсбуке с аббревиатурой КМК, их невозможно не увидеть и из-за числа с предложениями разнообразнейших культурологических мероприятий, семинаров, форумов и умелого представления. Белая зависть иногда возникала у него при мысли, не пропустил ли он за семнадцать лет заведования кафедрой физических технологий чего-то существенного.

После организации кафедры в 1992 году за счет НФТЦ, Рожков и Фареник первым вопросом поставили ориентацию на неё студентов.

Размещение НФТЦ и части кафедры на площадях учебно-производственного комплекса Дзержинского района способствовало успешной профорientационной работе.

При участии группы Николая Григорьевича Стервиедова в короткие сроки была развёрнута локальная компьютерная сеть на 20 мест, по настоянию Рожкова, лаборатория вакуумной техники с десятком ВУП-5, которые через министерство Михалыч и «выбил».

Студентам кафедры введены внеаудиторные 4 часа в неделю английского, группой Николая Григорьевича — интенсив по освоению компьютерных технологий: знакомство и свободное пользование внешними сетями, совершенное владение элементами компьютерной вёрстки, мейлами, факсами... Стоп, сказал себе Фареник, это изложено в [2].

В последующие годы:

- организация квалификационного Совета — председатель профессор А. М. Рожков;
- выпуск международного журнала «Физическая инженерия поверхности» (первый в Украине, посвященный и нанотехнологиям, в т. ч.);
- ежегодная международная конференция «Физико-химические основы формирования и модификации микро- и наноструктур» (война с РФ остановила);
- организация подготовки по специализациям «Нанотехнологии», «Ионно-плазменные нанотехнологии и оборудование»;
- участие кафедры вместе с НФТЦ в выполнении работ по Государственной программе развития электроники — с почетными записями в Актах приёмки работ: «Выполнено на уровне мировых стандартов»...

Да, растянуто по времени, физико-техническое образование сродни медицине — сто раз отмерь — как бы продолжая спор с отсутствующим собеседником, подумал Фареник. Это в медиа-коммуникационных мероприятиях, Лидия Владимировна, размышлял он, глядя на экран дисплея, нельзя упустить сенсационность и быстро, быстрее других, пустить новость в радио- или телеэфир. Но и здесь нередко случаются «утки», «фейки», как сейчас говорят.

В одном он себя без обреченности упрекал, не довёл до завершения процесс защиты докторской. Наверное, не доставало рядом Алима Михайловича с его решительным: «Володя, брось всё и доведи до ума!» В 2000-м, автореферат сдал в типографию, на предзащите присутствовало около семидесяти человек (в протоколе отмечено), документы в Совете (до сих пор еще живы). НО! И. И. Залюбовский отправил в межведомственную комиссию по развитию высоких технологий со словами: «Володенька, Университет должен быть на высоте!» Университет был признан Головным по одному из шести направлений в Украине, выделено немалое финансирование, которое надо было ответственно и результативно осваивать. Почти десять лет выполняли, весьма успешно. Руководство работами осуществляли В. И. Фареник и С. В. Дудин.

Сейчас они с Лидией Владимировной виртуально — e-mail, Facebook — при десяти минутах личного знакомства, регулярно общались по вопросу организации после февраля 2016 г. юбилейной телепередачи об Алиме Михайловиче Рожкове. Почерпнуто для дела много, великое благо — иметь дело с талантливым человеком.

Фареник извлек из нижнего ящика стола увесистую папку, неслучившаяся докторская (см. дополнение 5).

*В конце 97-го, работа в НФТЦ и на кафедре шла слаженно, выделил я десяток дней на обдумывание своей докторской. С выбором отрасли защиты двух мнений не было — технические науки.*

*Обязанности руководителя лаборатории и КБ требовали первоочередного внимания к прикладным разработкам, что наложило отпечаток на формальном выражении результатов: изобретения, в каждом из которых я был равноправным соавтором, доклады на отраслевых семинарах и конференциях, публикации в технических журналах обзоров-отчетов.*



Заказчики из первой пятерки «силовых» министерств были к нашим работам расположены, но финансирование мы отработывали напряженно. Разобравшись с просьбами о модернизации используемого заказчиками оборудования, я пришел к выводу, а актив сотрудников поддержал меня, что надо взяться за изготовление установок плазменной обработки микроструктур, целиком — от откачки до реакционной камеры. Потребителям пришлось добавить финансирование на комплектацию, но в ответ они получили функциональный ряд оригинального оборудования: «Контур-01» — «Контур-05», серию «Титанов», зондовые датчики оперативного и «стоп» контроля плазменных процессов. Помню, на одном из отчетов, после моего обстоятельного доклада, дотошный главный инженер, листая рекламный журнал фирмы Лейбольд Хераус, спросил, почему у немцев такого не видит. Я ответил ему уничтожающим взглядом, а сосед подвинул ему оглавление нашего отчета, где стройным рядом шли наши А. С., А. С., А. С. «Не для открытой публикации.»

Я не сторонился науки, которой ребята уделяли и внимание, и время свободное. Ответственность за качество разработок была большая, а я — крайний.

Спасибо, Алиму Михайловичу за экспериментальную науку в прошлом, но «главный теоретик» в его группе, и «писатель Пушкин», я без страха и сомнений решительно вмешивался в конструктив строящихся установок и монтируемых приборов. Меня не интересовали типы генераторных ламп и переменных ВЧ-конденсаторов, аналоговые компараторы, тончайшие ротаметры, не знал — спрашивал, не понимал — требовал исчерпывающих пояснений. Главное: минимальный энергозатрат и размер реакционной камеры «в пластину»; минимальная энергетическая цена иона в источнике; однородность обработки не хуже одного процента; 100 процентов выхода годных изделий на плазменных операциях... Сотрудники, скрепя сердце, терпели, т. к., знали, на испытания и сдачу отчета с бригадой я выведу обязательно.

При этом, не могу не вспомнить одного приятнейшего эпизода, когда несколько дней просидел за измерениями с Н. Кропотовым и В. Лисовским. Николай проходу не давал, чтобы я посмотрел их графики с кривой зажигания диодного разряда. Ну, что там нового может быть? И сильно ошибся. При тонкой регулировке давления и ВЧ-напряжения на разряде прослеживалась на кривой зажигания неоднозначность, одному значению давления отвечало два напряжения пробоя с разницей в несколько сот вольт! «Да где же вы раньше были, почему не доложили!» — вспомнил я Алима, Пушкина и классиков естествознания.

Участником экспериментов я был беспокойным. Мы изучили эффект неоднозначности кривой зажигания при изменении расстояния между электродами (меня интересовало минимальное); с разными материалами электродов. в т. ч., с различной электрофизикой; с кремниевой пластиной в разрядном промежутке; при напуске различных газов и, реактивных, тоже; от стабильности разряда в минимуме кривой зажигания в процессе травли функционального слоя; при манипуляциях с устройствами напуска и откачки и прочее. Вывод: эффект есть.

Так я стал соавтором двух пионерских публикаций:

Кропотов Н. Ю., Качанов Ю. А., Реука А. Г., Лисовский В. А., Егоренков В. Д., Фареник В. И. Особенности пробоя газа низкого давления в высокочастотном однородном поле // Письма в ЖТФ. — 1988. — Т. 14, вып. 4. — С. 359–363.;

Кропотов Н. Ю., Качанов Ю. А., Лисовский В. А., Егоренков В. Д., Фареник В. И. Особенности вольт-амперных характеристик слаботочной формы высокочастотного разряда E-типа // Письма в ЖТФ. — 1989. — Т. 15, — вып. 21. — С. 17–21.

А на «Контур-01 и 03» энергозатрат был понижен почти на порядок!

Тема докторской « Малоэнергетические плазменные системы... » нарисовалась естественным образом, так как мы были в постоянном поиске эффектов, подобных описанному выше, по двум стратегическим причинам.

1. На смену традиционному для микроэлектроники кремнию приходили материалы с более совершенными электрофизическими характеристиками, но легко подверженные деструкции от воздействия высоких температур.

2. Применение плазменных методов обработки позволяло повысить миниатюризацию микроприборов вплоть до суб-субмикронных! (О нано тогда скромно не упоминали). И, надо сказать, понижения энерговклада мы добились и в ионных источниках, и в индукционных реакторах.

Такой выбор направления защиты позволял мне не беспокоиться о составлении конкуренции моим молодым коллегам в будущем.

На 2000-й год: 13 А. С., 8 Патентов Украины и России, около тридцати ваковских публикаций.

Сейчас иные задачи: защита А. В. Зыкова, п р и з ы в к защите Станислава Валентиновича Дудина!

Думали мы с А. М. много лет назад о Школе, защитах, признании?...

...С начала 68-го я — инженер кафедры физики плазмы в лаборатории уже ассистента Рожкова А. М., был переведен на установку «Облако-1». Магнетрон или линза Габора — простое устройство из трёх кольцеобразных электродов, средний — потенциальный, помещавшееся в продольное магнитное поле. Три катушки находились между двумя блинами магнитоактивного железа и создавали сильно неоднородное вдоль оси системы поле. В присутствии плазмы картина полей была сложнейшей: электрическое радиальное и продольное, магнитное, резко спадающее по оси от центра. Собственно плазма занимала небольшую часть устройства у центрального электрода, плотность ее резко спадала к «земляным» электродам. Вопросов о сложности системы не принято было задавать, сказано — меряй! Я спрятал свободолюбивый характер и неуместное любопытство под лабораторный халат и «мерял».

Предмет измерений состоял в том, что при определённом соотношении напряженности магнитного поля и напряжении на центральном электроде, электрическими зондами (вспомнилось, как К. Д. на лекциях произносил — зонд Лэнгмюира) фиксировались колебания в плазме, по характеристикам напоминавшие ионно-циклотронные. Эффект был тонкий, постоянно, как нам казалось, из-за неоднородности плазмы ускользающий. Накладывались колебания с иными частотами, «лезли» гармоники.

У меня на языке вертелся вопрос, что мы упёрлись в эти циклотронные колебания, я его не задавал, а позже, после очередного визита Толока В. Т., понял, правильно, иначе показал бы свою дремучую неграмотность в вопросах нагрева термоядерной плазмы. Владимир Тарасович пришел с новым для меня человеком — Виктором Афанасиевичем Супруненко. С Михалычем они были знакомы: привет, Витя, здорово, Алим. Суть разговора: природу колебаний типа ионно-циклотронных, их зарождение, характеристики, энергетику ионов при этом — изучать доскональнейшим образом. Сейчас за бугром, а у нас Швеиц О. М. пытаются греть плазму на ионном циклотронном резонансе.

«И это на осциллографе ОК-17М» — не преминул заметить Михалыч. «Поможем!» — был ответ.

Оперативно помогли друзья — радиофизики, Свич Василий Антонович, давний «кореш», как представил А. М. симпатичного чубатого крепкого мужика. Свич В. А. предоставил нам панорамный широкополосный радио-спектроанализатор, буквально, открывший нам глаза на спектральные характеристики РЦН. Работа шла, Виктор Афанасьевич теперь был частью и, надо сказать, весьма полезным гостем.

В начале осени 69-го из деканата поступило распоряжение: срочная передислокация в Пятихатки, в новый корпус ФТФ.

ДЕМОНТАЖ!

Группа А. М. Рожкова к этому времени: Алим, я, инженер Власов Вячеслав Васильевич, дипломировался у А. М. вместе с Пикулем Михаилом Ивановичем, защитили дипломы в 1968 г., лаборанты Михаил Кабыченко, Михаил Кривонос, дипломник Юра Якимчук. Похаживали регулярно в лабораторию студенты Миша Сосипатров и Саша Кожарин. Пикуль М. И. после защиты уехал в Минск. К снежной зиме 70 года оборудование в разобранном виде разместили по заранее определённым помещениям.

### МОНТАЖ!

Задача Алимом Михайловичем была поставлена конкретно: в феврале принять студентов на лабораторном практикуме по диагностике. «Метода» — работать днём и ночью. Снабжение комплектацией — ХФТИ, благо, теперь рядом. Фареник отвечает за «коаксиал» (пушка Маршалла, дипломная работа), Власов — «коничка» (индукционный импульсный источник плазмы). Со свойственным А. М. юмором на коротком совещании группы им было заявлено: «Все капризы Володи и Славы, вплоть до кофея в постель, выполнять, как мои! Срок запуска — первое марта!» Конечно же!, срок был абсолютно! нереальным!, невозможно! выполнить!!!...

Неоднократно я потом вспоминал умение Михалыча зарядить на длительную результативную работу «ВНАТЯГ», не ослабляя моральных построшков (тяжело будет тронуться с места). И, когда с Мишей Сосипатровым и Мишей Пикулем неделю не выходили из лаборатории в Минске, выполняя срочный заказ известного «Интеграла». И на двухмесячной вахте в НИИ «Ангстрем» (завод союзного значения в Зеленограде «стоял на ушах»), а наши «мамка» Алик Лукашевич потчевал бригаду домашним борцом, сваренным в трёхлитровой банке кипятильником...

### Запустили.

Последние концы (без напряжения, ТБ) подбирали уже со студентами, в рамках НИРС! Из них потом несколько человек стали нашими сотрудниками.

Алим Михалыч в это время и был рядом, и в ХФТИ решал вопросы с комплектацией. Отвлекали его и неотложные, осложнившиеся до крайности, отношения в семье. Мы с душевным пониманием успокаивали, там же сын, ребятки, с болью делился А. М.

К концу марта мы со Славой Власовым пригласили Михалыча в соседнюю с практикумом комнату, научную, которая, по определению, должна быть необитаемой. Там стояли в полусобранном состоянии «Облако1» (моё) и будущее «Облако2» (Славино). «Когда???» — только и выпалил Рожков. Находчивый Слава Власов ответил: «Между днём и ночью, Михалыч». В дверях стояли скромно сияющие Сосипатров и Кожарин, Кабыченко и Кривонос.

Кстати, в этом аврале, как нередко бывает, по случаю, был сделан серьёзный физический и технический, короче, физико-технический шаг.

Одним из элементов конструкции магнетрона Габора был накаливаемый катод, который при частом развакуумировании установки насыщался кислородом воздуха и перегорал. Замена его на «Облаке 1» отнимала день, еще несколько часов «тренировка», обезгаживание, потеря темпа. Во включенном состоянии из оргстеклового фланца установки лился яркий свет, как от мощной лампочки Эдиссона.

В этот раз, пожалев время на тренинг катода, я получил плазму, приступил к измерениям. Свет в установке внезапно погас, стрелка амперметра «Накал катода» упала к нулю. Не трогая ручек регулировки, решил заглянуть внутрь камеры. Там достаточно ярко голубоватым цветом сиял слегка подрагивающий цилиндр. Позвал А. М., вдвоём мы поизучали это явление визуально. «Самостоятельный разряд?» — сказали мы друг другу одновременно. «Азот» — добавил Алим, а я перешел к ручкам управления напряжением и магнитным полем. «Полегче» — понял Михалыч мои намерения. В каких-то диапазонах



изменения цилиндр менял форму, оттенки свечения, потом погас. На все манипуляции ручками управления вакуумная камера отвечала темнотой.

Задача нам с Михалычем была понятна и звучала она так: как зажечь самостоятельный разряд в скрещенных полях? «Решай!» — Алим был краток. «Или ставь новый катод.»

Я не стал вычислять пропорцию между прогрессом и основной его движущей силой, открыл Грановского. Короткий раздел о ячейке Пеннинга. Кривые зажигания. Стоп, недавно в ЖТФ попалось похожее, Смирницкая, Рейхрудель. Движущая сила прогресса погнала меня в библиотеку. Через пару часов меня там нашел Михалыч. «Ну, что?» «Алим, тут люди науку серьёзную построили, в МГУ. Эшелон публикаций в ЖТФ.»

К вечеру я демонстрировал Алим самостоятельный разряд, манипулируя анодным напряжением, магнитным полем и давлением остаточного газа, понастроив для удобства семейство кривых зажигания разряда. «Это хорошо, без катода, но...?» «Понял, Михалыч. Сравнить по максимуму характеристики РЦН с катодом и без.» «И доложить немедленно!» — проколотал он. «Бу сделано, Алим Михайлович!» — как много лет назад ответил я, но уже в лицо уважающего тебя друга.

Несколько дней мы с Мишей Сосипатровым в стиле «экспресс» промеряли амплитудные, частотные характеристики резонансной ионно-циклотронной неустойчивости, гармонические спектры, энергетiku ионов и т. д. в бескатодном режиме. На устроенном срочном семинаре доложили результаты: все вопросы — а это?, а то?, неоднородность по радиусу?, прианодный электронный слой? — получили удовлетворительные ответы. Выбор сделан в пользу самостоятельного разряда. При работе с ним необходимо было находиться в области параметров, охватываемой кривой зажигания.

Кроме монтажа установок, проводили мы и самостоятельные строительные работы: новое здание — дверь перевесить, линолеум под установками усилить, перегородку дополнительно построить. О ней, перегородке, и пойдёт речь.

В коридоре, отведенном под лабораторию Рожкова, наличествовал расширитель для поступления света и воздуха в тупиковую часть. Как-то Алим Михайлович прошел по этому закутку, метров пятнадцать квадратных, хозяйским шагом. «Здесь будет кабинет директора программы», — постановил А. М.

Этого титула его удостоили на неофициальном совещании лаборатории, а он, уже как директор, за неоспоримые инженерные способности определил Славу Власова главным инженером, а меня, смех и только, главным теоретиком, т. к. в стройной картине РЦН-эффекта, составленной большими учеными, обнаружил я серьёзную неувязку теории с экспериментом: задержали отправку статьи, «перемеряли» тьму кривых, ученые поизучали новые результаты, откорректировали картину, признав мою правоту, а мне присвоили такой вот титул.

Сказано — за работу. Умельцы Власов, Кривонос, Кабыченко под руководством Директора составляли блиц-проект перегородки, я с аспирантом из Алжира Феузи был отправлен «на канавы», подвозить кирпич от общежития к запасному входу в корпус факультета.

К концу второго дня здоровых физических упражнений, на очередной «ходке», прибежал запыхавшийся Кривонос. Волнуясь, он частил в разговоре, сейчас он изъяснялся слогами — высшая степень. «Короче, Дыректор, срочно! разыскивает Фареныка!» «Где ты ходишь, Володя?» «На канавах, Алим Михайлович.» «Какие канавы?!» «С гражданином Алжира Феузи Бен-Хабибом, вашим аспирантом, таскаем кирпичи», — отвечал я, радуясь короткой передышке. «Какие кирпичи, многоточие!, какие канавы, два многоточия!», а отчет в Обнинск кто писать будет? строка точек, Пушкин, что ли?» Не скажу, любил ли он поэта, но фамилию упоминал часто, как правило, с многоточиями. Обсудили. По планам отчет



нужен был месяца через полтора, но из Обнинска просят побыстрее, завал с основной темой, выручайте, харьковчане! «Месяц!» — твёрдо заявил я. «Две недели! Фотографиями займётся Слава.» — был ответ.

Дело написания научно-технических отчетов в лаборатории я, по сути, взвалил на себя сам. Писал я легко, но стиль изложения подобной информации у меня был «вязкий», как оказалось, трудно поддающийся правкам. Был случай, Михалычу не понравился оборот, он его «выдернул», за ним потянулся следующий, дальше-больше и из клубка отчета образовался ворох неприбранной пряжи. Заказчикам, как признался один из них, эти отчеты нравились своей «кирпичностью», хорошо монтировались в полный отчет. На том Директор и постановил — главный теоретик и, он же, «писатель Пушкин».

Через три недели мы с Николаем Середой подходили к зданию подмосковного обнинского предприятия-заказчика. В портфеле: акты приёмки-сдачи работ, отчёт в двух экземплярах, пахнущих ледерином и столярным клеем (вечером, перед отъездом в Москву, Михалыч переплетал собственноручно, п о к а з а т е л ь н о, нравилось ему это ремесло и получалось отменно), а также три «экземпляра «Гарилки три перца», как называли подмосковные (и московские тоже) коллеги нашу горилку з перцем.

Спустя два дня (дни приезда и отъезда — один день) я был у кабинета Директора с докладом. Н. Середа — в НИС ХГУ, сдать Акты. Свеже покрашенная перегородка с обитой дерматином дверью радовала глаз. Рядом собралась чуть ли не вся лаборатория, но не возгласы радости наполняли коридор, а сплошные междометия и многоточия... Перед дверью стоял громадный двухтумбовый стол, выданный Директору и принесенный в наш коридор еще до начала стройки. «Готовитесь к приему моего доклада, Алим Михайлович» — невинно поинтересовался я, сразу поняв причину коллизий (не проходил стол в дверь, а затащить ранее не догадались, стоял же в коридоре!). Директор ответил парой многоточий, упомянув, кроме Пушкина, целый ряд классиков естествознания. «Ребята, через час-полтора всё будет на месте», — уравнивал беседу Миша Кривонос.

Через пару часов он же заглянул в лабораторию: «Иды до Дыректора, Володю, разобрали и собрали уже стил». Директор сидел за столом и делово перебирал бумаги. «Разрешите докладывать, товарищ Директор» — обиженно рапортовал я. «Садись, Иванович, остынь, не упираться с докладом. С утра звонили из Обнинска, довольны, как слоны, и даже больше. Предлагают продолжить работы, повысить надо мощность импульса. Финансирование по Постановлению, как Жора говорит, ЦК и Совмина. Отлично вы с Колей представили результаты, убедительно. Подумать надо крепко.» — он мельком посмотрел на стену, где уже висела приколотая кнопкой любительская фотография К. Д.

Я понял, что хоздоговорного приработка не будет. Только в р а щ а ю щ а я с я плазма. «Жене Луценко предложу, если возьмётся, установку от предыдущей работы передадим ему...»

Только ROTATING PLASMA!

В конце 1977 года, после Всесоюзной конференции по горячей плазме (г. Харьков, Старый Салтов), видя моё неуёмное стремление к самостоятельным действиям, обещавшие развитие новой тематики в ближайшем будущем контакты с московским НИИ Вакуумной техники, оценив начавшееся хозрасчетное финансирование от москвичей, и, ГЛАВНОЕ, определив, что предполагаемое дело находится в русле проблемы «Плазма в скрещенных полях», Алим Михайлович вызвал меня «на разговор».

Михалыча отличало удивительное чутьё к тонким нюансам развития данного научного направления, обострённое чувство наступления насыщения в поиске новых решений и задач. «Нулевая производная — конец науке, ни дня без открытий,» — говаривал А. М. в шутку, а мы не всегда понимали, где у него эта шутка заканчивается.

«Был у меня недавно Валентин Глебович Падалка. Обратил он внимание на результаты наших с Юрой Якимчуком исследований тонкой структуры РЦН, где амплитуда ионно-циклотронных колебаний по радиусу расщепляется на два близких пика. Мы оценивали по частоте — азот и кислород. Глебович, умнейшая голова, увидел здесь возможность разделения по радиусу близких по массе частиц. К примеру, выделение кислорода где-нибудь... на Луне. Вакуум есть, порода... Не дёргайся, Иванович, на Луну еще не скоро. А сепарация изотопов для атомной промышленности, разделение отходов ядерных реакторов — это задача для «Большого Пеннинга», как научно-технологического модуля с вращающейся плазмой.»

В этой фразе А. М. меня поразила не Луна — эка невидаль в лаборатории Рожкова, не постановка, по сути, новой задачи изучения процесса сепарации — назревало. Эффектность, что не было чуждо Михалычу, изящество, глубина и ёмкость понятия и ещё многое, что было вложено в слова «...НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ модуль» — неизгладимо вошли в моё сознание! Фанатичный приверженец горячей ВРАЩАЮЩЕЙСЯ плазмы, Алим сумел в этом определении соединить и мои рассказы о плазменных технологиях в микроэлектронике с применением ЕН-устройств, и информацию о набиравшей силу технологии «Булат» в УФТИ, и сохранить глубочайший пиетет к поставленной великим К. Д. задаче: научно-технологический модуль с вращающейся плазмой.

Пока я «пережевывал» сказанное, Алим, точь-в-точь, К. Д. и инженер-конструктор Рожков много лет назад, посмотрел на меня и продолжил. «Я на конференции несколько раз беседовал с Фомичём (Геннадий Фомич Ивановский — нач. отдела 41 в НИИ Вакумной техники, главный конструктор новой техники в Минэлектронпроме СССР). У них широко используются системы со скрещенными полями. Ты успешно докладывал в отделе результаты работ нашей лаборатории, и на защите Миши Пикуля он своими глазами видел наши установки. Помнит ваш доклад с Пикулем в 75-м году на конференции по НТ плазме, когда вас Белевский из «Кристалла» учил жизни. Нас он зауважал. Конкретно, к тебе он — с доверием и планами на сотрудничество. Обещает содействие в Министерстве в открытии отраслевой лаборатории для нас, ПОД ТЕБЯ. Думать не предлагаю! Ответа не спрашиваю! Поезд трогается, садись! С заведующим кафедрой я говорил, отдаём тебе двести первую комнату, около ста квадратов и двадцати тонн беспорядка. Работать денно и нощно, ты к этому приучен. Юнаков, Крячко, Бизюков, студенты. С Власовым и Покроевым побеседуй. «Облако-1» заберёшь, кой-какие приборы, а так — раскручивайся сам, финансирование есть, Фомич еще обещает заказы. Через год Фомич приедет посмотреть, как обустроилась будущая отраслевая лаборатория. Вот так, Владимир Иванович. А я с бригадой — на большом и маленьких Пеннингах «ударю» по разделению во вращающейся плазме.»

Время между принятием решения и началом его реализации у А. М. было минимальным. «ЗАВТРА НАЧИНАЕМ!»

Подробная хронология работы «моей!» группы изложена в книге [3].

Не об этом сейчас речь.

Работу группы Алима Михайловича не было у нас времени созерцать, но темпы поражали...

Фареник подумал, что, с одной стороны, квалифицировать успешность многообразной научной деятельности количеством защищенных диссертаций несколько однобоко, но с другой — если диссертация есть квинтэссенция многолетних усилий, суточных вахт возле экспериментальной установки, кип бортовых журналов и альбомов (стопка миллиметровки, две полоски текстолита, всё скреплено двумя болтами М4) графиков, гор перечитанной литературы, семинаров до хрипоты, изящного пинг-понга на конференциях,

как это было в группе Рожкова, а за ним — и в группе Фареника, то это устойчивая, конвертируемая в успехи и признание ЕДИНИЦА оценки эффективности этой самой деятельности.

«И, опять же, не так стройно вытанцовывается» — мысленно покритиковал свои размышления Фареник.

Группа Е. И. Луценко, о ней он уже вспоминал, «защитила» «только» четыре кандидатских диссертации по тематике  $Z$ -пинчей, но оставила заметный фундаментальный след в физике сильноточных разрядов — эффект отрыва двойного электрического слоя от электрода и его движения вдоль пинча. Необъятное поле классической физики для возделывания, если бы исследования были продолжены.

Владимир Иванович Муратов продолжал исследования по плазменной электронике, начатые им в УФТИ под руководством В. Т. Толока. Результаты нескольких работ, выполненных им вместе с Филиппенко В. Е., вошли в цикл по пучково-плазменным взаимодействиям, удостоенный в середине 70-х Государственной премии УССР. А числом защит группа не отличилась.

Негромко, но уверенно защитили кандидатские диссертации сотрудники кафедры Ю. Елисеев и И. Гордиенко под руководством К. Н. Степанова, а В. Д. Егоренков — докторскую при консультативном руководстве Константина Николаевича. Все — по животрепещущим вопросам горячей плазмы. (см. дополнение 7)

Упомянутые выше работы выполнены по специальности 01.04.08 «Физика плазмы».

Однако...

Уже в апреле 1979 года (!) Миша... Михаил Васильевич Сосипатров представил диссертацию на тему: **«Экспериментальное исследование разделения и вывода элементов и соединений во вращающейся плазме при развитых неустойчивостях»**. Успех. В скором времени закрытую работу по разделению на «Большом Пеннинге» представил А. Маслов.

Защитил закрытую докторскую сам Алим Михайлович с элементами разделения специальных материалов.

Прошла череда из 6 защит кандидатских диссертаций за последующие десять лет по различным аспектам исследований плазмы в скрещенных полях: Ю. Якимчук, В. Бориско, И. Битная, А. Лучанинов, И. Серета, Н. Петрушеня.

С 1985 года, после организации в 1979 году Отраслевой научно-исследовательской лаборатории диагностики плазменных технологических процессов и разворачивания, становления, вслед за прикладной, научной тематики, «защитную» лепту начала вносить группа Фареника.

Н. Юнаков подготовил диссертацию, в которой наряду с исследованием процессов во вращающейся плазме, скажем так — классического — разряда Пеннинга, приведен немалый объем результатов изучения физики ионных источников типа Радикал «Холодок», многоячеистый широкоапертурный, «Луч» с накалимым катодом и холодный. В числе публикаций — несколько изобретений.

А. Бизюков представил работу по изучению свойств нескомпенсированных слоёв плазмы в  $E/H$ -полях разряда Пеннинга, в холловских ионных системах. Чувствовалась опытная рука специалиста по электрическим слоям — научного руководителя диссертации Е. И. Луценко. Пионерский результат — изобретён способ подавления электростатической неустойчивости в ускоряющем промежутке ионного источника, что сказалось на энергетике пучка.

Сотрудничество с Константином Николаевичем Степановым по вопросу ион-ионной неустойчивости в  $E/H$ -полях позволило группе Рожкова внести существенные коррективы в механизм разделения, в ОНИЛ — значительно улучшить спектральные

характеристики ионных пучков. А, вкуче, А. Зыкову — предложить кафедре изящную работу, в которой имелись и серьёзная теоретическая модель, и крепкий эксперимент.

Работа Н. Марущенко о процессах переноса заряженных частиц поперёк направления магнитного поля положила начало исследованиям процессов объёмной и зарядовой компенсации.

Работы С. Дудина, открывшего новую ветвь направления исследований разрядов и ионно-плазменных систем в сложнейших комбинациях магнитных и электрических полей, А. Ушакова, К. Положия, Д. Рафальского, ввиду их чрезвычайной важности и новизны, требуют отдельного повествования.

Это же необходимо сказать и о цикле работ В. Лисовского вместе с С. Яковиним, Н. Харченко, В. Коваль, открывших интересную, полную научных неожиданностей страницу разрядов в комбинациях электрических полей без внешнего магнитного поля.

Диссертационные исследования Ивана Бизюкова и Андрея Кашабы были выполнены на оригинальных устройствах со скрещенными  $E/H$ -полями, успешно разработанных в научной группе Александра Анатолиевича Бизюкова.

Вызов по внутреннему телефону: «Владимир Иванович, к вам Редванский Виктор Михайлович.» «Виктор, заходи» — вышел в приёмную Фареник. «Спасибо, Витюша, что пришел. Мне только что звонил Владимир Борисович Юферов, они интенсивно используют наш «Большой Пеннинг», под названием ДИС-1. Его материал я тоже включаю в статью (см. дополнение 1). Ты — подарок для концовки статьи об А. М. Последний его соискатель и с наиболее законченным комплексом результатов. Садись, пожалуйста, и, как на защите, кратко и полно расскажи основные достижения.»

«Иваныч, — обратился ко мне Виктор, — я принёс с собой автореферат, заключение и выводы диссертации. Может, используешь в статье. Всё выверено, взвешено, без воды. Алим каждое слово отслеживал.» «Хорошо, Виктор Михайлович. Я в тексте старался не нагружать будущего читателя сухим научным материалом. Считаем, ты дал добро на использование своей рукописи, это будет прекрасный заключительный штрих в истории разделения 70–80-х» ответил Фареник и взял в руки автореферат (см. дополнение б).

«Прекрасно, Виктор, отличное завершение статьи Алимовым «ВСЕМ». А когда защита случилась, в реферате бледно месяц написан.» «Иваныч, я не помню точно, я уже оформлялся на новое место работы, свистопляска, бизнес открывал, ты же помнишь, какое время было. Кажется ноябрь, ноябрь девяносто первого.» Виктор попрощался и ушел.

Фаренику ОБОЖГЛЮ! сознание.

Конец 1991 года, ноябрь девяносто первого. Оказывается, жизнь продолжалась. Люди до самозабвения воспитывали детей, разводились и играли свадьбы, били горшки и мирились, глубоко дышали харьковским воздухом, создавали успешные бизнес-проекты, защищали прекрасные диссертации. Жизнь продолжалась!?!...

*Одна тысяча девятьсот девяносто первый год, ноябрь! Я возвращался из Москвы харьковским поездом, как всегда, в десятом «бригадирском» вагоне, был ли у меня билет или я вскакивал на подножку уже трогавшегося поезда, я слышал неизменное «Привет, Иванович! Домой!?!» или «В Москву?!» Результат регулярных вояжей в столицу, не «жлобского» характера и наличия знакомого заместителя начальника вокзала.*

*Сегодня я был с билетом, молчалив, хмур, опустошен. На приветствие бригадира коротко кивнул. Через час езды, после завершения своих оргдел, он зазвал меня в радиорубку, закрыл дверь. «По пятьдесят, сумрачный ты, Иванович.» Я отрицательно кивнул. «А по шестьдесят?» Я хмыкнул, на том и порешили.*

*...За день успел побывать в родном министерстве, двух отраслевых институтах, позвонить нескольким друзьям-коллабораторам. Пустые, стеклянные глаза при встречах*



и односложные ответы в телефонной трубке. В министерстве старый знакомый вышел ко мне на проходную, вывел на улицу. Зашли в кафе по соседству. Он заказал два по сто коньяка. Молча чокнулись, выпили. Я ответил заказом. Молча чокнулись, выпили. «С союзными республиками отношения прекращаются, все работы по Постановлениям отменяются. Прощай, Володя.» И ушел. Я меланхолично жевал корочку лимона...

Остаток дня до поезда прошел в фантасмагории. Люди вокруг — сплошь клиенты картинок Босха и полотен Бидструпа. Хроника событий то застывала в стоп-кадре, то мчалась с калейдоскопным шорохом. Все московские девушки были ур-родками, а рекламные щиты — картинами великих мастеров. И только звучащий в голове ВЫСОЦКИЙ был настоящим... «... в гости к Богу не бывает опозданий. так что ж там ангелы поют такими злыми голосами..., что-то воздуху мне мало, ветер пью, туман глотаю, чую с гибельным восторгом — пропадаю, ПРОПАДАЮ!»

Утром следующего дня ко мне в двести первую пришел Михаил Сосипатров. «Иваныч, Алим приглашает, поговорить надо.» Михалыч стоял у окна, задумчиво изучая скудный пейзаж заднего двора физтеха: кунги, стоящие кое-как. сарайчики-схованки, громадные катушки от силовых кабелей. Повернулся, сделал несколько шагов навстречу. «Я из Москвы, Владимир Иванович. Был в Госкомитете, средьмаше. Мои программы по разделению остановлены.» Рукопожатие было вялым. «Я тоже, Михалыч, оттуда же. И у нас остановлены. А мы уже на суб-субмикронны вышли...» — начал я и осёкся.

У железного А. М. Рожкова в глазах увидел я глубочайшую РАСТЕРЯННОСТЬ! Рука моя сама собой от рукопожатия легла ему на плечо жестом поддержки. Он молча ответил. Миша Сосипатров отвернулся к окну.

Мы молчали. Нужны ли слова между настоящими мужиками...

Фареник прошелся по кабинету. «Но рук мы не опустили!» — с некоторой гордостью и без рисовки даже перед самим собой подумал он.

...Мы оперативно перегруппировали силы.

Поредешую группу А. М. включили в состав моей, тоже потерявшей нескольких сотрудников, лаборатории отделом под водительством М. В. Сосипатрова.

Финансирование от МВССО УССР, с которым я во все времена продолжал поддерживать контакты (благословенный Алексей Федосеевич Рева, нач. отдела спецработ, понимавший с полуслова замминистра Шепотько Виктор Пантелеевич, дорогие коллеги и друзья), позволяло продержаться до полугода на целых ставках.

Алим взял на себя немедленное установление связей с Академией наук (В. Г. Барьяхтар), я — составление единой и расширенной программы по новым технологиям, интересной для Украины и Университета.

Для глубокого информационного поиска наметил себе срочные поездки в Минск и Москву.

Неожиданно позвонили из Ленинграда, со «Светланы». Заказ и деньги. Заеду и туда. Очень ко времени.

Коллектив продолжал ранее начатые работы.

Рожков и Фареник, объединив усилия, быстро релаксировали после тяжелейших потрясений. Действовали согласованно, стремительно, решительно, ставя четкие осмысленные цели, р е з у л ь т а т и в н о. Оба безусловные, харизматичные лидеры, они работали, как отлично отлаженный механизм.

Уже с начала 1992 года были:

– и победоносное завоевание блистательным А. М. Рожковым Министерства образования Украины, руководство Министерства считало честью приветствовать профессора-ядерщика А. М. Рожкова;

- и подготовка феерической Программы по новым технологиям, полностью поддержанной вице-президентом Академии наук В. Г. Барьяхтаром и В. В. Козорезом, зам. министра образования;
  - и основание уже летом 1992 года Научного физико-технологического центра -НИИ двойного подчинения МО и АН Украины, директор В. И. Фареник;
  - и организация в августе–сентябре 1992 года в структуре Университета новой кафедры физических технологий, заведующий А. М. Рожков;
  - и, тогда же, Учебно-научного комплекса «Физических технологий»;
  - и, в конце 1992 года, поездка А. М. Рожкова в США, по приглашению и за счет американских ученых;
  - и...!
- Но это уже «СОВСЕМ ДРУГАЯ ПЕСНЯ», как говорил Алим Михайлович Рожков.

### ЛИТЕРАТУРА

1. От редколлегии «К 40-летию начала исследований в области плазменных технологий в микроэлектронике на физико-техническом факультете Харьковского университета», из воспоминаний В. И. Фареника // ФИП. — 2015. — Т. 13, № 2. — С. 276–281.  
www.pse.scpt.org.ua
2. Презентация к 20-ти летию кафедры физических технологий ХНУ имени В. Н. Каразина www.scpt.org.ua, см. информацию от 03.07.2012.
3. Из книги «Харьковскому физтеху 50 лет» Власов В. В., Гирка И. А., Азаренков Н. А., Ходусов В. Д. — Х.: ООО «Издательство Майдан», 2012, статья В. И. Фареника «Подготовка научных кадров для новых областей физики». — С. 65–73.

*Р. S. После получения последней корректуры этого материала — не осмеливаюсь определить его жанр, доставившего много хлопот мэтрранпажу редакции, решил указать период его (материала) подготовки. Начинал в октябре прошлого года с целью зафиксировать коротко серьезное, с моей точки зрения, событие, которому пришлось быть случайным свидетелем: 50-летие встречи академика К. Д. Синельникова с инженером-конструктором физ-теха А. М. Рожковым, на которой была поставлена задача исследования свойств вращающейся плазмы. По мере изложения фактов, сюжет разрастался. Хотелось понять, почему А. М. Рожкову поручил К. Д. воплощение этой идеи, как он смог открыть для себя неординарность недавно вернувшегося со службы в армии отставного капитана. Приблизился февраль 2016-го, 80 лет со дня рождения А. М. Решили с руководством факультета открыть мемориальную доску, назвать его именем работающую лабораторию.*

*Странная субстанция человеческая память. Какие фильтры стоят на потоках значимых событий, их причинно-следственной связи? Встреча К. Д. и А. М. повлияла на судьбы многих десятков людей, но, когда я пытался определиться с этой частью материала, почти всегда слышал в ответ: «Сколько? Пятьдесят? Не может быть. Надо же.» Седьмого февраля созвонился с Мишей Сосипатровым, гриппует. Я тоже. В этот раз проведать Алима Михайловича не поехали. С Виктором Редванским и Олегом Давыдовым постучали символически по микрофонам трубок. Большие и звонков не было. А... Память в делах. Помним, Михалыч!*

*Начато: октябрь 2015 г.*

*Закончено: февраль 2016 г.*

Информация получена от доктора физико-математических наук В. Б. Юферова, ННЦ «ХФТИ». Приводится без изменений. Исключены фото копий Акта и Приказа о запуске установки «Орбита», как трудно воспроизводимые.

### Рожков А. М. Воспоминания

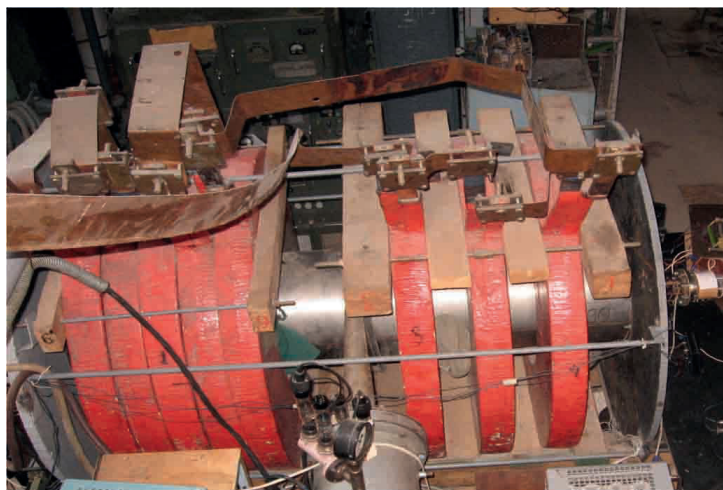
В ХГУ в 60–80 гг. в научном коллективе, возглавляемом А. М. Рожковым, и под руководством проф. К. Н. Степанова проводились работы по исследованию различного типа неустойчивостей во вращающейся плазме, в частности, исследование резонансного возбуждения ионно-циклотронных колебаний в плазме, находящейся в скрещенных электрическом и магнитном полях (Резонансное возбуждение ионно-циклотронных колебаний в плазме, находящейся в скрещенных электрическом и магнитном полях / А. М. Рожков, К. Н. Степанов, В. А. Супруненко, В. И. Фареник, В. В. Власов // УФЖ. 1969, т. 14, № 11, 1856 с.)

Кроме того, исследовалась возможность разделения по массам смесей изотопов, элементов и соединений, находящихся в плазменном состоянии (А. С. № 714997 СССР. Способ разделения по массам смесей изотопов, элементов и соединений, находящихся в плазменном состоянии / В. В. Власов, И. И. Залюбовский, М. Г. Кривонос, А. М. Рожков, М. В. Сосипатров, К. Н. Степанов, В. И. Фареник (СССР) — № 2607845 // Заявлено 19.04.78. Опубликовано. 15.10.1979.)

Для проведения экспериментальных работ использовалась установка «Орбита», созданная А. М. Рожковым (см. Акт и Приказ). Результатом данных исследований стал выход множества научных статей, публикаций, изобретений и диссертационных работ.

В 2004 году установка «Орбита» была передана в ННЦ ХФТИ, где была модернизирована и получила название демонстрационно-имитационный сепаратор («ДИС-1»).

Общий вид установки «ДИС-1».



В настоящее время «ДИС-1» используется для исследования принципов сепарации многокомпонентных смесей, имитирующих отработанное ядерное топливо (ОЯТ). С тех пор и по настоящее время на установке «ДИС-1» ведутся экспериментальные исследования, и опубликовано более десятка научных статей, в частности, в журнале ВАНТ (Вопросы атомной науки и техники), которые включают ссылки на работы коллектива, руководимого тандемом А. М. Рожков — К. Н. Степанов.

В. Б. Юферов.

Аннотация автореферата диссертации В. Коваль-Деревянко  
**«Структура и свойства разряда постоянного тока в длинных трубках»**,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физ. -мат. наук в 2015 году.  
Печатается с разрешения автора

В диссертационной работе исследованы зажигание тлеющего разряда в коротких и длинных трубках, осевая структура, а также процессы в катодном слое и положительном столбе. Показано, что обычный закон Пашена справедлив только для коротких разрядных трубок, для которых  $L/R < 1$ . Получено, что при больших отношениях  $L/R > 10-20$  кривые зажигания с ростом  $L$  смещаются в область более высоких пробойных напряжений при практически неизменном давлении газа в их минимуме. Проведен асимптотический анализ критерия пробоя и получена формула для давления газа в минимуме кривой зажигания в длинной трубке, которая хорошо описывает результаты. Зондовым методом обнаружено, что в темном фарадеевом пространстве осевой профиль плотности плазмы имеет максимум, который может быть даже выше, чем средняя плотность плазмы в положительном столбе. Выяснены условия стратификации положительного столба тлеющего разряда в постоянном электрическом поле в азоте в трубках с различными радиусами. Получено, что стратификация положительного столба хорошо описывается законами подобия, а приведенные толщины страт  $d/R$  — законом Гольдштейна-Венера  $d/R = C/(pR)^m$ , при этом константы для азота равны  $C = 1,05$  и  $m = 0,32$ . Найдено, что область существования контрагированного режима в  $\text{CF}_4$  в узких зазорах между электродами имеет неоднозначный характер, увеличение разрядного тока может привести к расконтрагированию положительного столба. Установлено, что для давления азота  $p < 1$  Торр и  $p > 1,5$  Торр характеристики катодного слоя хорошо описываются столкновительным законом Чайльда-Ленгмюра с постоянной подвижностью ионов.



Содержание и Заключение диссертации В. А. Лисовского, представленной на соискание ученой степени доктора физ. -мат. наук в 2008 году. Публикуется с разрешения автора.

## **«ГАЗОВЫЙ РАЗРЯД НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ В КОМБИНИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ»**

### **СОДЕРЖАНИЕ**

#### **ВВЕДЕНИЕ**

#### **ГЛАВА 1. ОПИСАНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЕРИМЕНТА**

#### **ГЛАВА 2. ПРОБОЙ ГАЗА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ**

#### **В ПЕРЕМЕННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

- 2.1. Анализ экспериментальных кривых зажигания ВЧ разряда
- 2.2. Гидродинамическая модель ВЧ пробоя газа
- 2.3. Влияние геометрии разрядной камеры  
на зажигание ВЧ емкостного разряда низкого давления
- 2.4. Критерий пробоя газа в комбинированном электрическом поле
- 2.5. Критерий пробоя газа в сверхвысокочастотном электрическом поле
  - 2.5.1. СВЧ пробой при отсутствии прилипания
  - 2.5.2. СВЧ пробой в электроотрицательном газе
  - 2.5.3. Влияние слабого постоянного электрического поля  
на СВЧ пробой газа
- 2.6. Закон подобия для ВЧ пробоя газа
  - 2.6.1. Анализ уравнения ВЧ пробоя
  - 2.6.2. Результаты экспериментов и обсуждение
- 2.7. Основные выводы к Главе 2

#### **ГЛАВА 3. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДРЕЙФОВОЙ СКОРОСТИ ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ КРИВЫХ ЗАЖИГАНИЯ ВЧ РАЗРЯДА**

- 3.1. Анализ движения электронов в ВЧ электрическом поле  
и уравнения ВЧ пробоя газа
- 3.2. Значения дрейфовой скорости электронов в различных газах
- 3.3. Метод оценки величины ВЧ напряжения на потенциальном электроде  
в технологических газоразрядных установках
  - 3.3.1. Эквивалентная схема разрядной камеры
  - 3.3.2. Экспериментальные результаты
- 3.4. Основные выводы к Главе 3

#### **ГЛАВА 4. СЛАБОТОЧНЫЙ И СИЛЬНОТОЧНЫЙ РЕЖИМЫ ГОРЕНИЯ ВЧ ЕМКОСТНОГО РАЗРЯДА**

- 4.1. ВЧ разряд в аргоне
  - 4.1.1. Вольт-амперные характеристики разряда и область  
существования  $\alpha$ -режима
  - 4.1.2. Осевая структура ВЧ разряда
  - 4.1.3. Условия существования двойных плазменных слоев  
в ВЧ разряде
- 4.2. ВЧ разряд в кислороде
  - 4.2.1. Вольт-амперные характеристики разряда и область  
существования  $\alpha$ -режима

- 4.2.2. Возникновение двойного слоя в приэлектродном слое высокочастотного емкостного разряда в кислороде
- 4.3. Влияние геометрии камеры на режимы горения ВЧ разряда
- 4.4. Влияние частоты на режимы горения и альфа-гамма переход в высокочастотном емкостном разряде в  $N_2O$
- 4.5. Механизмы  $\alpha$ - $\gamma$  перехода
- 4.6. Аналитическая модель электрических полей в столкновительном ВЧ разряде
  - 4.6.1. Случай однородного распределения параметров плазмы
  - 4.6.2. Случай неоднородного распределения параметров плазмы
- 4.7. Температура нейтрального газа в ВЧ разряде низкого давления
- 4.8. ВЧ разряд в водороде
- 4.9. Выводы к Главе 4

## **ГЛАВА 5. ДИССОЦИАТИВНЫЙ РЕЖИМ ГОРЕНИЯ ВЧ ЕМКОСТНОГО РАЗРЯДА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ**

- 5.1. ВЧ разряд в  $SF_6$ 
  - 5.1.1. Экспериментальные результаты
  - 5.1.2. Обсуждение результатов для  $SF_6$
- 5.2. ВЧ разряд в  $NF_3$ 
  - 5.2.1. Экспериментальные результаты
  - 5.2.2. Обсуждение результатов для  $NF_3$
- 5.3. ВЧ разряд в  $SiH_4$
- 5.4. Выводы к Главе 5

## **ГЛАВА 6. ПОГАСАНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЕМКОСТНОГО РАЗРЯДА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ**

- 6.1. Кривые погасания ВЧ разряда
- 6.2. Влияние геометрии камеры на погасание ВЧ разряда
- 6.3. Выводы к Главе 6

## **ГЛАВА 7. ДВУХЧАСТОТНЫЙ РАЗРЯД**

- 7.1. Зажигание двухчастотного разряда
- 7.2. Моды двухчастотного (27/2 МГц) разряда низкого давления
- 7.3. Выводы к Главе 7

## **ГЛАВА 8. ПРИМЕРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ ВЧ ЕМКОСТНОГО РАЗРЯДА**

- 8.1. Плазменная очистка и травление
- 8.2. Результаты экспериментов по плазменной очистке технологических камер и травлению многослойных материалов ( $Si_3N_4/SiO_2/Si$  и  $SiO_2/Si$ ) в высокочастотном емкостном разряде

## **ВЫВОДЫ**

## **СПИСОК ЦИТИРОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

## **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

В диссертационной работе впервые получен закон подобия для ВЧ пробоя газа  $U_{pf} = \psi(p \cdot L, L/R, f \cdot L)$  в цилиндрических разрядных трубках произвольных размеров (длины  $L$  и радиуса  $R$ ) и различных частотах  $f$  ВЧ электрического поля.

Разработана двумерная гидродинамическая модель ВЧ пробоя газа в разрядных камерах сложной геометрии, учитывающая наличие вторичной электронной эмиссии с поверхности электродов.

Впервые получены критерии пробоя газа в СВЧ и комбинированных (ВЧ + постоянное, СВЧ + постоянное) электрических полях, учитывающие анизотропию диффузии электронов вдоль и поперек поля.

Впервые предложен метод определения дрейфовой скорости электронов из особых точек ВЧ кривых зажигания, а также с помощью этого метода измерены значения дрейфовой скорости электронов в сильном электрическом поле в десяти газах (в ряде из них — впервые).

Впервые экспериментально показано, что область существования слаботоочного  $\alpha$ -режима ограничена не только со стороны средних давлений, но и со стороны низких давлений (слева от минимума кривой погасания ВЧ разряда).

Впервые экспериментально и теоретически получено, что при высоких давлениях газа  $\alpha$ - $\gamma$  переход сопровождается пробоем приэлектродных слоев, в то время как при низких давлениях газа при  $\alpha$ - $\gamma$  переходе слои не пробиты, но являются источником электронов высокой энергии.

Впервые экспериментально показано наличие диссоциативного режима горения ВЧ разряда в ряде технологических молекулярных газов.

Впервые экспериментально получено наличие области неоднозначной зависимости ВЧ напряжения погасания ВЧ разряда от давления газа.

Впервые экспериментально показано, что двухчастотный разряд может гореть в трех различных режимах: несамостоятельный ВЧ разряд, возмущенный НЧ электрическим полем; комбинированный разряд; несамостоятельный НЧ разряд, возмущенный ВЧ электрическим полем.

Содержание Проекта докторской диссертации А. В. Зыкова. Один из вариантов. Планируется к защите в первой половине 2016 года. Публикуется с разрешения автора.

**«ГЕНЕРАЦИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКА ИОННЫХ ПОТОКОВ  
В ПЛАЗМЕННЫХ СИСТЕМАХ С КОМБИНИРОВАННЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ  
И МАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ»**

**СОДЕРЖАНИЕ**

**ВВЕДЕНИЕ**

**РАЗДЕЛ 1. ПРОБОЙ И ЗАЖИГАНИЕ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА  
В МАГНИТНОМ ПОЛЕ**

- 1.1. Краткий обзор литературы по возбуждению газового разряда в комбинированных ЕН полях. Постановка задачи.
- 1.2. Экспериментальная установка, источник ионов «Радикал», методики измерений.
- 1.3. Результаты исследований пробоя, зажигания и погасания планарного магнетронного разряда.
- 1.4. Феноменологическая модель и дрейфовая теория возникновения планарного магнетронного разряда.
- 1.5. Сравнение результатов теоретических расчетов и экспериментальных данных. Выводы.

**РАЗДЕЛ 2. СТАЦИОНАРНЫЕ СОСТОЯНИЯ ПЛАНАРНОГО  
МАГНЕТРОННОГО РАЗРЯДА В УСКОРИТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ**

- 2.1. Краткий обзор литературы. Классификация режимов газового разряда в скрещенных ЕН полях. Постановка задачи.
- 2.2. Диагностический комплекс для изучения потока заряженных частиц в источнике ионов «Радикал».
- 2.3. Результаты измерений интегральных характеристик источника ионов «Радикал» и структуры прианодного электронного слоя.
- 2.4. Феноменологическая модель прианодного электронного слоя, дрейфовая теория стационарных состояний ПМР в ускорительном режиме.
- 2.5. Сравнение результатов теоретических расчетов и экспериментальных данных. Выводы.

**РАЗДЕЛ 3. СТАЦИОНАРНЫЕ СОСТОЯНИЯ ПЛАНАРНОГО  
МАГНЕТРОННОГО РАЗРЯДА В ПЛАЗМЕННОМ РЕЖИМЕ**

- 3.1. Краткий обзор литературы по исследованиям магнетронных распылительных систем. Постановка задачи.
- 3.2. Экспериментальная установка, конструкция газоразрядного магнетрона низкого давления и методики измерений.
- 3.3. Результаты измерений кривых зажигания/погасания и интегральных характеристик магнетронного разряда.
- 3.4. Феноменологическая модель и дрейфовая теория стационарных состояний магнетронного разряда в плазменном режиме.



- 3.5. Сравнение результатов теоретических расчетов и экспериментальных данных. Выводы.

#### **РАЗДЕЛ 4. ВЧ ИНДУКЦИОННЫЙ РАЗРЯД**

- 4.1. Особенности ВЧИ разряда низкого давления.  
Обзор литературы. Постановка задачи.
- 4.2. Экспериментальное оборудование для изучения ВЧИ разряда и методики измерений.
- 4.3. Результаты измерений кривых зажигания/погасания и обобщенных интегральных характеристик ВЧИ разряда.
- 4.4. Пространственно усредненная модель ВЧИ разряда и дрейфовая теория стационарных состояний.
- 4.5. Сравнение результатов теоретических расчетов и экспериментальных данных. Выводы.

#### **РАЗДЕЛ 5. КОМБИНИРОВАННЫЕ РАЗРЯДЫ**

- 5.1. ВЧ индукционно-емкостной разряд.  
Обзор литературы. Постановка задачи.
- 5.2. Интегральные характеристики ВЧИЕ разряда.
- 5.3. Влияние потенциальных постоянного и высокочастотного электрических полей на стационарные характеристики ВЧИ разряда. Формирование ионных и комбинированных ион-электронных потоков.
- 5.4. Модель энергобаланса в ВЧИЕ разряде.  
Сравнение результатов теоретических расчетов и экспериментальных данных. Выводы.
- 5.5. Индукционно-магнетронный разряд.  
Обзор литературы. Постановка задачи.
- 5.6. Экспериментальная установка и результаты измерений.
- 5.7. Модель энергобаланса в ВЧИМ разряде.  
Сравнение результатов теоретических расчетов и экспериментальных данных. Выводы.

#### **РАЗДЕЛ 6. ТРАНСПОРТИРОВКА,**

#### **ЗАРЯДОВАЯ И ТОКОВАЯ КОМПЕНСАЦИЯ**

#### **НИЗКО-ЭНЕРГЕТИЧНЫХ ШИРОКОАПЕРТУРНЫХ ИОННЫХ ПОТОКОВ**

- 6.1. Краткий обзор литературы по исследованиям автокомпенсации низкоэнергетических ионных потоков. Постановка задачи.
- 6.2. Экспериментальная установка и методики измерений.
- 6.3. Результаты измерений параметров ионно-пучковой плазмы в режимах автокомпенсации и работы с катодом компенсатором.
- 6.4. Феноменологическая модель ИПП, дрейфовая теория стационарных состояний ИПП в режиме зарядовой автокомпенсации.
- 6.5. Сравнение результатов теоретических расчетов и экспериментальных данных. Выводы.

#### **ГЛАВА 7. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГАЗО-РАЗРЯДНЫХ СИСТЕМ НА БАЗЕ ПЛАНАРНОГО МАГНЕТРОННОГО И ВЧ ИНДУКЦИОННОГО РАЗРЯДОВ**

#### **ВЫВОДЫ**

**ПРИЛОЖЕНИЕ. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ  
ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ**

1. Автономные источники ионов низких и средних энергий.
2. Источник плазмы и ХАЧ на базе ВЧИ разряда.
3. Магнетронная распылительная система низкого давления.
4. Многофункциональная кластерная установка для РИПС сложнокомпозиционных соединений.

Содержание Проекта докторской диссертации В. И. Фареника. Приводится для информации о прикладных разработках ОНИЛ ДПТП, СКТБ «Контур», выполненных с середины 80-х до 2000 г.

## **«МАЛОЭНЕРГОЕМКИЕ ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С РАЗЯДАМИ В КОМБИНИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ И МАГНИТНОМ ПОЛЯХ»**

### **СОДЕРЖАНИЕ**

#### **ВВЕДЕНИЕ**

#### **РАЗДЕЛ 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ**

- 1.1. Обзор литературы и постановка задач
- 1.2. Ускорение ионов в ВЧ приэлектродных слоях и аналог закона Чайльда-Ленгмюра
- 1.3. Ионная бомбардировка электродов и режимы ВЧЕ разряда
- 1.4. Исследования самостоятельного ВЧИ разряда низкого давления
- 1.5. Кривые зажигания и аналоги статических реактивных ВАХ для ВЧИ разряда низкого давления

#### **РАЗДЕЛ 2. ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА, БАЗОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

- 2.1. Особенности зондовых измерений в технологической плазме
- 2.2. Электрический зонд в ионно-пучковой плазме
- 2.3. Электрический зонд в плазме ВЧ разряда

#### **РАЗДЕЛ 3. ПОЛУЧЕНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВКА ИОННЫХ ПУЧКОВ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ЭНЕРГИЙ**

- 3.1. Источники с ионообразующими ступенями в  $E \perp H$  полях
  - 3.1.1. Источник с ионообразующей ступенью в виде обращенного магнетрона [38]
  - 3.1.2. Источник с ионообразующей ступенью в виде магнетрона с дополнительным анодом
  - 3.1.3. Модифицированный источник ионов [39]
- 3.2. Транспортировка ионных пучков
  - 3.2.1. Общие закономерности процесса нейтрализации
  - 3.2.2. Техника и условия проведения экспериментов
  - 3.2.3. Нейтрализация ИП в замкнутом пространстве транспортировки с эквипотенциальными границами
  - 3.2.4. Нейтрализация ионного пучка при наличии интенсивных источников и стоков электронов.
    - 3.2.4.1. Открытая система с ИИ холловского типа «Радикал-М»
    - 3.2.4.2. Открытая система на базе двухступенчатого источника ионов с двухсеточной ИОС
  - 3.2.5. Механизм нейтрализации ИП (качественное рассмотрение)
  - 3.2.6. Нейтрализация ИП низкой энергии в технологических процессах

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

#### **РАЗДЕЛ 4. МАЛОЭНЕРГОЕМКИЕ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЕ РЕАКТОРЫ С ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ РАЗЯДОМ Е-ТИПА**

- 4.1. Особенности пробоя самостоятельного ВЧЕ разряда и его статически активных ВАХ
  - 4.1.5. Зондовые измерения внутренних параметров ВЧЕ разряда.

- 4.1.6. Исследование спектров излучения ВЧЕ разряда в установке «Контур-01»
- 4.2. Экспериментальные технологические установки ПХТ на базе оптимизированного реактора ВЧ-диодного типа.
- 4.3. Малогабаритные экспериментальные технологические установки ПХТ «Титан» с оптимизированным реактором ВЧ диодного типа
- 4.4. Скоростное плазмохимическое травление кремния в малоэнергоемких плазменных технологических установках серии «Контур» и «Титан»

## **РАЗДЕЛ 5. ИНДУКЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ**

- 5.1.2. Аналоги статических реактивных ВАХ для ВЧИ плазменного конденсатора
- 5.1.3. Энергетическая цена иона в ВЧИ разряде
- 5.1.4. ВЧ-индукционный плазменный конденсатор — управляемая газоразрядная система для устройств вакуумно-плазменного травления
- 5.2. ВЧ индукционные источники низкоэнергетичных ионов для РИЛТ.
  - 5.2.1. ИОС на основе ВЧ приэлектродного слоя
  - 5.2.2. Характеристики ИИ на базе ИПК и их технологическая апробация
  - 5.2.3. Глубинное травление GaAs
  - 5.2.4. РИЛТ гетероэпитаксиальных структур со слоями
  - 5.2.5. Бездефектное травление
- 5.3. Системы ПХТ и РИПТ на базе ИПК
  - 5.3.1. Экспериментальная технологическая установка ПХТ «Контур-02» с реактором на базе ИПК
  - 5.3.2. Экспериментальная технологическая установка ПХТ «Контур-04» с комбинированным индукционно-емкостным реактором
  - 5.3.3. Экспериментальная технологическая установка для РИПТ «Контур 05» на базе ИПК
    - 5.3.3.1. Конструкция экспериментального образца комбинированного реактора
    - 5.3.3.2. Система ВЧ питания и управления электрическими параметрами реактора
    - 5.3.3.3. Применение индукционного реактора ПХТ для плазменного проявления многослойного резистора

## **РАЗДЕЛ 6. МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССОВ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО ТРАВЛЕНИЯ**

- 6.2. Методы зондового контроля ИПТ
  - 6.2.1. Контроль ионно-лучевого травления
  - 6.2.3. Контроль плазмохимического травления в плазме ВЧ разрядов
- 6.3. Устройства для зондового контроля ПТП

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**



Содержание диссертации В. М. Редванского, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в 1991 г. Публикуется с разрешения автора.

## **«ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАЗДЕЛЕНИЯ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЛАЗМЕ»**

### **ОГЛАВЛЕНИЕ**

#### **ВВЕДЕНИЕ**

#### **О РАЗДЕЛЕНИИ ИЗОТОПОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ**

#### **ПЛАЗМЕННЫХ МЕТОДОВ**

#### **ТЕХНИКА И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА.**

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ МЕТОДИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

- 2.1. Конструктивные особенности экспериментальных установок и условия существования разряда
- 2.2. Ввод рабочего вещества в ячейку Пеннинга
- 2.3. Методы диагностики
- 2.4. Результаты методических измерений

#### **ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РАЗДЕЛЕНИЯ**

#### **ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЛАЗМЕ**

#### **ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТА ИОНИЗАЦИИ**

#### **И УВЕЛИЧЕНИЯ СКОРОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ**

#### **ПРОДУКТОВ РАЗДЕЛЕНИЯ**

- 3.1. Общие соображения
- 3.2. Экспериментальное исследование возможности возбуждения ионной циклотронной неустойчивости в диапазоне давлений рабочего газа,  $P = 10^{-4} + 10^{-3}$  мм рт. ст.
- 3.3. Интенсификация процессов разделения во вращающейся плазме методом увеличения скорости извлечения продуктов разделения
- 3.4. Краткие выводы

#### **ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ВВОДА РАБОЧЕГО ВЕЩЕСТВА В РАЗРЯД**

#### **НА ИОННУЮ ЦИКЛОТРОННУЮ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ**

#### **И ПРОЦЕССЫ РАЗДЕЛЕНИЯ**

- 4.1. Общие соображения
- 4.2. Экспериментальное изучение влияния инжекции нейтральных частиц на процессы разделения во вращающейся плазме
- 4.3. Экспериментальное изучение влияния инжекции заряженных частиц на процессы разделения во вращающейся плазме
- 4.4. Краткие выводы

#### **ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ**

#### **РЕЗОНАНСНОЙ ИОННОЙ ЦИКЛОТРОННОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ**

#### **ИЗ СЛОЖНЫХ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

#### **И МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СМЕСЕЙ**

- 5.1. Общее заключение
- 5.2. Получение литиевых покрытий из литийсодержащих соединений

5.3. Экспериментальное изучение возможности  
получения элементов из сложных химических соединений

5.4. Краткие выводы

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Впервые проведено изучение механизмов управления резонансной ионной циклотронной неустойчивостью и процессами аномального переноса частиц во вращающейся плазме, путем ввода в разрядный промежуток ионов с заданной функцией распределения по скоростям.
2. Впервые проведено изучение механизмов управления резонансной ионной циклотронной неустойчивостью и процессами аномального переноса частиц во вращающейся плазме, путем оптимизации ввода рабочего вещества в разрядный промежуток.
3. Впервые выделен кислород из многокомпонентного сложного соединения методом РЦН.
4. Показана возможность получения чистых металлов из их сложных соединений методом РЦН, минуя физико-химические пути их восстановления.
5. Определены пути повышения производительности метода РЦН путем увеличения коэффициента ионизации рабочего вещества, увеличением скорости извлечения продуктов деления, оптимальным вводом рабочего вещества и созданием плазмы с заданной функцией распределения по скоростям.

Список диссертаций, защищенных сотрудниками кафедры физики плазмы до 2012 г. и не включенных в списки 1, 2

**Группа Е. И. Луценко**

1. Середа Н. Д. рук. Луценко Е. И. тематика Луценко Е. И.
2. Целуйко А. Ф. рук. Луценко Е. И. тематика Луценко Е. И.
3. Димитрова В. рук. Луценко Е. И. тематика Луценко Е. И.
4. Середа К. Н. рук. Бизюков А. А. тематика Луценко Е. И.

**Группа В. И. Муратова**

1. Галушко Н. рук. Моисеев С. С. тематика Моисеева С. С.
2. Кононенко С. И. рук. Моисеев С. С. тематика Моисеева С. С.
3. Филиппенко В. Е. рук. Моисеев С. С. тематика Моисеева С. С.

**Группа Степанова К. Н. теоретики**

1. Елисеев Ю. рук. Степанов К. Н. Степанов К. Н. ЕН-поля
2. Михайленко В. М. рук. Степанов К. Н. Степанов К. Н.
3. Гордиенко И. рук. Степанов К. Н. Степанов К. Н. ЕН-поля

**Докторские: тематика Степанова К. Н.**

1. Егоренков В. Д. н. консультант Степанов К. Н.
2. Михайленко В. М. н. консультант Степанов К. Н.

**Для полноты картины:**

1. Манзюк Н. А. рук. Рожков А. М. тематика Супруненко В. А.
2. Пятов В. Н. рук. Рожков А. М. тематика УФТИ
3. Алимов С. рук. Бобков В. В. тематика Бобкова В. В.
4. Гирка А. И. рук. Бизюков А. А. пучки, тематика Бизюкова А. А.