

## Памяти Владимира Степановича Попова

PACS number: 01.60. + q

27 декабря 2020 года ушёл из жизни выдающийся российский физик-теоретик, всемирно известный специалист в области квантовой механики, квантовой электродинамики и физики сверхсильных электромагнитных полей, главный научный сотрудник Института теоретической и экспериментальной физики профессор Владимир Степанович Попов.

Владимир Степанович родился в Москве 25 декабря 1932 г. В 1956 году он окончил физический факультет Московского государственного университета (МГУ). Его дипломная работа относилась к экспериментальной физике и была посвящена детекторам элементарных частиц. Теоретической физикой Владимир Степанович начал заниматься в аспирантуре, где его научным руководителем был И.С. Шапиро. Первые работы Владимира Степановича, тематика которых определялась научными интересами Иосифа Соломоновича, были посвящены эффектам несохранения чётности в распадах ядер и теории столкновений дейтрона с тяжёлыми ядрами. Одновременно Владимир Степанович занимался проблемой движения спина во внешнем электромагнитном поле. В процессе этой работы он независимо пришёл к уравнению для вектора поляризации частицы, примерно в то же время найденному Баргманом, Мишелем и Телегди и носящему сейчас их имена.

После окончания аспирантуры Владимир Степанович начал работать в Институте теоретической и экспериментальной физики (ИТЭФ), сотрудником которого он оставался более 60 лет.

В середине 1960-х годов Владимир Степанович заинтересовался проблемами взаимодействия сверхсильных электромагнитных полей с атомами. Такой интерес не был случайным: создание источников когерентного светового поля (лазеров) открыло новую область исследований — физику сверхсильных электромагнитных полей, а знаменитая работа Л.В. Келдыша (1964) на десятилетия определила направление развития теории взаимодействия сверхсильных электромагнитных полей с атомными системами.

В 1966–1969 гг. Владимир Степанович в соавторстве с А.М. Переломовым и М.В. Терентьевым опубликовал серию пионерских работ по теории нелинейной ионизации квантовых систем, в которых впервые были рассчитаны скорости туннельной и многофотонной ионизации атомов в сильном лазерном поле с учётом кулоновского взаимодействия фотоэлектрона с ядром и найдены им-



Владимир Степанович Попов  
(25.12.1932–27.12.2020)

пульсные распределения электронов в поле с произвольной поляризацией. Важнейшим достижением указанных работ стала формулировка метода мнимого времени для описания квантовых процессов в сильном внешнем поле. Сейчас этот метод и связанная с ним теория Переломова–Попова–Терентьева (теория ППТ, или PPT theory) являются одними из наиболее часто используемых в физике сильных полей.

Статьи А.М. Переломова, В.С. Попова и М.В. Терентьева стали классическими в атомной физике, и количество ссылок на эти работы давно исчисляется тысячами. Аналитические формулы для скорости ионизации атомных уровней сильным электромагнитным полем, полученные В.С. Поповым с соавторами более полувека назад, сейчас повсеместно применяются для оценки степени ионизации газов полем лазерного излучения и



Владимир Степанович Попов в разные годы жизни

для калибровки интенсивности мощных лазерных источников в лабораториях.

В тот же период Владимир Степанович плодотворно занимался общими вопросами квантовой механики: совместно с А.М. Переломовым им были развиты новые методы использования когерентных состояний и найдено точное решение задачи о квантовом осцилляторе с переменной частотой под действием переменной во времени силы. Изученные А.Б. Мигдалом, А.М. Переломовым и В.С. Поповым аналитические свойства волновой функции широко используются в современной квантовой физике.

В 1970-е гг. научные интересы Владимира Степановича переместились в область квантовой электродинамики тяжёлых атомов. Им были исследованы особенности поведения электронных уровней атомов с зарядом ядра, превышающим критический (примерно 170). Величина критического заряда ядра, при достижении которой происходит опускание основного электронного состояния за границу нижнего континуума и появляется возможность рождения электрон-позитронных пар, являлись в то время предметом дискуссии, начатой работой И.Я. Померанчука и Я.А. Смородинского (1945) и продолженной С.С. Герштейном, Я.Б. Зельдовичем, А.Б. Мигдалом и Владимиром Степановичем в конце 1960-х гг.

В. Пипером и В. Грайнером (в 1969 г.) и независимо Владимиром Степановичем (в 1970 г.) было рассчитано значение критического заряда для случая одиночного ядра (примерно 170), детально изучены свойства вакуумной электронной оболочки и рассмотрен процесс спонтанного рождения позитронов. Позднее Владимир Степанович с соавторами и независимо В. Грайнер с соавторами приложили полученные результаты к описанию двух сталкивающихся ядер. Эти работы показали, как можно было бы наблюдать такой процесс экспериментально. Несколько работ были опубликованы совместно с Я.Б. Зельдовичем и А.Б. Мигдалом. Сам Владимир Степанович всегда с особенным чувством вспоминал о работах, сделанных им вместе с этими титанами советской теоретической физики, и считал 1970-е годы наиболее плодотворным периодом своей научной биографии.

Результаты, полученные В.С. Поповым в 1960–1970 гг., были изложены в нескольких фундаментальных монографиях: А.И. Базь, Я.Б. Зельдович, А.М. Переломов *Рассеяние, реакции и распады в нерелятивистской квантовой механике*, А.Б. Мигдал *Качественные методы в квантовой теории*, А.Б. Мигдал *Фермионы и бозоны в сильных полях*, А.А. Гриб, С.Г. Мамаев, В.М. Мостепаненко *Квантовые эффекты в интенсивных внешних полях*.

Теоретические работы 1960-х гг., посвящённые нелинейным квантовым процессам в сверхсильных лазерных полях, существенно опередили своё время. Только в середине 1980-х гг. экспериментаторам удалось достигнуть интенсивностей излучения, при которых результаты, полученные в классических работах Владимира Степановича, стали в полной мере востребованными. Как это часто случается, к тому времени многое из опубликованного ранее было забыто или оставалось известным лишь узкому кругу специалистов. Поэтому часть фундаментальных результатов В.С. Попова была в тот период "переоткрыта" другими исследователями. Владимир Степанович вернулся к вопросам теории нелинейной ионизации вскоре после того, как эта область исследований начала переживать ренессанс, продолжающийся до сих пор. В результате приоритет работ Владимира Степановича был полностью восстановлен.

В 1990-е годы и в начале XXI века В.С. Попов совместно с соавторами из Московского инженерно-физического института (МИФИ) опубликовал серию фундаментальных статей, посвящённых релятивистской и лоренцевой ионизации атомов, а также ионизации в поле сверхкоротких лазерных импульсов.

Продолжающийся рост пиковой интенсивности лазерного излучения позволит уже в обозримом будущем начать экспериментальное исследование воздействия сверхсильных электромагнитных полей на структуру квантового вакуума. Владимир Степанович активно участвовал в обсуждении этого круга вопросов. Его широчайшая научная эрудиция и опыт работы над задачами нелинейной квантовой электродинамики оказались востребованы в этой новой области





Профессор Ремо Руффини (слева) и Владимир Степанович Попов.  
Фотографии сделаны в Международном центре  
релятивистской астрофизики в Пескаре  
(Италия, 2005 – 2006 гг.)

науки, развивающейся на стыке теории и эксперимента.

В последние годы В.С. Поповым вместе с соавторами была исследована возможность рождения электрон-позитронных пар полем жёстко фокусированного лазерного импульса. В частности, было показано, что при использовании многопучковой технологии нестабильность квантового вакуума может быть достигнута при напряжённости поля заметно ниже Швингеровского предела. Данный вывод имеет принципиальное значение для разработки экспериментальной схемы наблюдения динамического эффекта Швингера.

Работы Владимира Степановича всегда отличались логической стройностью, опорой на физическую интуицию и направленностью на решение задач, допускающих проверку опытом. Поэтому не удивительно, что большая часть полученных им результатов давно и успешно используется для описания и объяснения эксперимента. Другие результаты ждут экспериментальной проверки, которая, мы уверены, станет возможной в скором будущем благодаря развитию новых технологий генерации сверхмощного электромагнитного излучения и вводу в строй новых ускорительных комплексов.

Присущий Владимиру Степановичу качественный стиль мышления сочетался с глубоким знанием математики и любовью к исследованию утончённых математических проблем теоретической физики. Такое сочетание, не часто встречающееся сегодня среди физиков-теоретиков, позволило Владимиру Степановичу получить целый ряд замечательных результатов, относящихся к использованию группового анализа в задачах квантовой механики, методам суммирования расходящихся рядов и регуляризации расходящихся интегралов, вычислениям функций, содержащих некоммутирующие операторы и методу  $1/n$  разложения. Эти работы, выполненные на очень высоком уровне математической строгости, отражают другую, менее известную сторону таланта Владимира Степановича.

Много сил уделял Владимир Степанович задаче систематизации научных знаний. Им написано несколько важных обзоров по физике сверхсильных лазерных полей, квантовой электродинамике тяжёлых атомов, свойствам атомов в сверхсильном магнитном поле и другим смежным вопросам. Его обзор "Туннельная и многофотонная ионизация атомов и ионов в сильном лазерном поле (теория Келдыша)", опубликованный в 2004 году в журнале *Успехи физических наук (УФН)*, т. 174, с. 921 и посвящённый теории Леонида Вениаминовича Келдыша, является одним из наиболее цитируемых в этой области физики.

Владимир Степанович был замечательным педагогом, всегда готовым передать свои знания и опыт молодому поколению. Такие стремления им были в полной мере реализованы на кафедре теоретической физики МФТИ, профессором которой он работал более 30 лет, с середины 1960-х годов. Его лекции и семинары по квантовой механике всегда отличались ясностью и чёткостью изложения материала.

И в быту, и в своей профессиональной деятельности Владимир Степанович всегда оставался человеком исключительной скромности, не стремившимся ни к должностям, ни к почётным званиям, совершенно чуждым пафоса и саморекламы. Его вклад в развитие квантовой механики и электродинамики сильных полей огромен и признан научным сообществом в России и за рубежом. В 2018 году его труды были отмечены премией имени И.Я. Померанчука, одной из наиболее престижных международных наград в области теоретической физики.



Владимир Степанович Попов на семинаре

Примечательно, что работа В.С. Попова в ИТЭФ начиналась именно с участия в семинаре Исаака Яковлевича. По воспоминаниям Владимира Степановича, он "нигде не получал столько пользы, как на семинаре И.Я. Померанчука", а теоретический отдел ИТЭФа в то время был, пожалуй, самым сильным коллективом теоретиков в стране.

Владимир Степанович прожил большую жизнь, наполненную радостью научного творчества, плодами которого стали более сотни оригинальных статей высочайшего класса. Результаты Владимира Степановича, используемые теоретиками и экспериментаторами, являются лучшим памятником этому выдающемуся физику, замечательному, мудрому и глубоко интеллигентному человеку.

*Ю.М. Белоусов, С.В. Буланов, С.С. Буланов,  
Д.Н. Воскресенский, М.И. Высоцкий, С.И. Годунов,  
О.Д. Далькаров, А.Д. Долгов, Д.И. Казаков,  
О.В. Канчели, Б.М. Карнаков, Н.Л. Манаков,  
А.И. Мильштейн, В.Д. Мур, В.А. Новиков,  
С.В. Попруженко, В.А. Рубаков, Ю.А. Симонов,  
М.А. Трусов, М.В. Фролов*