

Андрей Георгиевич Забродский

(к 80-летию со дня рождения)

PACS number: 01.60.+q

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2026.05.040144>

26 июня 2026 г. исполняется 80 лет Андрею Георгиевичу Забродскому — академику Российской академии наук (РАН), профессору, главному научному сотруднику Физико-технического института (ФТИ) им. А.Ф. Иоффе, работающему в областях физики конденсированных сред, физического материаловедения и прикладной физики.

Приобщение А.Г. Забродского к исследовательской деятельности началось в годы обучения в Ленинградском политехническом институте (ЛПИ), когда студент, выполнявший дипломную работу в секторе Ж.И. Алферова ФТИ им. А.Ф. Иоффе (Физтех), зарегистрировал многолучевые диаграммы направленности гетеролазеров и разобрался в их природе, сведя проблему к электродинамической задаче возбуждения поперечных мод высших порядков в диэлектрическом волноводе. Потом были красный диплом, военный билет, лейтенантская служба и поступление в аспирантуру ФТИ в 1972 г.

Руководитель аспиранта А.Г. Забродского — профессор С.М. Рывкин предложил заняться бурно развивавшейся физикой неупорядоченных систем, конкретно, природой эффекта электрической бистабильности в сильнолегированных компенсированных полупроводниках. Удалось выяснить, что в основе этого эффекта лежит явление ударной ионизации основных примесей, осложнённое различными проявлениями разупорядоченности. Однако в более простом — омическом — режиме эксперименты упорно не подтверждали популярный в те годы закон Мотта для прыжковой проводимости с переменной длиной прыжка (Variable Range Hopping, VRH)¹, что заставило А.Г. Забродского заняться этой проблемой, начав с материала.

На стыке полупроводниковой и ядерной физики Андрей Георгиевич провёл серию оригинальных экспериментов, базирующихся на уникальных особенностях нейтронной трансмутации Ge, представляющего собой природную смесь пяти изотопов. В результате реакций радиационного захвата ими нейтронов и последующего радиоактивного распада образуются водородоподобный донор As, глубокий двухзарядный донор Se и основная трансмутационная примесь — мелкий акцептор Ga с периодом полураспада порядка часа, суток и 10 суток соответственно. Поэтому, если сразу после облучения в ядерном реакторе произвести отжиг сопутствующих радиационных дефектов, то можно наблюдать ступенчатое перемещение уровня Ферми через запрещённую зону вследствие захвата электронов с уже возникших доноров образующимися акцепторами. Регистрируя эти ступени, А.Г. Забродский смог существенно уточнить плохо известные на то время ядерно-физические постоянные "легирующих" изотопов Ge и создать способ варьирования выхода трансмутационных примесей путём изменения жёсткости спектра нейтронов с помощью фильтров. Прикладной выход состоял в решении задач изготовления однородно легированного Ge:Ga с фиксированной компенсацией для первых отечественных глубокоохлаждаемых высокочувствительных болометров и криотерморезисторов, а также серий образцов Ge:As и Ge:Ga с контролируемым уровнем легирования и компенсацией для изучения проблем прыжкового транспорта.

Для исследования режима VRH, чувствительного к ходу плотности состояний в окрестности уровня Ферми, но не обладающего постоянной энергией активации и потому сложного для исследований, А.Г. Забродский разработал прецизионный способ анализа, которым доказал существование узкой квазищели в плотности локализованных состояний на уровне Ферми на полученных сериях образцов, а потом и на других неупорядоченных системах. Для случая высоких компенсаций (вдали от перехода изолятор–металл) ему удалось идентифицировать подобную квазищель с одноэлектронной моделью кулоновской



Андрей Георгиевич Забродский

щели Эфроса–Шкловского, своего рода "экситонным" эффектом притяжения прыгающего электрона к возникающей на его месте дырке. Со своим учеником А.Г. Андреевым он обнаружил существование аномально узких кулоновских щелей многоэлектронной природы.

Опыт изучения кулоновских щелей был использован А.Г. Забродским в совместных с К.Н. Зиновьевой экспериментах по одной из центральных проблем физики неупорядоченных систем — фазовому переходу изолятор–металл (ИМ). Оказалось, что переход представляет собой явление схлопывания кулоновской щели в критической точке вследствие расходимости статической диэлектрической проницаемости. Продвижение в этих опытах до сверхнизких температур (десятки мК) позволило проследить процесс схлопывания вплоть до малых окрестностей уровня Ферми. Критические параметры перехода ИМ, как оказалось, зависят от степени заполнения состояний примесной зоны полупроводника (степени компенсации).

На основе техники электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) А.Г. Забродским в содружестве с А.И. Вейнгером были разработаны и широко использованы высокочувствительные бесконтактные методы исследования "грязных" металлов, сверхпроводящих, изоляторных и металлических кластеров, а также слабых магниторезистивных эффектов. С их помощью были выполнены исследования наноразмерных кластеров в твёрдых растворах Si–Ge, ограничивающих возможности создаваемых на

¹Н.Ф. Мотт — лауреат Нобелевской премии 1977 г. "за фундаментальные теоретические исследования электронной структуры магнитных и неупорядоченных систем".

их основе приборных структур. Задолго до открытия сверхпроводников на основе железа была обнаружена сверхпроводимость в железосодержащих кластерах в стёклах. Был также зарегистрирован эффект затягивания проявления паулиевского парамагнетизма в изоляторную сторону перехода ИМ при температурах, достаточных для теплового замыкания кулоновской щели.

Но основным применением этих методов стало исследование низкотемпературных эффектов взаимодействия локализованных на донорах спинов в области перехода ИМ. Оказалось, что результатом таких эффектов может быть образование синглетного (антиферромагнитного) либо триплетного (ферромагнитного) состояния, причём проявлению последнего способствуют умеренное заполнение состояний примесной зоны и низкие температуры. Способность немагнитного полупроводника с водородоподобными примесями намагничиваться вблизи перехода ИМ была напрямую доказана в опытах А.Г. Забродского, А.Г. Андреева и Р.В. Парфёнова по наблюдению гистерезиса магнетосопротивления в режиме VRH в нейтронно-легированном Ge:Ga, а затем — измерениями А.Г. Забродским, А.И. Вейнгером и П.В. Семенихиным кривых намагничивания Si:P с помощью СКВИД-магнетометра.

В сотрудничестве с Н.А. Поклонским (Беларусь) А.Г. Забродским выполнены десятки работ по продвижению теоретического описания эффектов экранирования, различных зарядовых корреляций, образования поляронов, прыжкового транспорта в кристаллических полупроводниках (включая многоуровневые) далеко за область изученного ранее предела слабого легирования (вплоть до фазового перехода ИМ), а также по исследованию эффектов магнитного упорядочения вблизи перехода. Среди последних: построение модели так называемой ϵ_2 -проводимости (в которой, в отличие от известной модели Хаббарда, рассматриваются туннельные электронные переходы между основными примесями), впервые описавшей её наблюдаемое поведение на изоляторной стороне перехода ИМ в Ge и Si; объяснение трансформации антиферромагнетик — ферромагнетик — парамагнетик с ростом концентрации вблизи перехода ИМ; изучение влияния на суперпарамагнетизм поликристаллического алмаза кластеризации спин-радикалов, образованных радиационными дефектами.

Работа А.Г. Забродского на постах заведующего лабораторией (1989–2017 гг.), заместителя директора (1998–2003 гг.) и директора (2003–2018 гг.) ФТИ стимулировала расширение тематики его исследований в сторону крупных прикладных и инфраструктурных проектов.

В сотрудничестве с В.К. Ерёминым был решён ряд задач физики радиационно-стойких детекторов и создания принципиально новых их конструкций для физики высоких энергий. Так, в рамках международных коллабораций ЦЕРН RD-39 (криогенные детекторы), RD-42 (алмазные детекторы) и RD-50 (кремниевые детекторы) создан новый тип детекторов — "детекторы с торцевой чувствительностью" для исследования малоуглового рассеяния ионов прямого пучка Большого адронного коллайдера (БАК) в экспериментах TOTEM.

Под руководством А.Г. Забродского в рамках программы "РАН–Норникель" по водородной энергетике был выполнен цикл исследований и разработок, приведших к созданию эффективных компактных источников тока на основе разработанных в ряде лабораторий ФТИ технологий воздушно-водородных топливных элементов, активный каталитический слой которых формировался из углеродных нанотрубок, микрочастиц сажи и иономера. Обладая удельной энергоёмкостью на уровне мировых аналогов, опытные образцы превосходили их по стабильности рабочих характеристик при изменении температуры, влажности и конвекции воздуха.

Под руководством А.Г. Забродского Физтех стал участником масштабного проекта по разработке и модернизации промышленных технологий изготовления солнечных модулей в составе научно-производственного консорциума вместе с созданным на его площадях в 2012 г. и укомплектованным высококвалифицированными научными кадрами ФТИ Центром тонкоплёночных технологий в энергетике (ЦТТЭ — ООО "Хевел", научный руководитель — Е.И. Теруков), а также заводом "Хевел" в г. Новочебоксарске. Проект завершился реконструкцией завода и переходом его на выпуск вдвое более эффективных модулей на основе разработанных в ЦТТЭ кремниевых гетероструктур a-Si:H/c-Si, что сделало его основным их производителем в Российской Федерации.

А.Г. Забродским и В.В. Ждановым был реализован инфраструктурный проект создания научно-технологического комплекса "Литий-ионные технологии", который обеспечил выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) по заказам промышленности в области разработки литий-ионных аккумуляторов и батарей высокой удельной мощности.

А.Г. Забродский инициировал и до 2018 г. руководил масштабным и сложным в реализации инвестиционным проектом по



С женой Валентиной. Андорра, 2002 г.

созданию в ФТИ НИОКР-центра, имеющего целью модернизацию и развитие инфраструктуры созданного академиком Ж.И. Алфёровым комплекса гетероструктурных технологий, для выполнения заказов со стороны предприятий высокотехнологического комплекса страны.

Напряжённым для А.Г. Забродского стало и выполнение Физтехом проекта модернизации своего сферического токамака — "Глобус М2" (руководитель — В.К. Гусев), особенно после того, как он оказался перед угрозой срыва из-за серьёзной аварии в предпусковой период.

В 2015 г. при поддержке научного руководителя Института цитологии РАН академика РАН Н.Н. Никольского А.Г. Забродский организовал направление "Физика — наукам о жизни", в которое вовлечены учёные из научных центров и университетов Санкт-Петербурга и других городов страны, ведущие исследования и разработки подходов, методов, материалов, технологий и приборов на стыке физики, медицины, биологии и агротехнологий с регулярным проведением одноимённых конференций.

Под руководством А.Г. Забродского Физтех диверсифицировал источники своего бюджета за счёт средств фондов, заказов и привлечения инвестиций; утвердился в качестве одного из ведущих научных центров России по профилям "Генерация знаний" и "технологии"; несмотря на кризисы 2008 г. и 2014–2015 гг., избежал массового сокращения численности научных работников, рост зарплаты которых заметно обгонял инфляцию; по предложению РАН перешёл к самостоятельному изданию пяти учреждённых совместно с РАН научных журналов.

В 1993–2003 гг. А.Г. Забродский вёл Общий курс физики в Санкт-Петербургском государственном политехническом университете (СПбГПУ) и организовал факультативный семинар по его внепрограммным разделам для привлечения интересующихся физикой студентов, многие из которых потом связали свою жизнь с Физтехом. В 2006–2021 гг. возглавлял основанную им базовую кафедру Физики и технологий твердотельной электроники в Санкт-Петербургском государственном электро-техническом университете (СПбГЭТУ — ЛЭТИ), на которой, в частности, были подготовлены специалисты для завода "Хевел" в г. Новочебоксарске. Вот уже 30 лет он организует ежегодные Международные зимние школы ФТИ по физике полупроводников, слушатели которых стали докторами наук, профессорами РАН и членами РАН. По инициативе А.Г. Забродского ФТИ стал участником программы по самостоятельному присуждению учёных степеней, более чем на 50 % увеличил численность своей аспирантуры.

В 2008 г. А.Г. Забродский был избран членом-корреспондентом, а в 2016 г. — действительным членом РАН. Будучи членом Президиума РАН в 2017–2022 гг. и Бюро Отделения физических наук РАН в 2008–2022 гг., участвовал в создании Отделения РАН в Санкт-Петербурге и в организации экспертной деятельности РАН. Главный редактор *Журнала технической физики*, основанного академиком А.Ф. Иоффе в 1931 г., член Научно-издательского совета РАН и его Бюро, участник национально-ориентированной реформы научно-издательской деятельности РАН.

Лауреат Премий Совета Министров СССР (1983 г.) и Правительства Российской Федерации (2018 г.) в области науки и техники. Награждён орденами Дружбы и Почёта.

Его экстремальные спортивные увлечения в свободное время (байдарочный туризм и горные лыжи) постепенно уступили место лесным прогулкам и рукотворной деятельности по содержанию крестьянского дома на Псковщине (в 1990-е гг.), а с 2000-х гг. — построенной под Санкт-Петербургом дачи.

Сердечно поздравляем Андрея Георгиевича с 80-летием! Желаем здоровья и новых свершений на ниве науки, развития Физтеха и Академии!

Е.Б. Александров, Л.М. Зелёный, В.В. Кведер, Н.Н. Колачевский, Г.Я. Красников, Ю.Н. Кульчин, В.А. Матвеев, В.Н. Пармон, О.В. Руденко, А.М. Сергеев, А.М. Шалагин, И.А. Шербаков