

Александр Абрамович Белавин

(к 80-летию со дня рождения)

PACS number: 01.60. + q

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2022.09.039241>

28 августа 2022 года исполнилось 80 лет выдающемуся физику-теоретику, учёному с мировым именем, члену-корреспонденту Российской академии наук, главному научному сотруднику Института теоретической физики им. Л.Д. Ландау Белавину Александру Абрамовичу.

Белавин А.А. — всемирно известный физик-теоретик, автор фундаментальных научных результатов, в значительной степени определивших современное состояние квантовой теории поля и теории квантовых струн. Белавин А.А. является автором более 150 научных работ.

О широком мировом признании этих работ говорит их высокий индекс цитируемости (более 9500 ссылок). Александр Абрамович — лауреат международных премий; премии Гумбольдта, премии им. И.Я. Померанчука и премии Л. Онзагера.

Александр Абрамович родился в Горьком (Нижнем Новгороде) в 1942 году. Его отец возглавлял конструкторский отдел на авиационном заводе имени Орджоникидзе, а мама преподавала в радиотехническом техникуме. А.А. Белавин учился в Горьковском университете на радиофизическом факультете в 1960–1964 гг., с первого по четвёртый курс. В то время на радиофизический факультет из Москвы приезжали с лекциями для студентов ведущие учёные: В.Л. Гинзбург, И.Е. Тамм, Е.Л. Фейнберг и др. После одной из лекций Евгения Львовича Фейнберга А.А. Белавин решил заниматься физикой элементарных частиц. Из разговора с Фейнбергом выяснилось, что "учат физике элементарных частиц в Московском физико-техническом институте (МФТИ), но лучше учиться в Московском инженерно-физическом институте (МИФИ)". Так Александр Абрамович оказался в МИФИ. Учился он на кафедре теоретической ядерной физики, где, в частности, преподавали И.Я. Померанчук, А.Б. Мигдал, А.С. Шварц, В.Д. Мур и другие выдающиеся учёные. В то же время Александр Абрамович начал посещать теоретические семинары в Институте экспериментальной и теоретической физики (ИТЭФ), теоретическим отделом которого заведовал Исаак Яковлевич Померанчук. Вскоре Александр Абрамович стал дипломником в ИТЭФ под руководством Михаила Васильевича Терентьева. По окончании МИФИ А.А. Белавин стал уже аспирантом ИТЭФ, где впоследствии защитил кандидатскую диссертацию, посвящённую физике электрослабых взаимодействий. Руководителем диссертации был Игорь Юрьевич Кобzarev.

После окончания аспирантуры Александр Абрамович вернулся обратно в Горький. Однако научных связей с московскими коллегами он не терял. Так, при участии Александра Абрамовича в Горьком были организованы лекции ведущих учёных, в частности А.М. Полякова. Общение с Поляковым привело в 1975 году к открытию инстантонов в теории Янга–Миллса. Эти результаты, опубликованные в знаменитой статье «Pseudoparticle solutions of the Yang–Mills equations» (см. А.А. Belavin, А.М. Polyakov, А.С. Schwartz and Y.S. Tyupkin, *Phys. Lett. B* **59** 85–87 (1975)), сразу же "прогремели" на весь мир. В тот же год Александр Абрамович перешёл на работу в Институт теоретической физики (ИТФ) им. Л.Д. Ландау, где и работает по настоящее время. Общение с коллегами из ИТФ, в частности, с выдающимися профес-



Фото Ю.Л. Докшипера

Александр Абрамович Белавин

сиональными математиками, определило круг научных интересов Александра Абрамовича на долгие годы.

Научные результаты, полученные А.А. Белавиным, изменили научный ландшафт и стали основой для дальнейших исследований. Так, открытие инстантонов привело, в частности, к решению так называемой $U(1)$ проблемы в квантовой хромодинамике, пролило новый свет на проблему нарушения СР-инвариантности в теории сильных взаимодействий. Также наличие инстантонов важно для решения до сих пор открытой проблемы конфайнмента. Современное понимание теории Янга–Миллса, и особенно её суперсимметричных версий, было бы невозможно без их учёта. Инстантоны и топологические секторы существуют и во многих других квантовых и статистических системах. Например, инстантоны в $O(3)$ сигма-модели, открытые Белавиным и Поляковым (см. А.А. Белавин, А.М. Поляков «Метастабильные состояния двумерного изотропного ферромагнетика» *Письма в ЖЭТФ* **22** 503–506 (1975)), играют роль в разрушении дальних корреляций. Различные модификации инстантонов в $O(3)$ сигма-модели,

такие как бэби-скирмионы, играют заметную роль в физике твёрдого тела при изучении магнитных явлений в тонких плёнках. С другой стороны, открытие инстантонов и уравнения самодуальности дало поразительный пример того, как топологические конструкции (как, например, понятие класса Понтрягина) могут быть полезными в физике. Развитие науки продемонстрировало важность уравнения самодуальности как в физике, так и в математике (например, теория Дональдсона в топологии); это уравнение всё ещё является областью активных исследований.

В работе Белавина и Захарова «Yang–Mills Equations as Inverse Scattering Problem» была открыта глубокая связь между инстантонами и комплексной геометрией (см. A.A. Belavin, V.E. Zakharov *Phys. Lett. B* **73** 53–57 (1978)). А именно, было показано, что инстантон на четырёхмерной сфере, по существу, является голоморфным векторным расслоением на трёхмерном комплексном проективном пространстве с некоторыми дополнительными свойствами. Оказалось, что можно классифицировать инстантоны, используя методы алгебраической геометрии. Такой подход впоследствии привёл к полной классификации инстантонов Атьей, Дринфельдом, Хитчиным и Маниным.

Белавиным в 1979 г. было получено точное решение $SU(2)$ модели Тирринга (A.A. Belavin, «Exact solution of the two-dimensional model with asymptotic freedom» *Phys. Lett. B* **87** 117–121 (1979)). В частности, решение включало разработку метода, известного сегодня как "иерархический анзац Бете". Решение Белавина послужило основой для точного решения модели Кондо.

Отдельно стоит отметить вклад А.А. Белавина в теорию интегрируемых систем. Современная теория интегрируемых систем включает в себя базовое понятие R -матрицы, которое определяет алгебру фундаментальных наблюдаемых в теории, или, в классическом пределе, соответствующую пуассонову структуру. R -матрица удовлетворяет знаменитому уравнению Янга–Бакстера. В 1980 году Белавиным в статье «Дискретные группы и интегрируемость квантовых систем» были построены эллиптические решения этого уравнения (см. А.А. Белавин *Функциональный анализ и его приложения* **14** 18–26 (1980)). В той же работе была обнаружена фундаментальная связь между классическими уравнениями Янга–Бакстера и алгебрами Ли. Классификация интегрируемых систем сводится к классификации решений этих уравнений. В квантовом случае проблема остаётся в значительной степени открытой, но в классическом пределе полное решение было найдено в работах Белавина и Дринфельда (А.А. Белавин, В.Г. Дринфельд *Функциональный анализ и его приложения* **16** 1–29 (1982), **17** 69–70 (1983)), где классификация классических R -матриц была задана в терминах простых алгебр Ли. Это открытие оказало глубокое влияние на дальнейшее развитие теории, включая последующее открытие представлений квантовых групп и янгианов.

В знаменитой работе Белавина, Полякова и Замолодчикова «Infinite conformal symmetry in two-dimensional quantum field theory» был предложен общий подход к изучению двумерных конформных квантовых теорий поля (см. A.A. Belavin, A.M. Polyakov and A.B. Zamolodchikov *Nucl. Phys. B* **241** 333–380 (1984)). В данной работе был построен бесконечный набор точно решаемых нетривиальных моделей двумерной квантовой теории поля, так называемых "минимальных моделей". Существенным продвижением, сделанным в данной работе, было, в частности, прояснение того факта, что пространство состояний двумерных конформных теорий поля описывается с помощью бесконечномерной неабелевой алгебры динамической симметрии — алгебры Вирасоро. Это позволило классифицировать поля в двумерной конформной квантовой теории поля, задействовав аппарат теории представлений алгебры Вирасоро. Кроме важности приложения конформной теории поля для теории струн и статистической физики, следует подчеркнуть её роль для теории представлений, особенно для теории представлений бесконечномерных алгебр Ли. Работа Белавина, Полякова и Замолодчикова также при-

вела к математической теории алгебр вершинных операторов и затем к геометрическому варианту этой теории, разработанному Дринфельдом и Бейлинсоном, под названием теории киральных алгебр. Киральные алгебры в настоящее время являются одним из основных инструментов, используемых в геометрической программе Ленглендса.

В работе Белавина и Книжника «Комплексная геометрия и теория квантовых струн» (А.А. Белавин, В.Г. Книжник *ЖЭТФ* **91** 364 (1986)) была рассмотрена мера Полякова на пространстве модулей замкнутых римановых поверхностей в теории бозонных струн в критической размерности $D = 26$. Вычисления, выходящие за рамки древесного приближения, включают в себя исследование сечений над пространствами модулей римановых поверхностей, причём подынтегральные выражения являются определёнными функциональными детерминантами. Белавин и Книжник установили аналитическую структуру зависимости таких детерминантов на пространстве конформных модулей римановых поверхностей. Этот результат, широко известный как "теорема Белавина–Книжника", стал основой для струнных петлевых вычислений, а также породил волну новых исследований в математике.

В совместной статье с Замолодчиковым («Интегралы по пространству модулей, кольцо дискретных состояний и четырёхточечная функция в минимальной лиувиллевской гравитации» А.А. Белавин, Ал. Б. Замолодчиков *ТМФ* **147** (3) 339–371 (2006)) Александром Абрамовичем был развит метод вычисления многоточечных корреляционных чисел в минимальной лиувилевской гравитации. Разработанный метод был затем использован в ряде работ для исследования корреляционных чисел на поверхностях с разной топологией и с различным количеством вставок физических операторов.

В совместной работе с Алёшкиным «A new approach for computing the geometry of the moduli spaces for a Calabi–Yau manifold» (см. K. Aleshkin and A. Belavin *J. Phys. A* **51** (5) 055403 (2018)) был построен новый метод получения эффективной теории поля, которая возникает в теории струн при компактификации 6-ти из 10-ти измерений на многообразия Калаби–Яу. Данный метод был затем успешно применён для проверки гипотезы о зеркальной симметрии.

Александр Абрамович на протяжении многих лет руководит научной школой, занимаясь подготовкой студентов, аспирантов, кандидатов и докторов наук. Будучи учёным мирового класса, он находит время читать регулярные курсы по квантовой теории поля, теории струн и квантовой гравитации, организовывать научные школы и конференции, руководить семинаром по квантовой теории поля в ИТФ им. Л.Д. Ландау. Руководимая Александром Абрамовичем кафедра МФТИ традиционно пользуется большой популярностью у студентов. Ежегодно она выпускает молодых специалистов, которые с успехом находят себя в науке в ведущих университетах мира.

Александр Абрамович всегда уделял значительную часть своего времени популяризации науки. Его лекции для студентов-младшекурсников, а иногда и для школьников, всегда привлекали молодых людей и мотивировали их к занятию наукой.

Отдельно хочется отметить активную гражданскую позицию Александра Абрамовича. В трудные для страны годы он находил и находил в себе силы продолжать самоотверженно заниматься своим любимым делом — наукой, тем самым являя собой пример для подражания молодому поколению учёных.

Дорогой Александр Абрамович! Многочисленные коллеги, ученики и друзья поздравляют Вас с 80-летием и желают Вам крепкого здоровья и дальнейших творческих успехов. Пусть Ваша научная эрудиция, опыт великих научных открытий и педагогический талант служат на благо Науки!

П.И. Арсеев, М.А. Васильев, М.И. Высоцкий,
А.С. Горский, В.Г. Дринфельд, А.Б. Замолодчиков,
В.Е. Захаров, А.В. Литвинов, А.М. Поляков,
В.А. Рубаков, Б.Л. Фейгин, М.А. Шифман