

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Государственный научный центр Российской Федерации –
Институт медико-биологических проблем Российской академии наук
(ГНЦ РФ - ИМБП РАН)

ТРУХАНОВ
КИРИЛЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**Пятьдесят пять лет в ИМБП:
проблемы пилотируемой космонавтики
глазами физика**

Москва 2019 г.

Об авторе. Начало пути. Место рождения – г. Ленинград, 1930 год. В 1937 году моего отца Труханова Александра Ананьевича перевели из Ленинграда в Москву, как известного специалиста по светотехнике, и назначили главным проектантом освещения Дворца Советов, являвшегося в СССР стройкой века. Это назначение спасло его от ареста в Ленинграде во время начавшихся репрессий.

В 1948 году я, уже москвич, поступил на физический факультет МГУ и после второго курса был отобран на Отделение строения вещества (так зашифровали ядерную физику). Отбор был жестким и не только по успеваемости.

В декабре 1953 года после окончания МГУ вместе с несколькими однокурсниками был распределен в Институт биофизики (ИБФ), подчинявшийся третьему ГУ при МЗ СССР.

Институт биофизики МЗ СССР

В ИБФ был выполнен большой объем исследований в области дозиметрии ионизирующих излучений, а также ядерной радиометрии и спектроскопии (методов измерения активности их источников, испускаемых ими частиц и их энергетических спектров).

Нам, молодым специалистам-ядерщикам, распределенным в московские институты, в клубе Института атомной энергии (ИАЭ) на Живописной улице ведущие сотрудники ИАЭ читали лекции по различным проблемам ядерной физики. Посещение лекций было обязательным. Я пришел на очередную лекцию (тема - ядерная энергетика), сел, как всегда, на «галерке» недалеко от входа. Сидя, открывается дверь, входит И.В. Курчатов («борода», как называли его между собой сотрудники ИАЭ) и присаживается тоже на «галерке». Я продолжал слушать, не отвлекаясь. Он просидел всю лекцию. То ли его интересовало изложение темы, то ли хотел проверить, как нас - научную молодежь, знакомят с разными направлениями ядерной физики, то ли подчеркнуть своим присутствием важность этих лекций.

По поручению дирекции ознакомился с работой группы измерения радиоактивных изотопов в препаратах тканей подопытных животных, на основе чего разрабатывались предельно допустимые нормативы. Группа состояла из пятнадцати техников, начиная со вчерашних школьников и кончая женщинами в возрасте, а также одного, как сейчас бы сказали, электронщика, который следил за аппаратурой. Испытал шок от организации измерений. Поступавшие от радиобиологов препараты имели произвольную форму и массу. Это не позволяло корректно вводить поправки на взаимное расположение

препарата и счетчика, на поглощение в препаратах собственного бета-излучения, особенно, мягкого (сера, углерод), и ряд других. Не обеспечивался адекватный перевод данных счета в удельную активность препаратов, что требуется при обосновании нормативов.

Совместно с сотрудниками ИБФ была разработана и внедрена совершенно иная технология подготовки препаратов к измерениям, в том числе обоснованы требования к желательной форме и приблизительным размерам препаратов. Из поступавших препаратов готовились пробы нескольких стандартных форм и размеров в зависимости от их изотопного состава. Тем самым создавалась возможность заранее знать величины поправок и оптимизировать процесс измерений. Все это позволило намного повысить точность получения данных и избежать заметных ошибок при обосновании радиобиологами нормативов. Работа отняла несколько месяцев, в течение которых руководил измерительной группой. Был доброжелателен, но старательно держал дистанцию.

Еще один случай. В ИМБП был поставлен плутоний-239 для разработки предельно допустимых нормативов. Поставка стоила очень дорого. Одному из радиохимиков и мне было поручено провести измерения, соответствует ли количество плутония паспорту поставки. Аппаратура тогда была очень несовершенной, а поручение - нелегким и весьма ответственным. Установили, что количество плутония соответствует паспорту со статистической погрешностью $\pm 5\%$. Надо заметить, что в те годы в лучших лабораториях мира при сличении величины активности одного и того же источника ошибка нередко достигала $\pm (7\div 10)\%$. Доложил на дирекции в присутствии заинтересованных в этих работах сотрудников ИБФ. И вдруг вопрос из зала: так плюс 5% или минус. Вглядываюсь – главный бухгалтер. Он поясняет: если плюс, то надо доплатить, а если минус, то пусть поставят недостающее количество. Я стою и думаю: неужели придется объяснять, что такое статистическая погрешность при счете числа импульсов? Спас положение Ю.Г. Григорьев - ученый секретарь ИБФ, впоследствии зав. Радиобиологическим отделом ИМБП. Он авторитетно сказал, что в данном случае так рассуждать нельзя.

В производстве тогда использовали пропорциональные счетчики на атмосферном воздухе для контроля загрязнения рук альфа-излучателями при выходе с производства. Плутоний-239 внутри организма очень опасен. При очень небольших изменениях в атмосфере (давление, влажность) счетчики или срывались в непрерывный разряд, или же переставали «чувствовать» альфа-частицы.

В то время для получения опорного напряжения в электроаппаратуре использовали стабилитроны на коронном разряде в аргоне. Подумалось, почему бы не сделать коронный стабилитрон на атмосферном воздухе и не запитать от него счетчик через делитель. Создал такую систему. Четыре месяца утром подходил к ней, укладывал на счетчик эталонный альфа-излучатель и включал тумблер питания. Счетчик давал в пределах статистической погрешности одно и то же число отсчетов независимо от атмосферных условий, не требуя никакой настройки. Я уже собирался подать заявку на изобретение и предложить внедрить его на всех атомных производствах, где работают с альфа-излучателями. Но мои коллеги в лаборатории в это время разрабатывали первый отечественный сцинтилляционный дозиметр с датчиком альфа-частиц и попросили повременить, а то у них срежут финансирование. К тому же работники на предприятии обнаружили, что если как следует распарить в производственном душе ладони, то поры на коже закроются, и альфа-частицы из ладоней перестанут вылетать, поскольку их пробег мал. Таким образом, счетчики плутоний на ладонях не обнаружат, и можно бежать домой, а уж дома потихоньку убирать его с кожи.

Учил основам дозиметрии и радиометрии трех прикомандированных к ИБФ специалистов из КНР. Двое совсем молодых, один, постарше, уже стажировался в США. В первый раз их привели, почему-то предварительно не предупредив. Видят лежащую на столе ламповую панель с вставленной радиолампой, с напаянными сопротивлениями, конденсаторами, проводами, идущими к блоку питания. Спрашивают: что это такое? Я отвечаю: усилитель с катодным повторителем. Они делают «большие глаза»... Я подключаю все к счетчику Гейгера - Мюллера, который уже был включен, и демонстрирую на экране осциллографа импульсы. Говорю: если хотите что-то быстро попробовать, незачем терять время, заказывать шасси, монтировать ламповые панели и все остальное. Были ошеломлены, особенно, тот, который стажировался в США. После окончания стажировки получал от них ежегодно поздравления с праздниками. Во время «культурной революции» поздравления приходиться перестали. И после тоже.

Некоторое время присматривал за изготовлением торцовых счетчиков с очень тонким окном из слюды для измерения препаратов с мягким бета - излучением. За месяц делалось 30 шт., после чего их отвозили к зам. министра здравоохранения СССР, и он распределял их по другим Институтам.

Выполнял обязанности ученого секретаря комиссии при ГлавАтоме по стандартизации в атомной науке и технике, участвовал в работе Конгресса Международной Организации Стандартизации - ИСО (Великобритания, г. Харрогейт,

1958 г), где СССР принял международный знак радиационной опасности. В дальнейшем участвовал в работах международной рабочей группы по стандартизации.

В 1958 г. в Издательстве иностранной литературы (ИЛ) переводилась с английского монография «Радиационная дозиметрия», титульные редакторы - Дж. Хайн и Г.Браунелл. Титульными редакторами перевода являлись к. ф.-м. н. Н.Г. Гусев и инж. К.А. Труханов (ученой степени я еще не имел). По планам ИЛ вторым титульным редактором предполагался член-корр. АН, проф. О.И. Лейпунский, но он в середине 1958 г. надолго заболел. Сроки издания были уже упущены. Три месяца я приезжал домой к 6-ти часам вечера, в 8 часов садился за редактирование, ложился спать в 3-4 часа, в 7 вставал, в 8 уезжал на работу. Как-то выдержал такой режим. Мы обменялись с Н.Г.Гусевым уже отредактированными частями, каждый просмотрел чужую.

А потом я сдавал ему кандидатский экзамен. Он задал вопрос по теме, с которой я никогда не сталкивался. Продумав положенных полчаса, я ответил. Он сказал, что знал, что я не знаком с этой тематикой, но хотел получить «свежий взгляд», и мой ответ был интересным, поэтому он будет принимать его во внимание при работе.

В 1959 г. в соавторстве с К.С. Калугиным, У.Я. Маргулисом и Л.Н. Успенским вышла монография «Практическое руководство по дозиметрии», Медгиз. К.С. был создателем первого в Союзе дозиметра (танкового), постоянно пропадал на ядерных испытаниях, куда его всегда сопровождал полковник из соответствующей организации с его паспортом и остальными документами.

На пересадке с поезда на поезд сопровождающий отлучился на минутку в магазин, оставив К.С. на скамейке, где уже кто-то сидел. Рядом шло получение подписей жителей под очередным письмом «За мир во всем мире». К.С. неосторожно заметил, что как-то слабо тут агитируют за мир. Сосед встал и ушел, а через минуту к К.С. подошел сотрудник милиции и попросил документы. Документов нет. Пройдемте! К.С. в милиции ничего не может сказать. Полковник вернулся и ..нет К.С... Неужели американцы украли... Трибунал... Стал спрашивать: тут человек сидел... А, какой-то подозрительный, без документов, беглый, что ли, его в милицию повели. Полковник кинулся в милицию и, увидев К.С., бросился к нему на шею, как к отцу родному. А второй соавтор – У.Я. Маргулис был корреспондентом фронтовой газеты и оказался в части, которая наступала на Освенцим. Они были первыми, кто вошел в этот лагерь смерти. Вернувшись в свою дивизию, он напечатал рассказ об Освенциме. Я узнал об этом, увидев где-то в конце пятидесятых – начале шестидесятых на первой странице «Недели» фото У.Я. и прочел его

рассказ о тогдашних событиях. Сам он никогда об этом не говорил. В мирной жизни У.Я. стал д. ф-м.н.

Получил в ГлавАтоме предложение поехать экспертом МАГАТЭ на строительство СССР ядерного центра в Египте. А.В. Лебединский, в то время директор ИБФ, не советовал. Если я буду предъявлять претензии к работе наших специалистов, то на меня обрушится поток жалоб от них, а если на что-то буду «смотреть сквозь пальцы», то от египтян. Тогда меня оформили экспертом МАГАТЭ в одно азиатское государство. Вызвали в ГлавАтом и сказали: все в порядке, не забудьте перед отъездом сдать партбилет. Видимо, я примелькался в ГлавАтоме, несколько раз был за рубежом в одиночку, поэтому никто не заглянул в мою анкету. Секунды на раздумья. Если промолчу, а потом где-то выплывет, что я не член партии и даже не кандидат, то у меня и у них будут очень крупные неприятности. А если скажу, то, конечно, никуда не поеду, а они что-нибудь придумают. Например, что я внезапно очень серьезно заболел, или очень серьезно заболела моя жена. Сказал. Немая сцена.

Приобщение к космическим полетам

ИБФ МЗ СССР охватывал проблемы радиационной безопасности достаточно широко. Возникли вопросы радиационной безопасности при будущих космических полетах. Тем более, что счетчик Гейгера - Мюллера на втором советском спутнике «захлебнулся» от перегрузки.

На приглашенном в ИБФ докладе (то ли из МИФИ, то ли из НИИЯФ МГУ) было подчеркнуто, что электронов с энергией несколько МэВ в околоземном пространстве не должно быть, а наблюдаемое явление свидетельствует о больших потоках электронов с энергией на порядок ниже. Хотя их пробег меньше толщины оболочки спутника, они создают в ней мощное рентгеновское излучение, от которого и перегружался счетчик. Такое положение представляло значительную радиационную опасность для пилотируемых полетов

Вечером уже дома подумалось, почему бы не установить вокруг спутника или обитаемого отсека будущего корабля изолированные от корпуса электроды и подать на них от бортового источника напряжение порядка нескольких сотен киловольт, создав электрическое поле, которое будет отклонять эти опасные потоки. Но понадобится заметная мощность, так как, во-первых, отрицательно заряженные электроды вызовут на себя ток положительных ионов космической плазмы, а во-вторых, появятся токи утечки с этих электродов вследствие эмиссии из них фотоэлектронов ультрафиолетом Солнца.

Значит, нужно прикрыть защитные электроды проводящей фольгой, отстоящей от них на некотором расстоянии. Из-за упомянутых процессов она будет находиться под потенциалом, близким к потенциалу окружающего пространства. А электрическое поле создавать между электродами и фольгой. При этом поле защиты сможет возникать, так сказать, само по себе, даже если источник высокого напряжения отключится или его вообще не будет. Действительно, потоки электронов с энергией в доли МэВ, проникая через фольгу, будут постепенно заряжать защитные электроды, пока напряжение на них не приблизится к максимальной энергии в спектре частиц. Защита будет как бы самозаряжаться. Быстро оценил дозы при наборе напряжения на электродах. Оказалось, что они невелики, то есть потоки электронов сами защитят космонавтов от себя.

Утром я поделился этими соображениями с Е.Е Ковалевым и И.Б Кейрим-Маркусом (известным специалистом по дозиметрии), которые в ИБФ отвечали и за космическую тематику. Мои соображения были восприняты с интересом и оценены. Я подал заявку на «Электростатическую защиту космических аппаратов». В 1962 г. было получено авторское свидетельство. Е.Е. Ковалев выделил мне в помощь для проведения работ Т.Я. Рябову, направленную в аспирантуру ИБФ из Киева.

Когда был создан ИМБП, в 1964 г. меня пригласили в него. Была организована группа, а затем лаборатория, и проведены работы по вакуумной электростатической защите. В частности, была исследована зависимость коэффициента вторичной эмиссии электронов от напряженности электрического поля, что важно при работе ЭСЗ в режиме самозарядки. В литературе такие данные отсутствовали. Был разработан оригинальный метод и создана установка. Результаты были доложены на престижной конференции по вакуумной электронике. Была начата разработка эксперимента по измерению токов и оценке возможной величины напряжения электрического пробоя в реальном вакууме вокруг спутника. Продуманы физико-технические основы исследования, подготовлены предложения к его включению в план космических экспериментов, начались работы по созданию соответствующей аппаратуры.

Планы космических экспериментов по радиобиологии поставили на обсуждение в дирекции. На заседании присутствовал Н.В. Тимофеев – Ресовский («Зубр»), которого после его нашумевшего увольнения из Обнинска пригласил советником О.Г. Газенко. Первым выступал Ю.Г. Григорьев, рассказавший о плане эксперимента с источником гамма-излучения на борту для выяснения, не меняется ли радиочувствительность в невесомости. Н.В. Тимофеев – Ресовский поинтересовался: на каких животных будет проводиться эксперимент? Ю.Г. ответил – на крысах. Н.В.: сколько же у вас будет

животных на точку? Ю.Г. ответил: одно – два. Следующий вопрос – а какая же будет точность, почему не с мышами? Ответ: у Биофизприбора нет систем с содержанием мышей на борту. Н.В. сказал: опыт должен быть либо хорошим, либо никаким. Ю.Г. объяснил, что даже 10-20 % ошибка позволит увидеть, будут ли существенные изменения (и вообще был прав – эксперимент был «пристрелочным»). Н.В.: опыт должен быть либо хорошим, либо никаким. О.Г. Газенко предложил эксперимент доработать.

Я докладываю с места об эксперименте по электростатической защите: что такое ЭСЗ и об оценке токов утечки в реальном вакууме около спутника. Гробовое молчание после завершения доклада. Пять секунд, десять, пятнадцать. Стою, думаю: может спросить, есть ли вопросы? И слышу голос Н.В.: ну, тут, кажется, все в порядке. Опускаюсь на место и чувствую пульс под 80.

О наших работах мне было предложено рассказать в Подлипках (теперь г.Королев) М.К. Тихонравову – одному из тех, кто в тридцатые годы занимался проблемой космических полетов с помощью ракетной техники. М.К. заинтересовался моим сообщением об ЭСЗ и сказал, что доведет его до сведения С.П. Королева.

Работа с диэлектриками.

Были начаты исследования возможности защиты от электронов, используя диэлектрики с внедренными в них отрицательными зарядами. Зарядка достигалась облучением на ускорителе. Диэлектрики разрабатывали в Институте стекла, г. Москва.

К этим работам я привлек В.В. Цетлина, который после окончания физфака МГУ пришел в лабораторию. Велась работа на ускорителях в Москве, в Томском государственном университете (зав. кафедрой О.Б. Евдокимов) и в Новосибирске – в ИЯФ (директор академик А.М. (Г.И.) Будкер). В ИЯФ ускоритель с энергией около 1,5 МэВ внедрял в образцы диэлектриков заряды, а затем измерялось обратное рассеяние электронов от этих образцов, что демонстрировало эффективность такой защиты.

Не могу не сказать несколько слов об А.М.Будкере. Это был гениальный физик. Он выдвинул замечательную идею встречных пучков заряженных частиц в накопителях (коллайдерах), а также ряд других замечательных идей. Специалисты по ускорителям в возможность осуществления встречных пучков не верили, а А.М. с сотрудниками ее с блеском реализовали. В.И. Векслер, предложивший идею синхрофазотрона и создавший первый в мире ускоритель, преодолевший «циклотронный тупик», почти полчаса простоял около окошка накопителя, смотря на свет, который изучали накопленные электроны, крутившиеся в нем. Об этом мне рассказал мой однокурсник Вениамин

Александрович Сидоров. Он и А.Н. Скринский были заместителями А.М. в ИЯФ. Перед этим В.А., как сотрудник Института атомной энергии, был послан И.В. Курчатовым на двухгодичную стажировку в Данию в Институт к Нильсу Бору.

Метод встречных пучков и его реализация на коллайдерах сейчас считаются основным в физике высоких энергий (ЦЕРН-Женева и другие). А.М. Будкер был к тому же блестящим организатором. Он добился включения в состав ИЯФ мощного завода с уникальными карусельными станками, на которых изготовлялись магниты накопителей. А.М. заинтересовался нашими экспериментами и пригласил меня для беседы. Одна из идей (ускорение частиц в газовой среде) его привлекла, он предложил остаться на полгода и реализовать ее в полном масштабе, создав небольшой ускоритель. В то время пытались ускорять электроны в плазме. Но после достижения электронами энергии нескольких кэВ все начинало уходить не на повышение их энергии, а на возбуждение ими колебаний плазмы. При ускорении сгустка частиц в газе это исключено.

Я сначала почувствовал себя «на седьмом небе», а потом задумался. Дома жена с двумя малышами, работает в серьезном институте, тоже с физфака; отец, недавно оставшийся одиноким; отпустят ли меня в ИМБП? Поблагодарил и отказался. До сих пор иногда думаю: правильно ли я поступил?

С В.В. Цетлиным были поставлены эксперименты на биологических спутниках. Благодаря интересу к ним сотрудников самарского «Прогресса» и хорошим отношениям с ними, удалось использовать для экспериментов уже имевшиеся специальные контейнеры. Их устанавливали снаружи спутников. На орбите контейнер открывался, и образцы подвергались воздействию факторов космического пространства. Перед спуском контейнер закрывался, сохраняя образцы внутри в космическом вакууме, поэтому в лаборатории открывать его нам было непросто. Заряд на диэлектриках, побывавших в космосе, сохранялся.

Работы по магнитной защите космических кораблей

Начались теоретические работы по возможности защиты экипажей космических кораблей от протонов и ионов высокой энергии с помощью сильных магнитных полей, отклоняющих эти частицы от обитаемого объема (магнитная защита – МЗ). Использование для этой цели ЭСЗ по многим причинам оказывается невозможным.

Большой объем теоретических работ по МЗ был выполнен совместно с Д.Х. Морозовым. В США работы по МЗ, как правило, сводились к нахождению запрещенных для заряженных частиц зон, возникающих в тех или иных конфигурациях магнитных

полей (надо заметить, что они первыми начали работы по МЗ, но с фантастических предложений – «плазменной защиты»). Нами была предложена модифицированная конфигурация магнитной сверхпроводящей системы «коаксиал» и впервые выполнены расчеты зависимости величин доз за ней от величины магнитного поля. Эта величина определяет характеристики и массу сверхпроводников МЗ, а также массу конструкций, компенсирующих силы, возникающие между электрическими токами в них. Были выполнены оценки массы МЗ для некоторых случаев радиационной обстановки при дальнем полете.

Во внутреннем объеме системы «коаксиал», предназначенной для обитаемого объема корабля, сильное магнитное поле отсутствует. Было впервые показано, что в активной защите обоих типов существует такое необычное явление, как захват заряженных частиц. Частица, «пробившая» защиту и прошедшая сквозь корабль, потеряв при этом часть своей энергии, в некоторых случаях не может выйти с другой стороны защиты, так как ее энергии для этого уже недостаточно. Поле активной защиты заворачивает ее обратно. Процесс может повторяться вплоть до полной остановки частицы. Оказалось, однако, что частиц с такими траекториями в предполагаемых конфигурациях защиты очень мало, и заметного вклада в дозы они не вносят.

В это время мы начали сотрудничать с Институтом Атомной Энергии (отдел криогенных систем и физики твердого тела, а также отдел термоядерного синтеза). Начать с того, что в термоядерном синтезе требуется не выпускать частицы из объема, а при защите – не впускать. У одного из известных физиков ИАЭ – И.Н. Головина был поставлен мой доклад по проблеме магнитной защиты космических кораблей. Представляя меня, И.Н. сказал: мы тут работаем над тем, чтобы у каждого в доме был свет и тепло, чтобы по улицам ходил электрический транспорт, чтобы по стране бежали поезда, чтобы на заводах крутились станки. А зачем вы рветесь в космос? Я не ожидал вопроса, но ответил. Сказал, что не буду говорить, зачем нужен пилотируемый космос. Но мы работаем над тем, чтобы космонавты не получили в космосе лучевую болезнь, возможно, со смертельным исходом. Чтобы после возвращения у них рождались здоровые дети и чтобы после полета, и, возможно, не одного, они еще много-много сделали. И.Н. был удовлетворен сказанным, и я начал доклад.

В ИАЭ для ИМБП спроектировали и сделали стенд, моделирующий работу магнитной защиты. В то время еще не было компьютеров, которые могли бы выполнить такие оценки. В лаборатории была создана экспериментальная база с вакуумными установками (достигнутый вакуум 10^{-6} мм. рт. ст. считался тогда высоким), импульсным

генератором на 500 киловольт, электронной пушкой на сто киловольт для моделирования процессов зарядки ЭСЗ и другой аппаратурой. В создании этой базы большое участие приняли В.В. Цетлин и Т.Я Рябова.

В Атомиздате мне предложили подготовить монографию «Активная защита космических кораблей». Я привлек Т.Я. Рябову и Д.Х. Морозова в качестве соавторов. Монография вышла в 1970 г. и до сих пор, как будто, остается единственной в мировой литературе. Т.Я. Рябова (научные руководители Е.Е. Ковалев и К.А. Труханов) защитила кандидатскую диссертацию в физико-техническом Институте имени А.Ф. Иоффе (Ленинград). Д.Х. Морозов (научные руководители те же) защитил кандидатскую диссертацию в НИИЯФ МГУ.

ИМБП посетил директор НИИЯФ МГУ академик С.Н. Вернов. По свидетельству ныне покойного Л.Н. Смиренного, сопровождавшего его в отделе Е.Е. Ковалева, наши работы произвели на него большое впечатление. В НИИЯФ МГУ было создано направление «Электризация космических аппаратов» и начаты работы по магнитной защите от протонов и тяжелых ионов космического излучения.

В результате ряда повторных космических экспериментов, в том числе, по непосредственному измерению величин токов электронов специальными ловушками (К.И. Грингауз и др.), выяснилось, что в околоземном пространстве больших потоков электронов с энергией в доли МэВ, вообще нет. Завершились и долгие споры теоретиков по этому вопросу. Есть сравнительно небольшие потоки электронов с энергией несколько МэВ, которые могут проникать сквозь оболочку спутника и непосредственно воздействовать на счетчик.

Создавать в космосе ЭСЗ с напряжением несколько мегавольт не просто и, главное, нет необходимости. Такие электроны будут задерживаться корпусом космического корабля (станции), причем возникающее при этом жесткое электромагнитное (тормозное) излучение крайне незначительно. Поэтому я охладел к ЭСЗ. И почти две трети монографии «Активная защита космических кораблей» представляют сейчас, в основном, исторический интерес. Однако в чрезвычайных ситуациях при ядерных взрывах на низких околоземных орбитах космосе (не дай, Бог!) и возникновения искусственных радиационных поясов из электронов, испускаемых продуктами распада урана или плутония, ЭСЗ может оказаться эффективной. В упомянутой монографии эта возможная ситуация была затронута. Но, по-видимому, в подобной обстановке будет не до запусков спутников с ЭСЗ и, тем более, пилотируемых кораблей.

В обычной ситуации защищаться надо от протонов и тяжелых ионов высокой энергии. ЭСЗ от них по многим техническим причинам реализовать практически невозможно. И, вдобавок, это будет «защита, опасная для своих», поскольку электроны, так или иначе попавшие в нее, будут ускоряться до высокой энергии и облучать обитаемый объем. Руководство экспериментами по ЭСЗ взял на себя Е.Е. Ковалев. Лаборатория, которой я руководил, была расформирована, Аргументировалось это тем, что магнитная защита - дело будущего, поскольку для нее еще не созданы соответствующие сверхпроводящие и конструкционные материалы, не говоря уже о криогенной технике. Да и время для реальных проектов дальних космических кораблей еще не настало. Через некоторое время лаборатория была восстановлена под руководством Т.Я. Рябовой. Изготовление очередных образцов аппаратуры для экспериментов по ЭСЗ продолжалось, осуществлялись и ее запуски в космос на борту биологических спутников.

Космическая биофизика

Я переключился на проблемы космической биофизики, которой уже занимался. Через некоторое время в ИМБП была организована соответствующая лаборатория под моим руководством. Теоретические вопросы магнитной защиты продолжал разрабатывать в одиночку, привлекая к этим вопросам время от времени некоторых сотрудников НИИЯФ МГУ. Надо сказать, что сравнительно недавно в литературе стали появляться настойчивые вопросы, не пора ли вернуться к разработке проектов магнитной защиты. Более того, в ЦЕРН уже велись проф. Роберто Баттистоном, в то время президентом космического агентства Италии, исследования по разработке реальной магнитной защиты. Он запросил у И.Б. Ушакова, тогда директора ИМБП, разрешения включить меня в состав его коллаборации. И.Б. такое разрешение дал, и в течение двух лет мне присылались для анализа отчеты по некоторым направлениям работ.

Чем привлекает защита от космических лучей с помощью сильных магнитных полей? Этот вопрос обсуждался уже в монографии «Активная защита космических кораблей». В земных условиях защита от ионизирующего излучения обеспечивается веществом. Но в космосе из-за очень высокой энергии протонов галактических космических лучей в веществе защиты происходят ядерные реакции. В результате появляются вторичные частицы, в частности, быстрые нейтроны, обладающие в десятки раз большим биологическим действием, чем, например, рентгеновское или гамма-излучение. Чем больше толщина защиты, тем, как правило, все большую долю в

суммарную дозу вносит вторичное излучение. И она может даже существенно расти по сравнению с начальной, достигать максимума и затем медленно снижаться при еще больших толщинах вещества. К тому же характеристики защиты веществом определяются его неизменяемыми ядерно-физическими свойствами: потенциалами ионизации, сечениями ядерных реакций и т.п. А характеристики магнитной защиты определяются, в основном, свойствами сверхпроводников и свойствами конструкционных материалов, которые должны выдерживать очень большие силы, возникающие между токами, текущими в защите. А также совершенством криогенных систем, поддерживающих низкую температуру в сверхпроводящей системе.

Сейчас уже созданы высокотемпературные сверхпроводники с большой величиной критического тока, а также конструкционные материалы, свойства которых намного превосходят свойства прежних. Обсуждается возможность создания из этих новых материалов космического лифта. Совершенствуются криогенные системы. Причем все это делается не столько для космоса, сколько в общетехническом плане, открывая совершенно новые горизонты в самых разных областях техники. Конечно, есть некоторые принципиальные ограничения, диктуемые законами природы, например, КПД криогенных систем при сбросе отведенного от сверхпроводящей системы тепла, проникшего в нее через теплоизоляцию, инфракрасным излучением в космическое пространство. Такая же проблема сброса тепла возникает при работе в космосе ядерных реакторов.

Можно ожидать, что в недалеком времени магнитная защита от галактических и солнечных космических лучей, начнет становиться более реальной. Но придется столкнуться с рядом проблем, которые сейчас даже не затрагиваются. Так, например, в магнитном поле защиты дальних кораблей будет накоплена значительная энергия. Для обитаемого объема порядка нескольких сотен кубометров (кабина - диаметр 4 м, длина 10 м) в переводе на привычный язык киловатт-часов энергия поля будет составлять десятки мегаватт-часов. В случае внезапного прерывания тока в сверхпроводящей системе (например, из-за попадания микрометеорита) необходимо быстро и безопасно отвести эту энергию в специальный сверхпроводящий накопитель. Или делать МЗ из многих отдельных «недогруженных» секций, чтобы при выходе из строя одной из них соседние «подхватили» бы ее ток. Однако при этом в обитаемый объем из-за создавшейся асимметрии магнитной системы проникнет заметное магнитное поле, что может привести к нежелательным последствиям и для оказавшихся там членов экипажа, и для аппаратуры. К тому же при резком изменении величины магнитного поля будут

возникать электрические поля, которые также могут воздействовать не только на аппаратуру, но и на экипаж. В системе должен циркулировать хладагент – газ, а не жидкость, чтобы при попадании микрометеорита не случилось эффекта пули, пробившей стенку бочки с водой, в результате чего та, как известно, рассыпается.

В работах по магнитной защите, которая выполнялась под руководством проф. Р. Баттистона, показано, что из сверхпроводящих и конструкционных материалов магнитной защиты все же идет заметное вторичное излучение. Была разработана «прозрачная для частиц» конфигурация МЗ.

Проблема «вспышек в глазах» в космосе.

Появление зрительных ощущений при прохождении через сетчатку глаза астронавта заряженных частиц с высокой плотностью ионизации (или, иначе, с высокой линейной передачей энергии – ЛПЭ) предсказал еще до полетов в космос профессор К. Тобайес. Впоследствии он длительное время руководил медицинской службой НАСА.

Впервые о «вспышках в глазах» в космосе сообщил Базз Олдрин - второй человек, ступивший на поверхность Луны. Он начал ощущать «вспышки» в затемненном отсеке Аполлона-11, когда корабль еще только летел к ней. Но не поделился своими наблюдениями ни с руководством полетом, ни с Н. Армстронгом и М. Коллинзом. На обратном пути он все же рассказал о «вспышках» членам экипажа. Они сказали, что у них тоже возникали такие ощущения. Н. Армстронг предложил промолчать. Однако Б. Олдрин после приземления все же сообщил о своих наблюдениях. Это вызвало сенсацию: астронавты видят космические лучи!

При дальнейших полетах по программе «Аполлон» и в экспериментах на ускорителях с участием добровольцев были проведены исследования явления. Частота возникновения «вспышек» в лунных миссиях была около 0,5÷2 события в минуту. Один из астронавтов, участвовавших в наблюдениях, не ощутил вспышек вообще. Позже он признался, что плохо видит ночью. В литературе неоднократно возникал вопрос, почему при полетах по околоземным орбитам не сообщалось о «вспышках в глазах». Склонялись к тому, что астронавты были перегружены работой, к тому же отсутствовала темновая адаптация (она считалась обязательной), «вспышки» были редки и, конечно, не было желания привлекать внимание к каким-то своим необычным ощущениям.

Впоследствии выяснилось, что «вспышки» нередко вызывали беспокойство и раздражение астронавтов и космонавтов, препятствовали отдыху и отходу ко сну, иногда мешали различать информацию на экранах мониторов компьютеров. Были отмечены

некоторые аналогии в воздействии космических заряженных частиц с высокой плотностью ионизации на сетчатку и на изделия микроэлектронной техники.

В исследования по проблеме «вспышек в глазах» меня вовлек Ю.А. Акатов. Отдел 10 обязан ему созданием службы индивидуальной дозиметрии космонавтов, разработкой шарового фантома человека с дозиметрами, проведением с ним дозиметрических исследований в космосе и многим другим. При проведении исследований дозиметрической обстановки на борту самолетов на больших высотах (в том числе, на ТУ-144) Ю.А. организовал наблюдение «вспышек в глазах».

В ТУ-144 разложили кресло, техник лег, натянул на лицо шапочку и закрыл глаза. Из кабины летчиков вышел командир, прошел в хвост, вернулся и обратился к руководителю экспедиции ИМБП: «Вы знаете, сколько стоит полет? А у Вас сотрудник в это время спит!» Руководитель ответил: «Это не мой сотрудник. Это сотрудник Ю.А. Акатова». Командир обратился к Ю.А., который спросил: а почему Вы решили, что он спит? Командир сказал: но я же вижу! Ю.А ответил: он не спит, а наблюдает с закрытыми глазами световые вспышки, которые вызывают космические лучи, проходящие через глаза. Командир вернулся в кабину, а на разборе полета на земле возмущенно заявил руководителю экспедиции: «Если в следующих полетах ваши сотрудники устроят цирк с дрессированными животными или начнут ходить на руках, я не скажу ни слова. Потому что не хочу, чтобы мне «вешали лапшу на уши», спасая нерадивого сотрудника от выговора!». А наблюдения вспышек на борту под не очень толстым слоем остаточной атмосферы дали интересные результаты, которые потом были опубликованы.

Исследователи в США пытались провести такие наблюдения при полетах пассажирских самолетов над Атлантикой, но безрезультатно.

В литературе зрительные ощущения в космосе сразу же связали с воздействием тяжелых ионов высокой энергии на фоторецепторы (палочки) сетчатки. Свой вклад вносит также излучение Вавилова-Черенкова в таких средах глаза, как хрусталик и стекловидное тело. Однако удовлетворительные объяснения возникновения и особенностей зрительных образов «полосок», не говоря уже о «сверхновых», отсутствовали.

Я выдвинул предположение, что ощущение полосок обусловлено воздействием частиц с высокой плотностью ионизации на *нервные волокна сетчатки*, т.е. на аксоны ганглиозных клеток, образующие на выходе из глаза зрительный нерв. В сетчатке аксоны, как показал еще Рамон-и-Кахаль, располагаются друг под другом, образуя слоистую структуру. При прохождении ионов высокой энергии через этот слой аксоны могут быть

блокированы или же, наоборот, возбуждены, например, вследствие высокой ионизации нервного волокна, возникновения в треке частицы акустической ударной волны и т.п. причин. В обоих случаях это будет восприниматься как ответ фоторецепторов-палочек на подсветку глаза полоской света.

Ощущение «сверхновых», т.е. очень ярких, медленно гаснущих «вспышек», по-видимому, обусловлено повреждением клеток, выделяющих медиатор. В литературе объяснения их появления отсутствовали.

Мной было проведено математическое моделирование возникновения зрительных образов при пересечении слоя аксонов заряженной частицей с использованием анатомической модели глаза. Это позволило объяснить большую долю полосок (около четверти) среди всех «вспышек в глазах», а также, почему направления полосок близки к личной горизонтали космонавта независимо от его положения в корабле. Эта особенность «полосок» почему-то не привлекала внимания. Предложенный механизм объясняет и кажущееся парадоксальным быстрое движение (или «распространение») полосок в поле зрения, причем по направлению справа налево или слева направо. Наблюдениям астронавтами этого явления долго не верили и не находили никакого объяснения. Нужно сказать, что для ощущения зрительного образа «полосок» не требуется темновая адаптация, поскольку это не связано с фотобиологическими процессами.

Астронавт ЕКА швед Кристер Фуглесанг посетил в свое время несколько раз ИМБП, и мы с ним обсуждали проблему зрительных ощущений в космосе. Я обратил его внимание на некоторые особенности вспышек. Впоследствии он составил вопросник примерно с пятьюдесятью вопросами и разослал его астронавтам, которые наблюдали «вспышки в глазах» в околоземных полетах. На каждый вопрос было предусмотрено по 5-6 вариантов ответа. Заполненный экземпляр вопросника мне переслали из МИФИ. Ответы подтверждают правильность выдвинутой гипотезы вплоть до того, что некоторые астронавты наблюдали вспышки в отсутствие темновой адаптации.

Из-за протяженности нервного волокна в сетчатке (в среднем около $8 \cdot 10^3$ мкм) его поперечное сечение для частиц космических лучей более, чем на два порядка превосходит поперечное сечение отдельного взятого фоторецептора. Каждая ганглиозная клетка передает через свой аксон обобщенную информацию от сотен и более фоторецепторов-палочек. Повреждение слоя нервного волокна эквивалентно повреждению десятков тысяч палочек. Зрительные образы полосок схожи с картинками выпадений в поле зрения при травматическом повреждении групп нервных волокон сетчатки. Все это заставляет по-

иному оценивать радиационную опасность для сетчатки и возвращает нас к высказыванию К. Тобайеса, что при космических полетах сетчатка может явиться одной из критических структур.

Мне посоветовали обратиться с этими идеями к директору Института Высшей нервной деятельности академику И.А. Шевелеву. Он сказал, что изложенные мной соображения ему кажутся интересными и убедительными. Я попросил у него совета, к кому обратиться дальше. Он посоветовал - к академику М.А. Островскому, добавив, что порекомендует меня ему. Я созвонился с М.А. и подъехал в ИБХФ. Спросил, сколько времени он может мне уделить. Он ответил: сколько понадобится, столько и будем разговаривать. Проговорили больше двух часов. В результате договорились о постановке исследований на пучке дейтронов циклотрона НИИЯФ МГУ с изолированной сетчаткой и зрительным белком родопсином. Для участия в экспериментах М.А. выделил высококвалифицированных сотрудников своей лаборатории: П.П. Зака и И.Б. Федорович. На кафедре биофизики биофака МГУ профессор Ю.В. Максимов выделил для участия в экспериментах сотрудницу своей группы Т.А. Бриндикову, которая проявила себя как блестящий исследователь. В НИИЯФ МГУ в проведении работ на циклотроне очень большой вклад внесли А.В. Спасский и В.М. Лебедев.

Все работы с родопсином и сетчаткой (травяная лягушка), включая подготовку препаратов, их установку перед ионопроводом ускорителя и облучение, проводились при очень слабом красном свете. Изолированная сетчатка поддерживалась в действующем состоянии раствором Рингера для холоднокровных. В результате экспериментов было впервые показано, что родопсин под воздействием тяжелых заряженных частиц (дейтронов) из ускорителя, моделировавших воздействие ядер космического излучения от углерода до магния, претерпевает те же изменения, что и под действием видимого света. Воздействие одного дейтрона в условиях опыта было эквивалентно воздействию нескольких тысяч квантов видимого света. Были также подготовлены и проведены эксперименты по облучению дейтронами изолированной сетчатки. Находившуюся в облучательском зале в темноте сетчатку подсвечивали между импульсами ускорителя слабыми импульсами светодиода, чтобы сопоставлять ее реакцию на дейтроны и на свет.

При проведении экспериментов было немало трудностей. Вот некоторые из них. Мощные электрические наводки от ускорителя на кабель, передававший электрические сигналы сетчатки из облучательского в измерительный зал. В момент сброса ускорителем сгустка дейтронов на сетчатку они были особенно велики. Электрическими фильтрами их удалось убрать, не ослабляя сигналов сетчатки. Нестабильный ток раствора Рингера при

подпитке им сетчатки вызывал «прыжки» луча осциллографа при регистрации электроретинограмм. Облучение в течение 10-12 мин при мощности дозы около 1 Гр/сек приводило к необратимому повреждению сетчатки.

После всех усилий на экране осциллографа, наконец, появилось изображение, похожее на электроретинограмму. Может быть, очередная наводка? Я предложил включить свет в экспериментальном зале. Если это ответы сетчатки, то они должны из-за ее засветки сильно уменьшиться или совсем исчезнуть. Включили. Характерные сигналы на экране осциллографа исчезли! Я помчался к М.А. с известием, что впервые в мире при облучении изолированной сетчатки тяжелыми заряженными частицами получена электроретинограмма. Форма фотонных и дейтронных электроретинограмм оказалась схожей.

Потом П.П. Зак, которого подключил к этим работам М.А. Островский, а также А.В. Спасский, В.М. Лебедев и я дружно убрали всякие «мелочи». Например, очень слабую подсветку сетчатки светодиодом во время импульса ускорителя из-за рассеяния дейтронов в слое воздуха между «окном» ионопровода и сетчаткой и тому подобное.

Была направлена статья в Доклады Академии Наук с сопроводительным письмом академиков А.И. Григорьева и М.А. Островского о быстрой ее публикации, чтобы не потерять приоритет. Французские исследователи уже получили ответ сетчатки крысы на облучение рентгеновскими импульсами и в своей статье написали, что теперь могут работать с любым ионизирующим излучением, подразумевая тяжелые ядра высокой энергии. Время шло, а статью для правки не получаем и не получаем. Поехал в редакцию. Там круглые глаза: какое письмо академиков?! Оказалось, что в экспедиции его не приложили к статье. Письмо нашли, статью спешно опубликовали. М.А. Островский потом мне сказал, что на нее было очень много ссылок. А статья французских исследователей об исследованиях на тяжелых заряженных частицах так и не появилась. По-видимому, они столкнулись с теми трудностями, которые наш коллектив успешно преодолел.

В 1996 году был проведен большой советско-итальянский эксперимент по исследованию зрительных ощущений в космосе. Он был выполнен на орбитальном комплексе «Мир» космонавтом С.В. Авдеевым. С советской стороны в эксперименте принимали участие специалисты ИМБП Ю.А. Акатов, К.А. Труханов и др., а от МИФИ - А.М.Гальпер и др.

В Италии была создана достаточно сложная установка, основным элементом которой являлся телескоп из полупроводниковых стриповых (т.е. в виде решетки из

перекрещивавшихся полосок) детекторов космического излучения. Он устанавливался на шлеме перед глазом космонавта и позволял регистрировать место попадания частицы в глаз, а также ее энергию и заряд. Одновременно космонавт диктовал в микрофон, какой зрительный образ он ощущает. Запись потом сверялась с координатами на орбите станции МИР. Этот эксперимент дал очень ценную информацию о зрительных образах «вспышек» и о том, какие частицы их вызывают. Был подготовлен доклад на Ассамблее КОСПАР. В нашем докладе среди результатов упоминалось, что в следующей, более сложной установке, было бы целесообразно записать энцефалограмму при появлении зрительного образа. Итальянцы так и сделали, но на нас не сослались. С.В. Авдеев был приглашен на эту Ассамблею с докладом.

На орбитальной станции МИР был запланирован еще один эксперимент по наблюдению вспышек, но уже итальянским космонавтом. Встретиться с ним оказалось возможным только за день до его отправки на космодром. Я захватил с собой прозрачку с изображением разных зрительных образов, но во время беседы понял, что он не подготовлен. После полета мы снова встретились, но на мои вопросы, что вы наблюдали, он отвечал неуверенно. К тому же оказалось, что сидевший рядом с ним астронавт из ЮАР все время включал свет и записывал показания аппаратуры, с которой работал. Видимо, итальянских физиков больше интересовали энергетические спектры частиц, которые регистрировала установка, а зрительные образы представляли второстепенный интерес.

Проблема электромагнитной безопасности при космических полетах.

Эту проблему можно разделить на три части:

1. При полетах в окололунном пространстве, в дальнем космосе, при пребывании на поверхности Луны и Марса человек и биологические элементы СЖО окажутся в магнитных полях, которые на три-пять порядков ниже привычного геомагнитного (ГМП).

2. Полеты в околоземном пространстве сопровождаются вариациями уровня ГМП на борту из-за изменения геомагнитных координат при движении пилотируемого объекта по орбите, а также из-за возмущений в магнитосфере Земли.

3. Воздействие на человека электромагнитных полей (ЭМП) систем и аппаратуры пилотируемых космических кораблей, а также систем и оборудования будущих напланетных баз.

Рассмотрим каждую из них последовательно.

1. До начала наших работ магнитобиологические исследования в России велись применительно к промышленным и бытовым условиям пребывания человека. Было

показано, что ГМП, ослабленное всего в 5-10 раз, неблагоприятно действует на организм. Особенно страдает нервная система. Наблюдается дисбаланс основных нервных процессов в виде преобладания торможения, удлинения времени реакции в режиме аналогового слежения и т.п. (Походзей Л.В. и др.). Гипомагнитные условия (ГМУ) отрицательно воздействуют также на сердечно-сосудистую, костно-мышечную, иммунную системы, систему крови и другие (Походзей Л.В. и др., Никитина В.Н. и др.).

В России впервые в мировой практике были приняты ограничения на предельные величины ослабления ГМП по сравнению с его величиной на местности (СанПиН 2.1.8/2.2.4.2489-09):

- в жилых и общественных зданиях - не более 1,5 раз;
- на рабочем месте при ослаблении ГМП не более 2 раз разрешена работа полную смену;
- при ослаблении ГМП от 2-х до 4-х раз разрешена работа не более двух часов.

Отечественные и зарубежные исследования на живых системах, предпринятые как для подтверждения воздействия ГМУ, так и для продвижения в понимании происходящих при этом фундаментальных процессов, также свидетельствовали, как правило, об отрицательных эффектах воздействия ГМУ, особенно, на ранних стадиях развития организмов.

Пятидневная экспозиция личинок японского тритона в сниженном на четыре порядка ГМП приводила в дальнейшем к неправильному формированию позвоночника, глаз и другим отличиям (Асашима М. и др.). Наблюдались парезы ног и крыльев у 20-40 % цыплят, вылупившихся в ГМП, ослабленном более чем в 500 раз (Казначеев В.П.). Останавливалось развитие двухклеточных зародышей мыши в поле, ослабленном в 250 раз (Осипенко М.А. и др.).

В Институте биофизики при ТГУ (г. Томск) при моем участии были поставлены исследования на самцах белых крыс, но уже применительно к проблемам космонавтики. Они проводились в условиях воздействия на биообъекты ГМП, ослабленного в семьсот-тысячу раз, т.е. «жестких» ГМУ. Менялось поведение самцов крыс: резко повышалась их агрессивность, возникали проблемы с памятью, изменялись биоритмы и т.п. (Кривова Н.А. и др., Замощина и др.). Результаты получены впервые.

Исследования воздействия ГМП, ослабленного до ста раз, на развитие эмбрионов японского перепела, выполненные в ИМБП РАН (Гурьева Т.С. и др.) совместно с НИИЯФ

ГМУ, показали, что страдает не только сердечно-сосудистая система, но и другие системы организма, в том числе, репродуктивная. В последующих поколениях эти особенности наследуются, даже если перепела находятся в обычном поле Земли (Гурьева Т.С. и др.). Такие результаты получены впервые. При создании систем жизнеобеспечения с биологическими элементами (БСЖО) для дальних пилотируемых космических кораблей и для баз на небесных телах, не имеющих магнитного поля, это необходимо принимать во внимание.

Достаточно убедительных объяснений механизмов воздействия ГМУ пока нет. Имеется некоторое продвижение в этом направлении, хотя авторы нередко используют принципиально не согласующиеся подходы. В некоторых случаях при моделировании совместного воздействия на живые системы ГМУ и других факторов космического полета проявился синергизм, казалось далеко стоящих по своему существу воздействий. Так, исследователи в КНР показали, что при одновременном воздействии ГМУ и моделируемой невесомости ускоряется потеря минеральных веществ из костной ткани (Bin Jia).

При проращивании в ГМУ семян салата, предварительно облученных заряженными частицами с высокими величинами ЛПЭ, в клетках обнаружилось в разы больше хромосомных aberrаций по сравнению с семенами, прораставшими в ГМП (Платова Н.Г и др.). Имеет место синергизм.

При одновременном воздействии на эмбрионы японского перепела ГМУ и переменного магнитного поля 50 Гц с величиной порядка остаточного ГМП в установке с ослаблением ГМП порядка ста раз выявились более существенные nežелательные эффекты по сравнению с воздействием только ГМУ (Гурьева Т.С.и др.). Имеет место синергизм. Оба последних результата получены впервые.

Уровень ГМУ в межпланетном пространстве непостоянен, зависит от процессов на Солнце и может заметно меняться. Между тем, биологическому действию ГМУ, как оказалось, свойственна полиэкстремальная зависимость от величины ослабления ГМП. Этим объясняются многие нестыковки в результатах разных авторов, проводивших, казалось бы, одинаковые эксперименты по воздействию ГМУ. Нельзя говорить о результатах экспериментов, не указывая точно величины начального и остаточного ГМП в установке. На эту особенность, по-видимому, общую, воздействия ГМУ, впервые мной было обращено внимание экспериментаторов на Международной Конференции «Влияние космической погоды на человека в космосе и на Земле». М., ИКИ, 2013 г.

По-видимому, именно полиэкстремальным характером зависимости эффектов

биологического воздействия ГМУ можно объяснить результаты известного американского магнитобиолога Д. Байшера. Он не обнаружил в своих исследованиях перед лунными миссиями «Аполлон», а также и ранее, заметных изменений в состоянии организма добровольцев, на которых в течение 10 суток действовало ослабленное на три порядка ГМП.

Проблема длительного пребывания космонавтов в ГМУ и воздействия ГМУ на биологические элементы СЖО оказывается весьма значимой. Данные об эффектах воздействия на человека непрерывного и длительного (десятки дней, месяцы и более) пребывания в «жестких» ГМУ вообще отсутствуют. Даже возможное существенное сокращение сроков межпланетных полетов за счет создания принципиально новых энерго-двигательных систем не снимет проблемы воздействия ГМУ космоса на экипаж и биологические элементы СЖО пилотируемого корабля и баз на Луне и на Марсе.

Одно из возможных решений этой проблемы заключается в создании в обитаемом объеме, а также в СЖО искусственного аналога ГМП. Предпочтительно использование для этого электромагнитных соленоидальных систем, которые, как показывает анализ, будут обладать небольшой массой и невысоким энергопотреблением (Луганский Л.Б., Труханов К.А.). Использование для этого постоянных магнитов по многим причинам, на которых здесь не будем останавливаться, нецелесообразно.

С помощью электромагнитных систем в обитаемом объеме можно создавать колебания, имитирующие, например, регулярные пульсации и шумановские резонансы, присутствующие в ГМП и, по-видимому, имеющие биологическую значимость. Можно также создавать колебания, соответствующие тем частотам, которые при заданном уровне аналога ГМП будут «успокаивающими» для космонавтов (Кривова Н.А., Труханов К.А.).

Л.Б. Луганским (ИФП РАН) и мной рассмотрен в качестве примера коллективный аналог ГМП в цилиндрической кабине дальнего корабля. Полная длина кабины - 32 м, диаметр - 4 м. Количество витков («обручей» с током) -10, ширина каждого – 1 м, толщина – единицы мм и тоньше. Масса витков из алюминия около ста кг. Энергопотребление системы меньше 100 Вт при поддержании в кабине величины поля около 50 мкТл (поле в московском регионе и, по странному совпадению, близкое к нему поле на мысе Канаверал). Можно существенно снизить энергопотребление (почти в четыре раза), выбрав величину аналога ГМП, например, как на экваторе или в Южно-атлантической аномалии (Аргентина, Бразилия).

Как показали проведенные нами проработки, в скафандрах для работы на поверхности Луны и других небесных тел возможно создание индивидуальной системы

аналога ГМП. Созданы действующие макеты таких электромагнитных систем (удлинённый жилет – «кираса» и шапочка-наголовник). Напряжение питания макетов – около 0,2 В., т.е. совершенно безопасное, потребление энергии – около 0,4 Вт, масса – около 0,3 кг, магнитное поле – около 50 мкТл. Был получен патент России (авторы - Лебедев В.М., Спасский А.В. (НИИЯФ МГУ), Труханов К.А., ИМБП, 2015).

В некоторых случаях возможно использование индивидуальных систем аналога ГМП вместо коллективной защиты космонавтов от ГМУ (например, на окололунной пилотируемой станции). Потребуется проведение углубленных медико-биологических и инженерно-физических исследований для выбора оптимальных параметров и режимов работы аналогов ГМП и их апробация с моделированием ГМУ космоса. Следует подчеркнуть, что проблема биологического действия гипомагнитных условий имеет не только практическую, но и фундаментальную научную значимость. Она затрагивает такие вопросы, как воздействие на биосферу Земли инверсий ГМП, наличие жизни на небесных телах, не имеющих магнитного поля, а также проблему панспермии, поднятую еще Сванте Аррениусом. Отметим, что инверсии магнитного поля не было уже около восьмисот тысяч лет, хотя по палеомагнитным данным их период составлял двести-триста тысяч лет. Как известно, на внешней поверхности спутников Земли находили живые микробиообъекты. Но спутники, даже на далеких синхронных орбитах, находятся в лишь незначительно ослабленном ГМП.

2. Воздействие на космонавтов вариаций уровня ГМП на борту при околоземном полете. Они значительны и, например, для углов наклона орбиты порядка 50 градусов достигают уровня десятков мкТл, что на порядок и более превосходит даже такие магнитные бури, которые случаются один раз в несколько лет. Спектр этих вариаций несколько отличается от спектра колебаний у бурь. Воздействие этих вариаций и возмущений магнитосферы на систему вегетативной регуляции кровообращения космонавтов на орбитальном комплексе «МИР» показано в работе (Баевский Р.М. и др.).

Наиболее эффективный с физической точки зрения способ коллективной компенсации этих вариаций, по-видимому, состоит в следующем (Труханов К.А.). В обитаемом цилиндрическом объеме устанавливается соленоидальная магнитная система, схожая с системой для межпланетного корабля, но значительно меньшей мощности. Создается магнитное поле вдоль оси, величиной которого управляет трехкомпонентный магнитометр, находящийся в этом объеме. Суммарный вектор ГМП и магнитной системы поддерживается в ней током на уровне, несколько превышающем максимальный уровень ГМП на орбите. В результате при движении по орбите он не меняется по величине и лишь

несколько меняется по направлению. Средняя мощность, требуемая для поддержания постоянного уровня поля на борту, составляет около половины мощности, требуемой на магнитном экваторе. Можно заменить коллективную систему компенсации вариаций ГМП на околоземной орбите индивидуальными системами аналога ГМП. Они будут сложнее систем для компенсации ГМУ, но ненамного. Меняющийся по величине и направлению вектор ГМП на орбите и аналог ГМП внутри «кирасы» суммируются как вектора, т.е. с учетом угла между ними. Ток в «кирасе», управляемый магнитометром, при компенсации автоматически достигает величины, при котором значение суммарного модуля вектора ГМП и поля «кирасы» соответствует заданной величине аналога ГМП. Аналогично должно обстоять положение и с низковольтным током в шапочке - наголовнике (Труханов К.А.). Питание от сменного мини - аккумулятора. Суммарное энергопотребление этих систем при их использовании экипажем будет несопоставимо с энергопотреблением системы коллективной компенсации.

Таким образом, предложены, технически обоснованы и частично уже промоделированы биоинженерные пути решения проблем компенсации воздействия гипомагнитных условий в космосе, также вариаций уровня ГМП на борту и возмущений в магнитосфере Земли при околоземных полетах. Необходимы дальнейшие инженерно-физические и медико-биологические исследования для выбора параметров и режимов работы аналогов ГМП, и их апробация с моделированием ГМУ космоса и вариаций на борту при околоземных полетах.

3. Обеспечение безопасности человека в околоземных и дальних полетах при круглосуточном воздействии ЭМП, создаваемых системами и аппаратурой космических кораблей и будущих баз на Луне и Марсе. В космическом полете происходит перераспределение жидких сред в организме (прилив крови к голове и т.п.), что должно изменять величины и распределение поглощенной в органах и тканях энергии ЭМП по сравнению с земными условиями. Меняется характер теплоотдачи тела в окружающую среду из-за отсутствия естественной конвекции. Необходимые расчетные модели до сих пор не разработаны. Вследствие роста количества источников фонового ЭМП на борту суммарный спектр будет приобретать характер, близкий к квазинепрерывному, что потребует новых подходов к определению электромагнитной нагрузки на человека. Нами подчеркивалось, что даже в том случае, когда ЭМП какого-либо источника удовлетворяет требованиям электромагнитной совместимости с другой аппаратурой, это не значит, что его воздействием на человека можно пренебречь. Действительно, если излучаемое при работе фоновое ЭМП носит широкополосный характер, то суммарное воздействие всех

его частот может создать существенно большую электромагнитную нагрузку, чем основная испускаемая им частота.

Обитаемые объемы кораблей и станций останутся сравнительно небольшими. ЭМП находящихся в них источников в большинстве случаев будут соответствовать ближней зоне, где электромагнитная волна еще не успевает сформироваться, что также необходимо учитывать при нормировании и разработке аппаратуры. Вторичные источники ЭМП, которые возникают в электропроводящих элементах космического объекта (корпус и т.п.), будут увеличивать электромагнитную нагрузку на экипаж. Возможно, что перед проводящими поверхностями целесообразно располагать слой материала, поглощающего ЭМП радиочастотного диапазона.

Исследования в смежных областях

Разработан принципиально новый метод нахождения спектров частиц по скорости в пучках ускорителей высокой энергии

Нахождение распределения по скорости (энергии) потоков заряженных частиц является важной составной частью при проведении исследовательских работ не только в ядерной физике. Такие же задачи стоят при решении многих проблем и в других научных областях - от радиационной химии и радиационной медицины и биологии до физики космических лучей и астрофизики. Одной из важных практических задач является контроль пучков промышленных ускорителей. Вместе с тем, возможности существующих методов спектрометрии потоков частиц, в особенности имеющих высокую интенсивность, как известно, ограничены и зачастую требуют применения габаритных установок. К тому же значительная часть этих методов не позволяет проводить неразрушающие измерения.

Мной был предложен, а затем доработан совместно В.А. Кондратьевым, В.И. Шведунным (МехМат и НИИЯФ МГУ) и А.И. Ларкиным (МИФИ) принципиально новый, практически неразрушающий метод спектрометрии потоков заряженных частиц на основе излучения Черенкова. В моей стране принято называть его излучением Вавилова – Черенкова, отмечая большую роль С.И. Вавилова в его открытии. Излучение Вавилова - Черенкова (ИВЧ) возникает, когда скорости заряженных частиц в среде превышают фазовую скорость света в ней. И.М. Франк (Нобелевский лауреат вместе с П.А.Черенковым и И.Е.Таммом) однажды заметил, что не лазеры, а радиаторы ИВЧ были первыми макроскопическими когерентными излучателями света.

В классическом черенковском методе скорость заряженной частицы находится по углу раствора конуса ИВЧ, выходящего из радиатора, обычно тонкого. Из-за дисперсии

света этот угол оказывается разным на разных длинах волн. Поэтому приходится прибегать к использованию узкополосных оптических фильтров и другим мерам, позволяющим снизить ее влияние на измерения.

В разработанном методе распределение скорости частиц в пучке находится не по углу раствора ИВЧ, а рассчитывается из зависимости его интенсивности от величины показателя преломления n радиатора: $I(1/n)$. В случае радиатора - газа величину n изменяют, меняя его давление. Метод лишен многих недостатков, присущих классическим черенковским методам. $I(1/n)$ получают из последовательных измерений, имеющих, естественно, погрешность. В математике были разработаны новые подходы, позволяющие эффективно решать такие задачи, привлекая в том числе априорную информацию о свойствах решения. Например: число частиц и их скорость не могут быть отрицательными и т.п. Эти подходы позволили успешно решать так называемые обратные задачи, которые встречаются в самых разных областях.

Предлагаемый метод слабо чувствителен к угловому распределению частиц в пучке. При специальной геометрии собирания света он применим и в случае произвольного углового распределения частиц. В пучках большой интенсивности нет проблем с регистрацией ИВЧ. Метод был опробован на электронных ускорителях и показал свою адекватность. Результаты одного из экспериментов были сопоставлены с результатами измерения пучка с помощью магнитного спектрометра. Было получено хорошее согласие измерений.

На Юбилейной Конференции в честь В.П. Черенкова я подошел к нему, поздравил, представился и рассказал в двух словах о методе. Он пригласил меня к себе в Институт в Пахру. Там я сделал доклад, он был воспринят, после чего я провел полчаса в кабинете, обсуждая возможности метода. П.А. рекомендовал рассказать о нем в НИИЭФА, выпускавшем электрофизическую аппаратуру (ускорители).

Метод был также использован для измерения спектра пучка уникального разрезного микротрона НИИЯФ МГУ на энергию 30 МэВ. Для того, чтобы находить распределение энергии частиц в пучке магнитным спектрометром, размеры последнего должны были бы превысить размеры самого микротрона.

Нами были получены новые решения, описывающие процесс генерации ИВЧ в волноводах на радиочастотах, что позволяет надеяться на создание полностью неразрушающих методов спектрометрии потоков частиц. Мной было предложено дальнейшее развитие метода, которое состоит в том, что используется радиатор ИВЧ из того или иного вещества, обладающего повышенной дисперсией. Интенсивность

излучения в разных спектральных областях регистрируется одновременно, для чего используется всеволновой оптический спектрометр. Оно тоже было доработано с участием В.И. Шведунова (НИИЯФ МГУ) и А.И. Ларкина (МИФИ). Уравнение Вольтера было переписано и решено для этого варианта метода.

Решение задачи сводится к нахождению первой и второй производной, но по длине волн или по частотам ИВЧ из радиатора, через который проходит сгусток или пучок частиц. Оба варианта метода являются принципиально новым направлением в диагностике потоков заряженных частиц и не имеют мировых аналогов. Метод был доложен на многих престижных отечественных и зарубежных конференциях, в том числе на конференциях «Лазеры. Оптика. Фотоника». Был сделан подробный доклад в ОИЯИ (Дубна), после которого Е.А. Красавин познакомил меня с В.П. Зреловым – автором замечательного двухтомника «Излучение Вавилова – Черенкова и его применение в физике высоких энергий», который после обсуждения предложенного мной метода оставил теплую надпись на первом томе своей книге, взятой мной с собой.

По совету П.А. Черенкова я, будучи в Ленинграде, посетил НИИЭФА и предложил использовать разработанный метод измерения спектра пучка ускорителя. Мне сказали: да, эффективно, красиво. Но у нас есть участок, на котором выпускаются магнитные спектрометры для определения спектра пучка, на котором работает около сорока человек. Куда переведем людей с участка? Уволим? Так окончилась попытка «внедрения новой техники».

Предложен принципиально новый метод ускорения заряженных частиц

В 1960 году появилась интереснейшая работа А.В. Гуревича (впоследствии академика), которая тогда как-то прошла мимо меня. Она была посвящена процессам в грозовой атмосфере: электрическому пробую, вызванному лавинообразным размножением в ней убегающих электронов (ПУЭ). ПУЭ объясняет такие явления, как гигантские высотные разряды между грозowymi облаками и ионосферой, аномальные вспышки рентгеновского излучения, мощные всплески γ -излучения и другие. Затравочными частицами ПУЭ являются вторичные электроны космических лучей. Объяснена связь между электродинамическими процессами в грозовой атмосфере и космическими лучами. Как оказалось, А.М. Гуревич - мой бывший одноклассник по 167-ой школе г. Москвы. В начале учебы в девятом классе он ушел в экстернат, сдал за один год экзамены за два класса и поступили на год раньше меня в МГУ.

Задолго до встречи в ИЯФ с академиком А.М. Будкером удалось промоделировать ускорение электронов в газовом промежутке применительно к возможности разработки

соответствующих ускорителей, что могли бы представлять интерес. Поскольку эти вопросы стояли близко к процессам в диэлектрической защите, я привлек к этим исследованиям В.В. Цетлина.

Для пробных экспериментов была создана установка на столе, как бы напоминавшая элементы физических экспериментов 18-го и начала 19-го веков. У меня были электроды Роговского, которые служили для экспериментов с пробоем газа. Мой отец - профессор МЭИ - одолжил для меня в Институте на время электрофорную машину для получения высокого напряжения, предложенную в 1883 году Д. Уимхёрстом. Высокое напряжение накапливалось на двух лейденских банках - конденсаторах, предложенным в г. Лейдене А. Теплером. В центре электродов были выточены дополнительные закругленные отверстия. На высоковольтном электроде разместили источник электронов сравнительно низкой энергии – препарат углерода 14 (средняя энергия около 50 кэВ). На заземленном электроде - торцовый счетчик с тонким окном, который подсоединили к источнику питания и к пересчетной установке. Высоковольтный электрод подсоединили к лейденским банкам электрофорной машины и киловольтметру на 100 киловольт.

Измерялась скорость счета счетчика в отсутствие высокого напряжения, а затем при подаче высокого напряжения от раскрученной руками электрофорной машины. Опыт оказывался фактически «слепым», поскольку при раскручивании машины знак напряжения, который она вырабатывала – положительный заряд или отрицательный, заранее задать было невозможно. Его мы определяли по отбросу стрелки вольтметра вправо или влево после прикосновения к высоковольтному электроду. При отрицательном напряжении на электроде электроны, испущенные источником, ускорялись в промежутке воздуха между электродами, а при положительном – замедлялись. Это отражалось на скорости счета. Дополнительно мы вводили перед счетчиком тонкие пластинки вещества и определяли, насколько увеличивалась энергия бета-частиц из источника. Последующие эксперименты проводились где-то в начале 70 -х годов.

Результаты и планы дальнейших исследований докладывались в 1972 г. и в 1975 г. на Всесоюзных конференциях «Разработка и практическое применение электронных ускорителей», г. Томск. Та особенность, что ионизация в газовом промежутке создается, в основном, сгустком ускоряемых электронов, устраняет большую часть проблем, связанных с возникновением неустойчивостей, характерных при ускорении в плазме. Использование предложенного принципа позволила бы разработать класс электронных миниускорителей, обладающих рядом достоинств. Например, возможностью ускорения

сгустков частиц при высоких градиентах электрического поля в сжатом газе с высокой пробивной прочностью.

После доклада на конференции 1972 г. разгорелась жаркая дискуссия. Один из известных разработчиков электронных ускорителей высказался, что ускорители электронов в вакууме и так достаточно хороши. На него буквально обрушились специалисты по ускорителям из ФИАН (знаменитый физический институт имени П. Лебедева), говоря, что предложен новый интересный принцип создания ускорителей, обладающий рядом достоинств. Как уже упоминалось, А.М. Будкер предлагал мне остаться в ИЯФ на полгода и создать компактный слаботочный ускоритель на газе. В ИМБП дальнейшее развитие идей такого ускорения оказалось невозможным. Работы пришлось прекратить. Авторское свидетельство все же успели получить.

Разработка метода самосовпадений для ионизационных детекторов излучения

Импульсы ионизационных детекторов радиации (газоразрядных и полупроводниковых) приходится усиливать для последующей регистрации и анализа. В результате к их импульсам примешиваются шумы усилителей. С проблемой отделения «истинных» импульсов детекторов от шумов усилителей приходится сталкиваться во многих задачах ядерной физики. Принятый метод состоит в том, что зная закон распределения шумов усилителя (например, гауссовский), вычитают ту или иную предполагаемую с соответствующей вероятностью величину шума из суммарного сигнала и находят «истинный» сигнал детектора, имеющий эту вероятность. Мной был предложен новый метод выделения импульсов из шумов и наводок – метод самосовпадений.

При обычном способе включения импульс снимают с сопротивления нагрузки на аноде детектора и подают на предусилитель. Катод детектора присоединен к «земле». Метод самосовпадений заключается в том, что импульсы снимают не только с анода, но и с катода. Катод подключается к «земле» через сопротивление нагрузки, с которого сигнал идет на второй предусилитель. Важно, чтобы оба усилителя были идентичны. Обязательна их линейность. Есть добавочные условия, на которых здесь не будем останавливаться.

Импульсы на аноде и катоде ионизационного детектора обусловлены движением одних и тех же носителей заряда в межэлектродном промежутке (для простоты рассматриваем лишь двух - электродный детектор). В соответствии с теоремой Рамо - Шокли эти импульсы совпадают во времени и по форме, отличаясь лишь знаком (у анода – отрицательным, у катода – положительным). После предусилителей они подаются на схему совпадений. Схема совпадений регистрирует сигналы и пропускает их дальше только в том случае, если они приходят со сдвигом относительно друг друга не большим,

чем заранее заданное в схеме так называемое разрешающее время. Оно может быть равным или даже меньшим полной длительности фронтов импульсов, поскольку запаздывание одного импульса относительно второго в случае самосовпадений принципиально отсутствует. Чем меньше разрешающее время, тем больше снижается скорость счета ложных импульсов, помех и шумов (порой на многие порядки).

Входы предусилителей при использовании метода самосовпадений оказываются включенными последовательно. Если полное сопротивление детектора много больше полного сопротивления входов предусилителей, то подключение второго предусилителя лишь незначительно уменьшает сигнал, снимаемый с анода. Именно этот случай имеет место, например, при использовании пропорционального газоразрядного счетчика, поскольку величина емкости анод-катод счетчика много меньше емкости входов усилителей. Импульс с катода оказывается «бесплатным».

Сигналы каждого канала по отдельности сохраняем. Продолжая их сохранять в отдельном блоке, складываем их в другом блоке. При этом импульсы с анода и катода, имеющие разные знаки, гасят друг друга. Остается сумма шумов предусилителей каналов во время импульса детектора при прохождении частицы. Конечно, знание суммы шумов предусилителей – это еще не знание шума каждого предусилителя. Однако оказывается возможным построить технологии, позволяющие разделить сумму шумов каналов на шумы каждого из них в отдельности.

Возможность выделения сигналов детектора из шума путем перемножения сигналов каналов, как это делается, например, в шумовой термометрии, ограничены, поскольку связь входов усилителей через емкость и токи проводимости детектора будет приводить к появлению на выходе схемы перемножения неисчезающего коррелированного шума. В сумму шумов предусилителей, к сожалению, не входят собственные шумы детектора. Хотя в каждом канале они присутствуют и равны друг другу по модулю, но имеют разные знаки и при суммировании сигналов с анода и катода компенсируют друг друга.

В общем случае технология разделения шумов сводится к следующему. По сигналу схемы совпадений в аппаратуре интегрируются тем или иным способом (в том числе, возможно, и аналоговым) по времени мгновенная амплитуда суммы шумов $\Sigma n(t)$, а также мгновенные амплитуды сигналов канала анода $A_a(t)$ и канала катода $A_c(t)$.

В принципе возможны два варианта выбора длительности времени интегрирования. Если интересует лишь амплитуда импульса детектора, то время интегрирования следует выбрать равным или же несколько превышающим длительность

импульса t_{imp} или, например, его фронта. Если же интересует не только амплитуда, но и форма импульса, то необходимо интегрировать последовательно по промежуткам, длительность которых должна составлять t_{imp}/m , где m – целое число, равное числу точек, по которым желательно восстановить форму импульса. Процесс восстановления формы импульса возможно осуществлять, используя соответствующие математические методы.

Как известно, сумма случайных переменных, имеющих одно и то же распределение, будет иметь то же распределение. Зная закон распределения шума предусилителей (например, из предварительных измерений) и величину дисперсии интеграла шума в каждом из каналов, интеграл суммы шумов можно разделить на те или иные возможные сочетания пар интегралов шумов в каналах при прохождении импульса детектора, причем с нахождением вероятности каждого такого разделения. Вычитанием из интегралов сигналов с анода и катода интегралов предполагаемых пар шумов каналов находятся возможные величины импульсов детектора и вероятность их реализации. Далее эти значения уточняются с учетом вероятности той или иной величины собственного шума детектора.

Целесообразно иметь в аппаратуре контроль, не меняются ли во времени параметры шумов (т.е. закон их распределения и величины дисперсии), и предусмотреть соответствующую коррекцию алгоритма при необходимости.

Уточняем вероятность данного распределения суммы шумов по каналам, учитывая вероятность той или иной величины собственного шума детектора. Вычитаем эти величины из величин интегралов сигналов на выходе соответствующих каналов и получаем наиболее вероятное значение величины импульса ионизационного детектора и менее вероятные его величины.

Вероятность, что интеграл от $\Sigma n(t)$ равен нулю (вырожденный случай), много ниже вероятности его ненулевого значения, так как реализуется лишь тогда, когда интегралы шумов каналов не только равны по модулю, но имеют разные знаки. Заметим, что даже в вырожденном случае по величине сигнала в каждом канале и по его знаку (положительному или отрицательному) можно сделать некоторые выводы о величине импульса детектора. Если заведомо известно, что импульсы детектора «тонут» в шумах, целесообразно вести непрерывный анализ сигналов, поступающих от предусилителей.

Возможно несколько вариантов его осуществления. Наиболее эффективный вариант, по-видимому, следующий. На выходе каналов анода, катода и суммы шумов ведется интегрирование их сигналов на интервалах, которые последовательно сдвигаются

относительно друг друга на время τ . Длительность каждого интервала должна незначительно превышать $t_{imp} + \tau$, где t_{imp} , как и выше, длительность импульса или, например, его фронта. Это условие определяет полное перекрытие импульса детектора на каком-то шаге при интегрировании. На предыдущих и последующих шагах перекрываются соответственно какие-то участки импульса, что в принципе позволяет восстановить его форму. Это определяет выбор величины шага τ .

После того, как интегрирование в каналах в очередном интервале завершается, его результаты сбрасываются на блок анализа, который обрабатывает их по изложенному выше алгоритму и запоминает последовательно результаты обработки. По этим результатам определяется величина импульса, имеющая ту или иную вероятность. После сброса информации соответствующий интегратор обнуляется и вновь начинает ее накапливать.

Отношение t_{imp}/τ определяет число точек, по которым можно найти форму импульса, и число реальных или виртуальных интеграторов, которые должны обеспечивать работу в каждом канале.

В последнее время появились сведения, что в США разработаны предусилители, шум которых меньше собственного шума полупроводниковых детекторов. Однако использование таких предусилителей, видимо, не может препятствовать дополнительному снижению шума с помощью самосовпадений. Кроме того, по мере очередного прогресса в характеристиках полупроводниковых детекторов, вклад их собственных шумов уменьшится и снова основным шумом окажется шум предусилителей. Метод не имел и, по-видимому, продолжает не иметь мировых аналогов.

Новый метод исследования процессов захвата электронов при их дрейфе в электроотрицательном газе

Захват или прилипание электронов при дрейфе в электроотрицательном газе состоит в их присоединении к атомам или молекулам газа и образовании отрицательных ионов. Этот процесс играет существенную роль при различных процессах в атмосфере, как нижней, так и верхней. Он важен для физики электронных и атомных столкновений, а также для повышения эффективности работы ряда газоразрядных детекторов заряженных частиц. Принятые методы измерений заключались в «перехвате» электронов, появившихся при облучении газового промежутка, с помощью сеток - ловушек, на которых подается переменное электрическое поле, и в измерении количества оставшихся отрицательных ионов. Сетки – ловушки сложно использовать в электрических полях

высокой напряженности. К тому же они искажают однородность основного электрического поля.

Мной был разработан и использован при измерениях принципиально новый метод. Он использует то обстоятельство, что подвижность электронов в газе в электрическом поле на три порядка превосходит подвижность положительных и отрицательных ионов в нем. По предложенному методу газ, в котором измеряются сечения прилипания, находится между параллельными электродами, к которым приложена разность потенциалов, создающее внутри них электрическое поле. Один электрод служит анодом, второй – катодом. Перед подачей короткого импульса, ионизирующего газовый промежуток (например, от рентгеновской трубки) для создания в нем однородных облаков из электронов и положительных ионов, на электроды подается прямоугольный импульс напряжения, меняющий полярность электродов. Катод временно становится анодом, а анод – катодом. Длительность прямоугольного импульса («строба») должно превышать время собирания электронов из газового промежутка. По пришедшему на временный анод отрицательному заряду определяется число электронов, не «прилипших» к атомам или молекулам в газовом промежутке. Положительные и отрицательные ионы за время прямоугольника практически не движутся и наводят на электроды крайне незначительный заряд. После окончания «строба» временный анод вновь становится катодом. К нему движутся положительные ионы и в конце их собирания они компенсируют уже собранный суммарный заряд электронов. На электроде, вновь оказавшимся анодом, при завершении сбора отрицательных ионов остается только их заряд, по которому определяется количество «прилипших» при дрейфе электронов при напряженности электрического поля, создаваемой прямоугольным импульсом.

Меняя амплитуду этого импульса, получаем зависимость величины захвата от напряженности поля. Если в промежутке находится смесь газов (например, воздух – азот, кислород и аргон), то, естественно, находится зависимость сечения захвата электронов именно электроотрицательным газом.

Были выполнены измерения на кислороде, на воздухе и на бrome (последний используется в галогенных счетчиках). Сечения захвата (прилипания) в методе усредняются по скоростям электронов в дрейфующем «облаке». Однако именно эти данные требуются при практическом использовании результатов. При очень низких напряженностях электрического поля необходимо вносить поправки на возможный тепловой дрейф ионов против него.

В работе, выполненной в США за полгода до начала наших исследований, было показано, что в некоторых случаях на сечение захвата влияет давление газа – примеси, не являющегося электроотрицательным. Было объяснено, что при захвате возникает возбужденный отрицательный ион. Лишь после его соударения с атомом основного газа или газа – примеси возбуждение снимается, и отрицательный ион становится стабильным. Удалось «нечувствительно» подтвердить эти результаты. Метод и результаты заслушивались на престижных конференциях по электронным и атомным столкновениям, а также по низкотемпературной плазме. Метод был «принят на вооружение». Он не имел мировых аналогов.

С помощью метода измерений счетчиком внутреннего наполнения активности вводимых в него проб воздуха, было, при участии ИБФ МЗ, впервые измерено содержание радиоактивного изотопа водорода - трития и паров тритированной воды в рабочих помещениях реактора на тяжелой воде. Тритий замещает по обмену водород в биологических молекулах и, несмотря на очень низкую энергию вылетающих бета - частиц, достаточно вреден. Оценки эффективности счетчика делались с учетом захвата электронов в нем кислородом. А выделить импульсы счетчика из шума предусилителя удалось только при использовании метода самосовпадений, уменьшив скорость счета шумов и наводок в десять тысяч раз. Не исключена возможность использования метода самосовпадений в других областях.

Возбуждение автоволнового процесса в реакции Б-Ж под воздействием пучков заряженных частиц

Впервые продемонстрировано и изучено инициирование автоволнового процесса и ведущих центров в известнейшей в синергетике реакции Белоусова–Жаботинского (Б-Ж) под действием пучков заряженных частиц - дейтронов и электронов (совместно с НИИЯФ МГУ). Реакция Б-Ж, в частности, моделирует процессы в возбудимой среде, а также другие процессы (самоорганизацию, биологические часы и т.д.).

Эксперименты проводились с целью промоделировать возникновение в возбудимой среде распространяющегося возбуждения в нервных волокнах сетчатки применительно к проблеме «вспышек в глазах» при прохождении космических лучей. Кроме того, это исследование имеет фундаментальный научный интерес.

Автоколебательная реакция была открыта Б. П. Белоусовым в ходе эксперимента по окислению лимонной кислоты броматом калия в кислотной среде в присутствии катализатора — ионов церия Ce^{+3} . Обнаружились автоколебания Ce^{+3} - Ce^{+4} и обратно. Эффект был особенно заметен в присутствии индикатора ферроина (цвета менялись с

красного на синий и обратно). Сообщение об открытии дважды отказывались публиковать в научных журналах: 10^{19} молекул не могут синхронно менять валентность. «Этого не может быть, потому что не может быть никогда». Тем не менее, слух об удивительной реакции среди химиков распространялся.

Известный биофизик С.Э. Шноль знал об одной английской математической работе, в которой предсказывалась возможность таких процессов в однородных средах. Он созвонился с Б.П. Белоусовым. Тот продиктовал состав для запуска реакции, но от участия в работах отказался. Сказал, что старых друзей уже нет, а новых заводить он не хочет.

Б.П., будучи зав. лабораторией ИБФ и сделав очень много для Института, как радиохимик, был уволен из него. Резко критиковал токсикологов за ошибки. Те пошли на него войной. Формальная причина – отсутствие документов о высшем образовании. Братья Б.П. вовлекли его, мальчика, в революционную деятельность. В 12 лет он был арестован. Жил в Швейцарии, прослушал полностью все курсы по химии в университете Цюриха, но не смог выкупить диплом. В советской армии носил звание комбрига. Я консультировался у Б.П., как убрать из пробы кислород, не убрав паров тритиевой воды.

С.Э. Шноль предложил своему аспиранту А.М. Жаботинскому исследовать механизм реакции. Основные результаты этих работ были изложены в книге А.М. Жаботинского «Концентрационные колебания». Перед выходом книги С.Э. позвонил Б.П. Белоусову и сказал, что мы как бы отнимаем ваш приоритет. В сборнике радиационной медицины вышла статья Б.П. на пол страницы, на нее потом появилось огромное количество ссылок.

В Пущино интенсивно занялись реакцией Б-Ж (кстати, многие считают, что вместо тире там должно стоять имя С.Э. Шноля). Коллектив, включая А.М. Жаботинского, был представлен к Ленинской премии. С.Э. настоял, чтобы провели повторное заседание ученого совета и включили в состав посмертно Б.П. (в отличие от Нобелевских премий в Ленинскую премию это было можно). Премия была присвоена.

В мировой литературе до нашей работы были опубликованы только две работы (венгерская и индийская) по воздействию ионизирующего излучения (гамма - излучение Co^{60}) на реакцию Б-Ж. В обоих случаях реакция останавливалась. Ничего другого и не могло быть, поскольку облучался весь объем. Даже если бы ведущие центры и возникали, то дальнейшее распространения возбуждения прекращалось. В отличие от волн на воде, которые, встречаясь, расходятся сквозь друг друга, распространение возбуждения в

реакции Б-Ж, «наткнувшись» на встречное возбуждение, пройти дальше не может, так как за ним уже все «выжжено».

К. Тобайес из НАСА, о котором упоминалось выше, пытался возбудить импульс в нерве, облучая его на импульсном ускорителе пучком заряженных частиц. Поскольку пучок облучал весь нерв, получался тот же эффект взаимного гашения нервных импульсов, даже если они и возникали.

Впервые нами в мировой литературе было показаны картины распространения волн в реакции Б-Ж, вызванных заряженными частицами. Если пучок альфа-частиц коллимировали экраном с круглым отверстием, то получали волны в форме окружностей, распространяющихся по радиусу. Если же использовали коллиматор - щель, то получали волны, распространяющиеся перпендикулярно щели. Исследовали также возникновение волн в капилляре. Альфа-частицы от циклотрона НИИЯФ МГУ не могли пройти сквозь стенки капилляра. Поэтому использовали узкий пучок электронов высокой энергии. В том месте, где проходил пучок, возникали две волны в капилляре, движущиеся в противоположных направлениях. Все процессы регистрировали на камеры слежения. Интересно, что волны в капилляре продолжали возникать в том же месте, хотя облучение пучком прекращалось. Всю химическую сторону экспериментов готовила и проводила А.Б. Присёлкова из НИИЯФ МГУ - замечательный экспериментатор.

Еще два слова о реакции Б-Ж. Президент АН СССР М. В. Келдыш пригласил С.Э. Шноля и А.М. Жаботинского в Президиум Академии, чтобы они показали новое и интересное физико-химическое явление. Демонстрация реакции происходила в кабинете М.В. Как мне потом рассказал С.Э., М.А. Жаботинский просил его не говорить об автоволнах. А М.В. Келдыш сказал: вы от меня одну особенность скрыли: автоволны. И был очень доволен, что сам их углядел. Выплеском серной кислоты прожгли сукно на столе. М.В. сказал: пусть остается, как память об открытии.

Принципиально новый метод создания однородных и регулируемых по величине гипомагнитных условий для исследований их биологического действия

Мной разработан принципиально новый метод создания однородных и регулируемых по величине ГМУ, в том числе применительно к проблемам космонавтики. К работе были привлечены сотрудники организации «Прометей», входящей в Курчатовский Институт - С.А. Маннинен, П.А. Кузнецов и сотрудники НИИЯФ МГУ - А.В. Спасский, В.М. Лебедев.

При использовании этого метода возможно конструирование установок, создающих однородное магнитное поле, рабочий объём которого соизмерим с размером

самого устройства. Метод предполагается использовать для снижения локального геомагнитного поля (ГМП) в установках для исследования биологического действия гипомагнитных условий на человека и живые системы. Гипомагнитная проблема возникает при окололунных полетах, на лунной и марсианской обитаемых базах, а также при будущих полётах в дальний космос.

В рабочем объёме будут трансформироваться в более однородное поле неоднородные ГМП в помещении, обусловленные железобетонными конструкциями здания и размещением в нем объектов из ферромагнитных материалов. Так же должны выравниваться поля магнитных наводок от сторонних блуждающих токов и их полей. Таким образом, жесткие требования к помещениям, где намечается размещение гипомагнитных устройств, практически снимаются. Рабочий объём устройства, выполненного по предлагаемому методу, может быть сопоставим с размерами электромагнитной системы.

Разработка метода и установки магнитно-резонансной томографии (МРТ)

В начале 80-х годов в зарубежной научной прессе появились первые статьи о визуализации внутренних органов человека с использованием ядерно-магнитного резонанса. Метод магнитно-резонансной томографии (МРТ), как его стали именовать, начал получать широкое распространение. Следует отметить, что этот метод был предложен в СССР В.А. Ивановым еще в 1960 году, однако поддержки не получил.

Работы ИМБП по МРТ были инициированы письмом Д.Ф. Устинова, члена политбюро ЦК КПСС и министра обороны СССР. В СССР уже велась разработка МРТ в Институте кабельной промышленности, где ранее был создан рентгеновский томограф. К решению инженерно-физических вопросов создания МРТ в ИМБП привлекли меня. В решении организационных вопросов принимал большое участие Н.Н. Гуровский, ранее руководивший 3-м ГУ при Минздраве СССР и перешедший в ИМБП. Работам уделял большое внимание директор ИМБП академик О.Г. Газенко. Контролировал их выполнение зам. министра МЗ СССР А.И. Бурназян.

За рубежом развитие МРТ шло по пути создания аппаратуры с сильными магнитными полями, позволяющими иметь высокое разрешение ЯМР – томограмм. Аппаратура оказывалась дорогостоящей, сложной в эксплуатации (особенно, если использовались сверхпроводящие магнитные системы), имела высокое энергопотребление и большую массу.

В ИМБП было решено создать МРТ с небольшим магнитным полем (20÷40 мТл, т.е. 200÷400 Гс), простые в эксплуатации, недорогие, транспортабельные, с небольшим

энергопотреблением и массой. Эти системы составляли бы «первый эшелон», который обеспечивал бы недорогое обследование широких контингентов населения. При выявлении каких-то аномалий в организме дальнейшее обследование для уточнения диагноза должно было происходить на аппаратуре с более высоким разрешением. Онкологию предполагалось выявлять по времени релаксации сигнала магнитного резонанса.

Аппаратуру планировали использовать в диагностических центрах, в медицине катастроф, в военной медицине, для обследований на местах и т.д. Существенно, что в отличие от рентгеновской томографии МРТ хорошо выявляет повреждения мягких тканей. Предполагалась создать специальный МР - томограф для исследований с животными на биологических спутниках. К этим работам проявила интерес фирма «Брукер» - известный разработчик МРТ. Ввиду пионерского использования в биологических исследованиях стабильных радикалов рассматривалась возможность создания аппаратуры, которая работала бы как в режиме МРТ, так и в режиме низкочастотного электронного парамагнитного резонанса (ЭПР).

Была создана научно-техническая кооперация по проблеме. Она включала: предприятие «Маяк» (магнитная система и электроника, г. Пермь), Пермский государственный университет (математическое обеспечение), физический факультет Ленинградского государственного университета (ЛГУ), где имелся опыт разработки систем ядерного магнитного резонанса на небольшие магнитные поля, Институт химической физики АН СССР, Институт физических проблем АН СССР, Онкологический центр СССР. Был привлечен ряд сотрудников других организаций.

В 3-м ГУ при МЗ СССР ИМБП был подготовлен и утвержден в МЗ СССР Приказ по организации работ. Во всех действиях со стороны третьего ГУ при МЗ участвовал Анатолий Васильевич Седов. В процессе подготовки Приказа были получены визы академиков Н.Н. Блохина, Е.И. Чазова, академика и вице-президента АМН СССР С.С. Дебова, визы Ученого Совета МЗ СССР и других Советов. За поддержкой работ со стороны Президента АН СССР А.П. Александрова А.В. Седов и я отправились в Институт Атомной Энергии, где на Ученом совете А.П., директор ИАЭ, должен был быть. Я получил пропуск в ИАЭ, а у А.В. Седова оказался просроченным паспорт. Пришлось идти одному. В перерыве я подошел к А.П., представился, сказал, что вынужден представлять еще и третье ГУ и изложил наше видение работ. Президент одобрил его, сказал, что все задумано правильно и интересно и обещал работы поддержать. Был создан Совет по проблеме в АМН СССР, куда меня ввели.

Работа успешно продвигалась. В Перми на «Маяке» была собрана уникальная томографическая магнитная система. Ее габариты составляли 1,0x1,0x1,0 м³. Энергопотребление магнитной системы и электроники не превышало 4 кВт, для математической обработки использовали один из первых персональных компьютеров: ИБМ – 286. Время получения тестовых изображений составляло 10 - 20 мин. Классический тест МРТ состоял в сопоставлении томографического и реального среза лимона. Поскольку в Москве лимоны в продаже отсутствовали, а в Перми - тем более, в тестовых испытаниях они были заменены апельсинами из Абхазии. Совпадение было полным. Еще одним тестом было томографическое изображение куриного яйца. Отчетливо выделялся белок и желток. На лежалом яйце было видно место начала его порчи, что недостижимо на рентгене. В Ленинградском государственном университете ГУ были поставлены эксперименты по получению изображений на соединениях фтора. Использовали шестифтористую серу, как составляющую дыхательной смеси для мышей. Отчетливо выделялись пузырьки фтора при декомпрессии.

А далее возникли проблемы с финансированием. О.Г. Газенко был у А.И. Бурназяна с докладом о продвижении в работе и о необходимости увеличения финансирования. А.И. Бурназян сообщил об имеющихся больших финансовых проблемах, но обещал помочь. Неожиданно через две недели он скоропостижно скончался. Институт в это время попал в финансовую «яму». Работы были остановлены, оборудование на промежуточном этапе договора осталось у Исполнителя.

Последовало обращение ИМБП в ГКНТ СССР с предложением продолжить работы в Программе «Приборостроение», которая готовилась, наряду с Программами по ряду других направлений, для утверждения в СовМин СССР.

Работы ИМБП по МРТ с научно-производственной кооперацией в ГКНТ были поддержаны, поскольку речь шла не только об оснащении медицинских учреждений СССР уникальной аппаратурой, но и о возможности выхода на международный рынок. Было получено несколько важных виз на документах. Предполагалось сервисное обслуживание ЯМР - томографов. Причем, если бы появлялась бы новая марка компьютера, то заменялся бы только он. Появлялась бы более совершенная магнитная система, то заменялась только она с внесением соответствующих изменений в программное обеспечение.

Однако когда Программы были представлены в СовМин СССР, его председатель Н.И. Рыжков (до сих пор депутат (старейший) Государственной Думы России) не подписал Программу «Приборостроение», заявив, что надо копировать опыт Японии. А

именно, 5-7 лет выходить на новый уровень приборостроения, закупая иностранные лицензии и работая по ним, и лишь, набравшись этого опыта, создавать что-то свое.

Созданный прототип можно было бы тиражировать и использовать для томографии даже младенцев. Фирма «Брукер» тогда выпустила томограф для детей в виде сказочного домика, куда детям не страшно въезжать на тележке. Но у него было сильное магнитное поле, и он был дорогой. Его использовали для наблюдения за процессом миелинизации головного мозга детей.

Томографы с низким магнитным полем, разработанные в Перми, можно было бы использовать в детских больницах и поликлиниках, причем для их обслуживания не требовалась особо высокая квалификация инженерного персонала. В это время стали развиваться научные кооперативы. К нам пришли из одного такого с предложением начать выпускать томографы для малышей. Мы обратились за разрешением в главк. Там сказали: кооператив?! И думать не смейте! До сих пор таких ЯМР-томографов в мире, кажется, нет. Попытки найти независимые источники финансирования потерпели полную неудачу. Так во второй раз (если вспомнить о проекте В.А. Иванова 1960 года) были загублены уникальные работы по развитию МРТ в стране.

Исследования с использованием радиотермометрии при моделировании воздействия некоторых факторов полета

Метод изменения температуры органов и тканей человека по их собственному радиоизлучению в области сверхвысоких частот (радиотермометрия) пришел в космическую медицину из пионерских работ по пассивной радиолокации Луны с целью определения свойств и температуры ее поверхности. Этими работами руководил известнейший радиофизик член-корр. АН СССР В.С. Троицкий из НИРФИ, г. Горький (теперь Нижний Новгород). Мне удалось выйти на В.С. по публикации в Успехах Физических Наук (УФН), где сообщалось об этих работах.

На 70-летию В.С. выступал один из конструкторов Лунохода. Они терялись в догадках, каких условий ожидать на поверхности Луны. Им сказали, что в г. Горьком есть человек, который о Луне многое знает. Они поехали к нему, стали задавать вопросы и получать четкие ответы: поверхность Луны напоминает такую-то земную породу, слой пыли имеет примерно такую-то толщину, температура меняется в таких-то пределах и т.д. После этой встречи они стали проектировать Луноход с «открытыми глазами».

Радиотермометр является радиотелескопом в миниатюре. Поскольку требуется регистрировать тепловое радиоизлучение не только с поверхности тела, но и из глубины, измерения ведут в диапазоне дециметровых волн, где поглощение верхними слоями

тканей излучения глубинных слоев меньше. Интенсивность радиоизлучения в этом диапазоне предельно малая. Необходимо надежно измерять сигналы, отличающиеся всего на $1,4 \cdot 10^{-16}$ Вт, что достигалось их накоплением. Для оценки состояния организма при воздействии некоторых моделируемых факторов космического полета метод РТМ использовался впервые.

В исследованиях с участием испытуемых в клиническом отделе ИМБП использовали первые радиотермометры, созданные в 80-е годы в НИРФИ под руководством В.С.Троицкого. Длина волны составляла 30 см (длина волны межзвездного водорода, на которой радиосвязь запрещена международным соглашением), полоса ~100 МГц. Радиотермометры измеряли усредненную температуру до глубин ткани порядка 3 - 7 см. Аппаратура надежно работала в условиях клинического отдела ИМБП. Радиофизическими сторонами работы руководили В.С.Троицкий (НИРФИ) и К.А. Труханов (ИМБП). Медицинскими сторонами - Э.И. Мацнев.

Моделирование характерной для условий космического полета болезни движения (БД) осуществлялось на специальном стенде. Метод РТМ позволил получать объективную оценку склонности к укачиванию.

Метод РТМ использовали также для определения состояния мышц после гипокинезии при работе на велоэргометре. Быстрый рост (до 40° С) глубинной температуры при большой нагрузке и ее сохранение в дальнейшем позволяют прогнозировать высокую работоспособность мышц. Медленный рост температуры или отсутствие роста с последующим спадом свидетельствуют о низкой работоспособности. Продолжение нагрузки приводит к судороге, в результате которой температура повышается.

Возникал вопрос: было бы полезно иметь на борту радиотермометр и перед ВКД проверить работоспособность мышц? Но возможно ли использовать метод РТМ в условиях радифона бортовой аппаратуры и систем. И полезно ли нагружать дополнительно космонавта перед ВКД? Решение принято не было. Следует заметить, что в ИРЭ АН под руководством академика Ю.В. Гуляева был развит близкий по физическим основам метод акустотермометрии (АТМ) биологических объектов по тепловому ультразвуковому излучению их сред. Возможно, что для космонавтики по понятным причинам АТМ была бы более подходящей. Состояние АТМ в настоящее время неизвестно.

Метод РТМ также использовался при разработке возможного метода лечения воспалительных процессов в специальных условиях с помощью локальной гипотермии

(М.И. Серебрянников). При охлаждении с поверхности глубинная температура сильно снижается (в среднем до 20° С), но локально. На расстоянии 2-3 см вне области охлаждения спад глубинной температуры незначителен (на 1°- 3°С). Возможно, что и здесь метод АТМ был бы полезен.

Были предприняты работы, совместно с В.С. Троицким, по совершенствованию метода радиотермометрии. Предложен метод нахождения по радиометрическим измерениям коэффициента поглощения электромагнитного излучения в диапазоне СВЧ по глубине среды $\mu(x)$, что позволяет судить, например, о распределении крови в тканях. Было показано, что на основе модифицированных корреляционных измерений решается также задача восстановления распределения температуры по глубине с учетом поглощения средой собственного радиоизлучения. Появилась возможность находить распределение теплоемкости $c(x)$ среды по глубине. Знание распределений $\mu(x)$, $T(x)$ и $c(x)$, в частности, важно для гипертермии новообразований, поскольку позволяет более детально планировать и контролировать воздействие. К сожалению, из-за условий, сложившихся в 1980 – 1990 годы, продолжить исследования оказалось невозможным.

Неинвазивный метод пассивной радиотермометрии, разработанный В.С. Троицким, до сих пор используется в медицине.

Когда В.С. Троицкий был в Институте, Олег Георгиевич попросил привести его к нему. Они очень тепло побеседовали. О.Г. осведомился, как поживает известный американский астрофизик Карл Саган, с которым В.С. встречался. В.С. Троицкий занимался разными проблемами, в том числе такими, как возможное изменение физических констант во времени и эволюция Вселенной.

Перспективы исследований

Радиационная защита

- Оценки вторичного излучения при защите от ГКЛ и СКЛ рабочим телом электрореактивных (плазменных) двигателей; разработка рекомендаций по компоновке защиты: минимум рабочего тела около обитаемого объема и выделение защищенного рабочим телом убежища от солнечных событий в отдалении от него.

- Проработка магнитной защиты от протонов ГКЛ и комбинированной защиты магнитным полем и веществом.

- Вопросы безопасности при нештатных событиях в магнитной защите (микрометеориты и др.).

- Дальнейшая разработка механизмов появления «вспышек в глазах» в космосе. Проведение исследований на изолированной сетчатке и уточнение радиационной опасности для сетчатки при длительных полетах.

- Дальнейшее развитие метода диагностики пучков ускорителей высокой энергии по зависимости интенсивности излучения Вавилова – Черенкова от показателя преломления, в том числе для использования в радиобиологических и космических исследованиях, а также метода самосовпадений в ядерной аппаратуре и его распространения на другую аппаратуру.

Электромагнитная и гипомагнитная безопасность

- Дальнейшая разработка индивидуальных систем аналога геомагнитного поля при полетах и нахождении на будущих базах вне магнитосферы Земли (совместно с НИИЯФ МГУ и другими Институтами и организациями). Разработка индивидуальных систем компенсации колебаний уровня ГМП на борту при околоземных полетах из-за непрерывного изменения геомагнитных координат объекта и возмущений в магнитосфере. Этими работами надо заниматься неотложно, чтобы штатные образцы изделий уже были готовы до лунной миссии.

- Исследование последствия пребывания ГМУ животных, растений (в том числе, высших) и их поколений, а также эффектов при комбинированном воздействии радиации и ГМУ. Аналогичные исследования должны быть проведены с биотой человека.

- Поскольку спектры ЭМП, действующих на человека на Земле и в космосе, приобретают широкополосный характер, необходимо ответить на вопрос, не реализуются ли при таких спектрах комбинационные частоты («гетерогинирование»), на которые могут избранно реагировать биологические объекты. Это – принципиальная проблема при разработке предельно допустимых уровней и вообще в понимании биологического воздействия ЭМП. Необходимо также учесть, что электромагнитная совместимость аппаратуры еще не означает безвредность ее излучения, если ее фон широкополосный. На биологический объект действуют все линии спектра, пусть даже слабой интенсивности.

- Необходима постановка исследований по биологическому аналогу известного в физике эффекта Ааронова – Бома (или физической реальности воздействия векторного потенциала магнитного поля). Речь идет о том, что магнитное поле может действовать там, где его как бы нет. Когда-то мной была обсуждена такая возможность. В литературе уже начали появляться работы с объяснением некоторых биологических явлений на основе существования биологического эффекта Ааронова – Бома. Для пилотируемой космонавтики этот вопрос может оказаться важным. Речь идет о том, что биосфера и

человек, возможно, реагирует на перестройку магнитных полей на Солнце еще до прихода потоков солнечной плазмы. Напомним эффект Вельхова – Чижевского.

- Исследования биологического действия комбинированных постоянных и переменных магнитных полей, полей на циклотронных частотах, особенностей воздействия вихревых магнитных полей и их использования в медицине.

- Развитие принципиально нового метода создания ГМУ с возможностью его использования в исследованиях.

Предложения по возможным направлениям работ в интересах медицины и экологии

- Предложения по обеспечению работников метрополитена, работающих на тех станциях, где условия не удовлетворяют требованиям соответствующих СанПиН, средствами индивидуального аналога ГМП.

- Предложения по уменьшению влияния на пассажиров и машинистов магнитных полей контактных рельсов, с которых подается постоянный ток в составы метро. С пуском новых мощных поездов «Москва» влияние этих магнитных полей на машинистов и пассажиров, по оценкам, увеличилось. Проработаны технические предложения, как существенно снизить эту нагрузку. Дополнительное оборудование составов потребует крайне небольших затрат. В Москве ежедневно метро пользуется 8 миллионов, в СПб – 4 миллиона человек, включая уязвимые контингенты населения (дети, беременные женщины, пожилые люди). Метро России сможет стать не только самым лучшим в мире, но и самым экологичным.

- Учитывая наличие в ИМБП уникального гипербарического комплекса, представляется исключительно важным развертывание комплексных исследований возможности использования гипербарии при терапии онкологических заболеваний. В ФИАН имени П.Лебедева такие исследования были выполнены покойным профессором, д.ф.-м.н., биофизиком М.В. Фоком – сыном знаменитого физика-теоретика академика В.А. Фока. На лабораторных животных (мыши) было показано и опубликовано, что при повышенном давлении смеси для дыхания опухоли погибают. Даны некоторые объяснения механизма явления. Вопросы интоксикации организма, что имело место в экспериментах М.В. Фока, можно решить. Они, по-видимому, не должны возникать при «поверхностных» опухолях (например, меланомы). Считаю своим долгом памяти М.В. Фока и вообще поднять проблему применения гипербарии в онкологии и необходимости ее развития.

Заключительное слово

Оглядываясь, думаешь, так ли провел жизнь? Не лучше было бы, пробыв три года в ИБФ по распределению, уйти в какой-нибудь первоклассный Институт и заниматься физикой? Наверно, нет.

Приходилось и ставить, и решать важные и необычные проблемы и задачи в самых разных областях. Везде удавалось находить что-то новое. Сталкиваться при этом не только с интересными, но и выдающимися людьми, с которыми мой путь иначе никогда, возможно бы, не пересекся. Были, конечно, и трудности. Так что точно - нет.