

Академик

А. И. Павловский

В. Д. СЕЛЕМИР



А. И. Павловский

Исследователи бывают разные. Одни отдают любимому делу весь талант, всю душу, но считают: после нас хоть потоп. И когда такой человек уходит, дело его обречено на погибель. А есть глыбы таланта, которые даже после своего ухода, будоражат мысль, и их дело живет и продолжает развиваться. Такая судьба – признак великой личности. И к этой плеяде творцов, организаторов науки, к плеяде неординарных и самобытных исследователей принадлежит академик Александр Иванович Павловский.

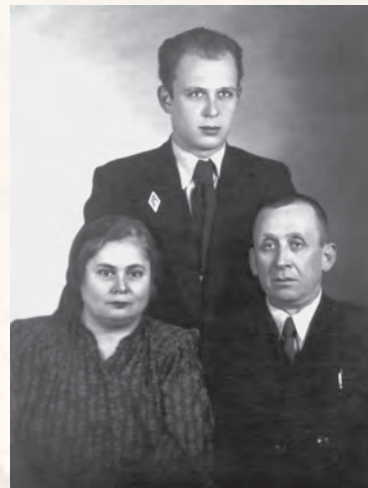
Александр Иванович Павловский родился 27 июня 1927 г. в Запорожье. Его отец был инженером-строителем, но сын пошел в физику. В 1951 г. после окончания Харьковского университета он приехал в наш город и стал работать в лаборатории Ю. А. Зысина. В это время лабо-

ратория занималась напряженной работой по подготовке первого советского термоядерного заряда – сахаровской «слойки». Для подтверждения правильности теоретических представлений о процессах, протекающих в заряде, определялись ядерные константы, сечения различных процессов, коэффициентов, характеризующих поведение нейтронов. При катастрофически малых вычислительных возможностях важное значение имели измерения ядерно-физических величин на моделях заряда.

Для этих измерений нужен был источник ДТ - нейтронов. Существовавшие тогда в институте «нейтронные трубки» – ускорители дейтонов далеко не обеспечивали требуемой мощности. За дело взялся молодой специалист Павловский. Используя разработанный Ф. Х. Насыровым ионный источник с холодным катодом, он повысил на порядок выход, доведя его до $3 \cdot 10^9$ нейтронов в секунду. Затем он вместе с О. К. Сурским и В. П. Царевым разработал новую ускорительную систему, в которой впервые в СССР был установлен высокочастотный ионный источник с усовершенствованной конструкцией катода, что позволило поднять выход до $5 \cdot 10^{10}$ нейтронов в секунду, что явилось рекордом для таких установок. Нейтронные генераторы Павловского обе-

спечили все длительные облучения, необходимые для измерений. В 1954 г. эти работы были отмечены Государственной премией.

Работы А. И. Павловского положили начало электрофизическому направлению работ в чисто ядерно-физической лаборатории. В 1954 г. Александр Иванович выдвигает предложение: использовать для рентгенографирования быстропротекающих процессов тормозное излучение быстрых электронов. Эта идея была не сразу воспринята специалистами в рентгенографии. Революционным было и техническое решение для ее реализации — безжелезные бетатроны. Крайне негативно отнеслись к этому предложению ведущие специалисты по ускорительной технике.



Молодой специалист А. Павловский с родителями

Непросто было выдерживать постоянную критику и призывы прекратить это бесперспективное дело. Помогли неистовая уверенность инициатора, поддержка руководства ВНИИЭФ и самоотверженная работа небольшой, но функционально очень слаженной группы помощников. Главным идеологом был Г. В. Склизков (нынешний академик), эксперимент держался на Г. Д. Кулешове, В. П. Царев обеспечивал радиотехнику и электронику. В больших специалистов со временем выросли тогдашние лаборанты А. П. Клементьев и А. И. Герасимов. Талантливыми инженерами-умельцами были В. О. Кузнецов и Е. Г. Дубинов. И конечно, Александр Иванович обеспечивал работу группы и внешнюю политику, проявив себя незаурядным менеджером, хотя и слово-то такое было тогда не в ходу.

В результате были созданы несколько типов бетатронов типа БИМ, в которых энергия электронов достигала 100 МэВ, токи — значительно больших величин, чем в обычных (железных) бетатронах. Благодаря малому диаметру фокуса электронного пучка (~ 1 – 3 мм) эти ускорители были успешно внедрены в практику газодинамических исследований. Появилась возможность изучения динамики внутренних частей шаровых зарядов натуральных размеров с использованием натуральных материалов. В 1963 г. эти работы были отмечены Ленинской премией. В 1966 г. ему было присвоено звание Героя Социалистического Труда. С тех пор бетатроны А. И. Павловского стали основным инструментом в газодинамических исследованиях ядерного оружия, проводимых ВНИИЭФ и ВНИИТФ.

В наши дни используются уже бетатроны третьего поколе-

ния, в которых решены проблемы устойчивости электронного пучка, достигнуты циркулирующие токи в несколько сотен ампер. Развитие идей Александра Ивановича в этом направлении реализуется в лаборатории нашего Научно-технического центра физики под руководством Ю.П. Куропаткина.

В 1959 г., после отъезда Ю. А. Зысина на «новый объект», его лабораторию 28 возглавил А. И. Павловский. Его бессменным заместителем стал Л. И. Сельченков. В 1964 г. она была преобразована в отдел 28 сектора 4 ВНИИЭФ.

После безжелезного бетатрона один шаг оставался до безжелезного линейного ускорителя электронов. Его сделали в 1967 г., когда был запущен первый ускоритель такого класса — ЛИУ-2. В. С. Босамыкин, А. И. Герасимов и А. П. Клементьев под руководством А. И. Павловского реализовали в этом ускорителе хоть и скромные, но рекордные для конца 60-х гг. параметры. Конструк-

торские разработки А. И. Павловский поручил талантливому конструктору Д. И. Зенкову.

Идея этого ускорителя значительно опередила технические возможности своего времени. Только в нашем веке человечеству удалось разработать конденсаторы необходимой мощности. И сегодня линейные трансформаторы, как принято сейчас называть устройства, предложенные А. И. Павловским, являются одной из перспективных схем для создания мощных электрофизических генераторов.

Революцией в ускорительной технике, поставившей имя А. И. Павловского в один ряд с классиками этой отрасли технической физики, было предложение (совместно с В. С. Босамыкиным) о создании линейных индукционных ускорителей на линиях с распределенными параметрами, совмещающих сильноточность, характерную для ускорителей прямого действия, с неограниченностью энергии, характерной для ЛИУ.



Создатели ускорителей БИМ.

*Сидят: А. И. Павловский, Е. Г. Дубинов, В. О. Кузнецов.
Стоят: А. П. Клементьев, Г. В. Склизков, А. Д. Тарасов*



А. И. Павловский



Директор Б. Г. Музруков и А. И. Павловский



Руководители сектора 4



Л. И. Сельченков, Р. З. Людаев, А. И. Павловский



С женой Розой Александровной



А. И. Павловский на Камчатке (фото Ю. Б. Харитона)



Перед демонстрацией



На Новой Земле



Визит во ВНИИЭФ президента Б. Н. Ельцина



Лауреаты Ленинской премии А. П. Клементьев, К. А. Морунов, А. И. Герасимов, В. А. Савченко, В. Ф. Басманов, В. С. Босамыкин со своим научным руководителем А. И. Павловским



Американская техника впечатляет



Ю. А. Хохлов (в центре) показывает гостям свой ускоритель ЛУ-50



На взрывной опыт с генератором сверхсильных полей впервые приглашены американцы из ЛАНЛ

В 1977 г. вошел в строй ЛИУ-10 с энергией электронов 10 МэВ. При его создании был решен целый ряд сложных технических проблем. Была создана многомодульная ускоряющая система (В. С. Босамыкин, А. П. Клементьев, Д. И. Зенков, В. С. Гордеев), первые в мире сильноточные магнитоизолированные диоды и системы инжекции на их основе (В. А. Савченко, В. Д. Селемир). Были исследованы неустойчивости электронных потоков и методы транспортировки электронного пучка на десятки метров (В. С. Босамыкин, В. Д. Селемир). Очень сложно было синхронизировать с наносекундной точностью работу сотен разрядников (В. А. Тананакин, А. И. Герасимов, В. С. Никольский, А. С. Федоткин, В. Ф. Басманов). Уместно вспомнить о том, как велись работы по созданию этого ускорителя. Александр Иванович вникал во все разработки, занимаясь и физикой и конструкцией машины. Автор этих строк — непосредственный участник событий, после экспериментов, которые продолжались зачастую до двух ночи, представлял обработанные результаты на совещании у А. И. Павловско-

го, где кроме хозяина кабинета присутствовали В. С. Босамыкин и В. А. Савченко. После этого разбирались все нюансы эксперимента, в ожесточенных спорах намечалась стратегия исследований, утверждаемая Александром Ивановичем. А на следующий день все повторялось. В течение полутора лет Павловский не щадил себя и требовал максимума от своих соратников. Может, поэтому за ним шли, ему доверяли.

С 1978 г. на ЛИУ-10 начались работы по лабораторному моделированию воздействия гамма-излучения ядерного взрыва на образцы военной техники. Многолетнее отставание от зарубежных лабораторий было преодолено. По инициативе А. И. Павловского и В. С. Босамыкина ЛИУ-10 был объединен с импульсным ядерным реактором типа ГИР (М. И. Кувшинов, А. М. Воинов и др.), тем самым к импульсу гамма-излучения был добавлен и нейтронный. В создании и исследовании такого излучательного комплекса активное участие приняли группы В. Д. Селемира, М. А. Воинова, К. А. Морунова. Проведенные эксперименты позволили обрабатывать стойкую к воз-

действию излучений ядерного взрыва военную технику.

В 1988 г. был принят в эксплуатацию разработанный под руководством А. И. Павловского и В. С. Босамыкина большим коллективом сотрудников сектора 4 еще более крупный ускоритель ЛИУ-30 — самый мощный генератор тормозного излучения в мире. Оснащение его импульсным реактором БР-1 (А. А. Малинкин, В. Ф. Колесов, А. А. Кошелев) превратило этот комплекс в основу экспериментальной базы ВНИИЭФ.

Предложение использовать ступенчатые линии в качестве элементов ускорительной техники (В. С. Босамыкин, В. С. Гордеев, А. И. Павловский) лежит в основе последних достижений ускорительной техники в Институте ядерной и радиационной физики. Здесь под руководством В. С. Гордеева создан ряд ускорителей, нашедших широкое применение в исследованиях ядерного взрыва и эффектов его воздействия (ЛИУ-10М и Страус-Р, ЛИУ-Р и др.).

В 1971 г. А. И. Павловский возглавил сектор 4 — крупнейшее отделение ВНИИЭФ. В 1979 г. он был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР по отделению ядерной физики.

Разработка ускорителей электронов была не единственным электрофизическим направлением в творчестве Александра Ивановича. Еще в 1957 г. в лабораторию Ю. А. Зысина перешла группа Р. З. Людаева, известная своими пионерскими работами в области магнитной кумуляции и магнитокумулятивных (взрывомангнитных) генераторов сверхсильных магнитных полей и сверхмощных импульсов электрических токов, предложенных в 1952 г. академиком Сахаровым. С 1959 г. Павлов-



А. И. Павловский и В. А. Белугин в Ливерморе. 1992 г.

ский стал принимать самое непосредственное участие в этих работах. Под его руководством был проведен опыт, где был получен наивысший на начальном этапе исследований генератора сверхсильных магнитных полей результат — 5МГс.

В 1966 г. А. Д. Сахаров предложил создать новую группу, специализированную по генераторам сильных магнитных полей. В 1969 г. на основе этой группы А. И. Павловским была образована новая лаборатория, которую он и возглавил. Потребовался упорный многолетний труд этой лаборатории и серьезные улучшения конструкции генератора, чтобы устойчиво получать поля 10–14 МГс (А. Г. Олейник, Н. П. Колокольчиков, М. И. Долотенко, А. И. Быков, О. М. Таценко и др.).

Имея такое уникальное устройство, Александр Иванович в 70-х гг. обратился к решению ряда фундаментальных проблем в физике твердого тела. Павловский с коллегами, используя ранее недоступный для экспериментов диапазон полей 1–10 МГс, провели пионерские эксперименты по исследованию магнитооптических эффектов в магнитоупорядоченных и полупроводниковых соединениях, был зарегистрирован циклотронный резонанс в видимой области спектра, изучены индуцированные магнитным полем фазовые переходы. С интересом были восприняты их исследования конденсированных водорода, дейтерия, аргона, криптона и других веществ при изоэнтропическом сжатии до давлений 3–7 Мбар.

В 1992 г. на конференции «Мегагаусс-6» в Альбукерке (США) А. И. Павловский сообщил о начатых под его руководством работах по созданию генератора сверхсильных магнитных полей двадцатимегага-



Линейный импульсный ускоритель электронов ЛИУ-30

усного диапазона. Ему не суждено было завершить эту работу. Коллективу его учеников и единомышленников Научно-технического центра физики ВНИИЭФ понадобилось еще около 5 лет для успешной реализации рекордного на сегодняшний день магнитного поля в 28 мегагаусс.

Работы по созданию генераторов сверхсильных магнитных полей и экспериментальных исследований свойств веществ в этих полях отмечены Государственной премией РФ. Среди лауреатов и А. И. Павловский (посмертно).

Что касается магнитокумулятивных генераторов энергии, то уже в 60-х гг. во ВНИИЭФ оформилось два коллектива, ведущих работы в этой области: под руководством А. И. Павловского и В. К. Чернышева. Такие генераторы — это мощные источники энергопитания различных устройств. За прошедшее время оформились основные типы таких генераторов, средств их согласования с различными нагрузками и формирования токового импульса. Проведено много

физических экспериментов с использованием магнитокумулятивных генераторов.

При непосредственном участии А. И. Павловского в лаборатории Р. З. Людаева был разработан ряд конструкций спиральных генераторов, отличающихся высоким усилением энергии и достаточно высокой величиной этой энергии. Опубликованный в 1979 г. спиральный генератор С-320 был воспроизведен в США, и затем в несколько усовершенствованном виде использовался Лос-Аламосом до 1995 г. Было создано семейство спирально-коаксиальных генераторов серии «Вулкан», серийный выпуск которых был налажен на ленинградской «Электросиле» (Р. З. Людаев, А. С. Серегин, В. А. Золотов, Л. Н. Пляшкевич, А. С. Кравченко, А. М. Шувалов, Б. А. Бойко, Д. И. Зенков, В. Ф. Басманов и др.). Генераторы отличались высокой выходной энергией. Имея выходные трансформаторы, они могли использоваться самостоятельно либо составляли каскадную систему, усиливающую энергию примерно в 10000 раз.

Под руководством А. И. Павловского разрабатывались также быстроходные генераторы с высокой выходной мощностью. Исследовались дисковые генераторы, был испытан вариант метрового диаметра, имеющий 10 дисковых кассет с зарядом ВВ (Р. З. Людаев, Б. А. Бойко, А. С. Борискин) с амплитудой тока ~ 300 МА. На коаксиальном генераторе с одновременным иницированием заряда взрывчатого вещества по его оси при токах в десятки мегаампер выходные мощности превышали 1 ТВт.

Другим быстроходным генератором является разработанный А. И. Павловским и В. А. Васюковым витковый генератор. Здесь металлическая труба с иницируемым по оси зарядом размещается внутри широкого витка с током. Достигнута энергия 10 МДж при мощности 1,5 ТВт. Развитие магнитокумулятивных генераторов с повышенной мощностью и по сей день является актуальной задачей. Разрабатывались также сильноточные размыкатели токового контура, один из типов которых получил в литературе название «размыкатель Павловского».

На основе такой энергетической базы Александр Иванович развернул широкомасштабные работы по созданию физических установок, требующих высокой энергетики. Это прежде всего мощные импульсные лазеры. С 1965 г. по 1981 г. в СССР осуществлялась программа исследований по созданию варианта ПРО, предусматривающего разрушение боеголовок противника лазерным лучом. Образцы таких лазеров, питаемых от магнитокумулятивных генераторов, и сами специализированные для этой задачи конструкции магнитокумулятивных

генераторов разрабатывались в коллективе Павловского под его энергичным руководством и при его активном участии в научных исследованиях.

Сначала рассматривались твердотельные лазеры на недиомовом стекле с длительностью импульса излучения более 1 мс. Была создана лазерная установка с энергией излучения ~ 100 кДж (Л. В. Суханов, Н. В. Романенко, Г. М. Спириков и др.). Затем был создан фотодиссоционный йодный лазер с импульсом излучения длительностью ~ 100 мкс и энергией ~ 120 кДж (Н. Н. Петров, Б. П. Гитерман, Б. В. Лажинцев, Д. И. Зенков и др.). Были также разработаны образцы CO_2 -лазеров с микросекундной длительностью импульса (В. И. Карелин, В. Т. Селявский). Примененная в этих лазерах электрофизическая схема формирования разряда, предложенная А. И. Павловским, В. С. Босамыкиным, В. И. Карелиным, длительное время использовалась в ИЛФИ ВНИИЭФ, а также в Институте физической химии РАН, для иницирования химических лазеров.

К этим работам примыкают исследования мощного магнитоприжатого электрического разряда. Группами В. А. Савченко и Г. М. Спирикова под руководством А. И. Павловского созданы эффективные источники оптического излучения, моделирующие излучение ядерного взрыва.

По инициативе А. И. Павловского были начаты работы по созданию на основе магнитокумулятивных генераторов транспортабельных установок, моделирующих воздействие на различные объекты электромагнитного импульса ядерного взрыва молнии. Были проведены эксперименты непосредственно в районе расположения исследуемых на стойкость к такому

импульсу объектов (В. А. Золотов, А. С. Кравченко, А. С. Борискин, В. А. Терехин и др.).

В середине 80-х гг. А. И. Павловский поддержал предложение В. Д. Селемира об организации во ВНИИЭФ исследований по новому направлению — прикладной релятивистской СВЧ-электронике. Уже в 1990 г. в ДАН СССР была опубликована статья о первом в мире эксперименте по преобразованию энергии магнитокумулятивного генератора в мощное СВЧ-излучение (А. С. Кравченко, В. Д. Селемир и др.), проведенном при участии А. И. Павловского. Эти работы продолжаются в настоящее время под руководством В. Д. Селемира.

Очень большое значение А. И. Павловский придавал налаживанию международных связей. Он стоял у истоков международных конференций по генерированию взрывом сильных магнитных полей и родственными экспериментам, получившим позже краткое название «Мегагаусс». По инициативе академика А. Д. Сахарова он и В. К. Чернышев уже готовились в 1965 г. к отлету в Рим на первую конференцию, но это не было разрешено. Не разрешили также и представить туда доклады. В трудах конференции были опубликованы только краткие аннотации коллективов А. И. Павловского и В. К. Чернышева, но и они явились тогда сенсацией для участников конференции. В дальнейшем очно или заочно Павловский участвовал в работе всех этих конференций (при жизни Павловского их было шесть). Он был членом постоянно действующего Программного комитета этих конференций. Их успех определялся главным образом диалогом между ВНИИЭФ (коллективы Павловского и Чернышева) и



Одна из последних фотографий
А. И. Павловского

Лос-Аламосской лабораторией. В 2006 г. прошла уже 11-я конференция «Мегагаусс».

В начале 90-х гг. А. И. Павловский прилагал большие усилия для налаживания связей с зарубежными лабораториями. Первый совместный с Лос-Аламосской лабораторией взрывной эксперимент с генератором сверхсильных магнитных полей был проведен во ВНИИЭФ в 1992 г. под руководством Павловского. В дальнейшем было проведено много таких совместных экспериментов как в Сарове, так и в Лос-Аламосе.

В 1971 г. Александр Иванович возглавил сектор 4 — экспериментальное отделение ВНИИЭФ с большим коллективом и чрезвычайно обширными научными интересами, уже сложившимися научными школами. Разработчики импульсных ядерных реакторов (А. А. Малинкин, В. Ф. Колесов, М. И. Кувшинов, А. М. Воинов), радиохимии (А. А. Лбов, С. П. Весновский), химии (В. Р. Негина, Э. А. Козырева), ядерно-физическая школа (Г. П. Андропов, Э. Ф. Фомушкин, Ю. А. Хохлов, Б. Я. Гужовский, С. Н. Абрамович), самобытный отдел патриарха отечественной импульсной рентгенографии В. А. Цукермана, коллективы

испытателей ядерных зарядов, возглавляемые В. М. Горбачевым и Е. К. Бонюшкиным — вот далеко не полный список специалистов, определявших жизнь отделения. А еще электронщики, экспериментальное производство, электроцех, вспомогательные службы. Огромное хозяйство досталось Александру Ивановичу.

Большое внимание А. И. Павловский уделял на этом посту развитию экспериментальной базы ВНИИЭФ. Были построены линейный ускоритель электронов ЛУ-50 и электронный ускоритель прямого действия «Орион», введен в строй самый мощный импульсный реактор БИГР. Был разработан ряд методик исследований ядерных зарядов в полигонных опытах. А. И. Павловский был непосредственным участником подземных ядерных испытаний, одним из инициаторов их более широкого использования в интересах фундаментальных исследований. Государственная премия (1983 г.) — иллюстрация значимости его вклада в этой области.

Ему удавалось объединить усилия большого коллектива для решения общих задач, требующих комплексного подхода и напряженной работы. В 1988 г. ему было присвоено звание «Заслуженный деятель науки и техники России». В 1992 г. А. И. Павловский был избран действительным членом РАН.

Во многих десятках изобретений, статей нашли отражения оригинальные технические решения, принадлежащие А. И. Павловскому. Еще целых 5 лет после его смерти в печати продолжали появляться статьи с его именем в авторском коллективе. Некоторые были написаны еще с его участием, другие отражали проведенные

совместно с ним работы и, наконец, осуществленные идеи, его или благословленные им.

Работа продолжается. Многие идеи Павловского развиваются в работах Научно-технического физического центра (НТЦФ) под руководством В. Д. Селемира, сформированного в 1995 г. на основе руководимого ранее самим Павловским отдела 03 сектора 4 и сектора 4 Института ядерной и радиационной физики (ИЯРФ) под руководством В. Т. Пунина. Продолжается дело, которому А. И. Павловский посвятил всю свою яркую жизнь, способствуя поддержанию высокого научного авторитета нашего института, завоеванного трудами выдающихся физиков ВНИИЭФ.

В числе этих физиков и сам Александр Иванович — человек, труды которого во многом определили лицо экспериментальной физики ВНИИЭФ. Человек, признанный не только в России, но и в мире, дело которого продолжается и, я надеюсь, будет продолжаться и дальше.

Характерная черта школы Павловского — оригинальность технических решений и оригинальность работ. «Мы не повторяем чужих работ, пусть нас повторяют!» — девиз А. И. Павловского, определивший самобытность физической школы ВНИИЭФ, которая и сегодня ведет исследования на передовых рубежах мировой науки и техники в области физики высоких плотностей энергии и направленных потоков излучений.

СЕЛЕМИР

Виктор Дмитриевич — заместитель научного руководителя РФЯЦ-ВНИИЭФ, директор НТЦФ РФЯЦ-ВНИИЭФ, доктор физико-математических наук, лауреат премий Правительства РФ