

Памяти Владимира Евгеньевича Захарова

PACS number: 01.60. + q

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2023.11.039592>

20 августа 2023 г. скоропостижно скончался выдающийся советский и российский учёный, академик Российской академии наук (РАН) Владимир Евгеньевич Захаров.

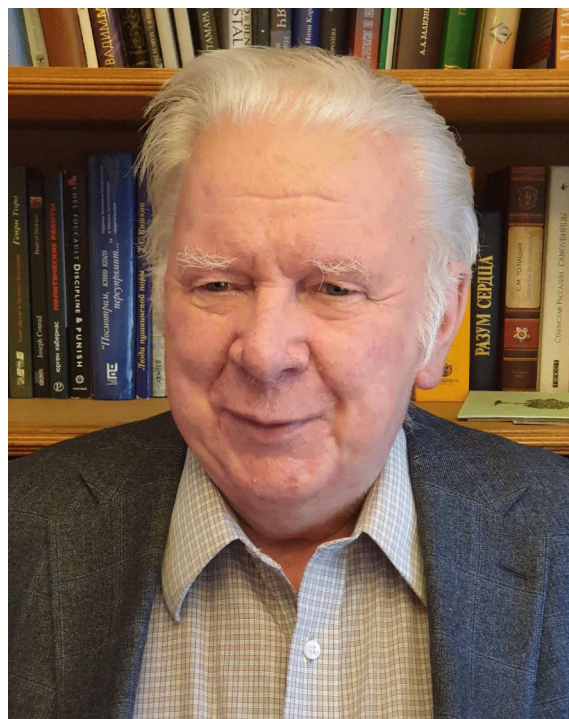
В.Е. Захаров является одним из основоположников современной нелинейной физики и математики. Его достижения в этих областях давно стали классическими и признаны всем мировым научным сообществом. Его пионерские работы стали фундаментом по крайней мере трёх ключевых направлений нелинейной физики: волновая турбулентность, солитоны и волновые коллапсы. Работы Владимира Евгеньевича (ВЕ) по перечисленным направлениям охватывают практически все области современной теоретической физики, включая теорию плазмы, гидродинамику, физику твёрдого тела, нелинейную оптику, геофизику, теорию гравитации и теорию поля.

В.Е. Захаров — один из родоначальников метода обратной задачи рассеяния в теории интегрируемых систем, что принесло ему признание не только физиков-теоретиков, но также и математиков. По мнению Л.Д. Фаддеева, указанный метод стал жемчужиной математической физики XX века. ВЕ является пионером этой области математической физики и его громадный вклад трудно до конца оценить.

ВЕ родился 1 августа 1939 г. в Казани в интеллигентной семье Захаровых: Евгения Семёновича, по профессии инженера, и Елены Михайловны — учительницы биологии в средней школе. Его отец — ветеран Великой Отечественной войны. Володя Захаров пошёл в школу в Казани, а закончил среднюю школу в 1956 г. уже в Смоленске, куда переехала его семья. В 7–8 классах он увлёкся математикой, был победителем школьных олимпиад. После школы, трёх лет учебы в Московском энергетическом институте (с 1956 по 1960 гг.) и одного года работы в Институте атомной энергии им. И.В. Курчатова лаборантом в отделе Г.И. Будкера он переезжает вместе с организуемым Институтом ядерной физики (ИЯФ) в Новосибирск. Здесь начинается его работа в науке.

В 1963 г. ВЕ заканчивает с отличием физический факультет Новосибирского государственного университета (НГУ). Это был первый знаменитый выпуск Новосибирского университета. В 1962 г. в *Журнале экспериментальной и теоретической физики (ЖЭТФ)* выходит первая научная работа ещё студента В.Е. Захарова (совместно с В.И. Карпманом) о нелинейном затухании плазменных волн, ставшая классикой в данной области. После окончания НГУ основным направлением его научных исследований становится нелинейная физика.

С 1963 г. ВЕ работает в ИЯФ СО АН СССР, где в 1966 г. защищает кандидатскую диссертацию под руководством Р.З. Сагдеева, а в 1971 г. — докторскую диссертацию. Результаты его кандидатской диссертации по уровню превосходили многие докторские. В частности, В.Е. Захаровым был сформулирован вариационный принцип и найдены канонические переменные для описания волн на поверхности воды. Впоследствии за пионерские работы по гамильтоновской теории волн в гидродинамике со свободной поверхностью ему была присуждена Золотая медаль им. Н.Н. Боголюбова РАН. На основе гамильтоновского описания (уравнений Захарова) был получен ещё один фундаментальный результат: найдены масштабно-инвариантные спектры морского волнения как точные решения кинетических уравнений для волн колмогоровского типа, описывающие перекачку энергии волн по масштабам. Такие спектры обязаны нелинейному взаимодействию волн и ни в каком смысле не близки к термодинамически равновесным. Они получили названия спектров Колмогорова–Захарова. Помимо прямой эстафетной перекачки энергии волн в область коротких волн, где существенно вязкое затухание, Захаров предсказал для волн на воде существование обратного каскада, когда волны благодаря нелинейному взаимодействию перекачиваются в длинноволновую область, что было колоссальным достижением. За это открытие Захаров совместно с Робертом Крейчаном в 2003 г. получил медаль Дирака. Сразу же стало понятным, что волновая турбулентность как состояние случайного волнового поля характерна не только для морского волнения, но и для различных волн в плазме, в твёрдом теле и акустике, в нелинейной оптике и геофизике.



Владимир Евгеньевич Захаров
(01.08.1939 – 20.08.2023)

Для описания нелинейных волн в различных средах Захаров последовательно и настойчиво внедрял гамильтоновский формализм. Это позволило рассматривать с единой позиции все нелинейные волновые явления, которые традиционно считались не связанными между собой.

К новосибирскому периоду относятся также две выдающиеся работы ВЕ. Во-первых, это предсказание коллапса ленгмюровских волн в плазме (1972 г.), спонтанного роста интенсивности электрического поля ленгмюровских колебаний в областях пониженной плотности плазмы. Коллапс ленгмюровских волн, как нелинейная стадия развития модуляционной неустойчивости, приводит к сжатию ленгмюровских пакетов до размеров нескольких дебаевских радиусов. Такой процесс сопровождается генерацией быстрых электронов с энергией, значительно превышающей тепловую. В основе теории ленгмюровского коллапса лежит метод усреднения, позволивший вывести уравнения взаимодействия ленгмюровских и ионных колебаний в плазме, которые сейчас называют уравнениями Захарова. Данная работа ВЕ кардинально изменила представления о плазменной турбулентности, и о механизмах диссипации высокочастотной волновой турбулентности при коллективных методах нагрева плазмы. Работы по ленгмюровскому коллапсу оказали существенное влияние на развитие нелинейных исследований не только в физике плазмы, но также в нелинейной оптике и гидрофизике.

Другим важнейшим результатом стала эпохальная работа 1971 г. Захарова и Шабата по интегрированию нелинейного уравнения Шрёдингера (НУШ) с помощью метода обратной задачи рассеяния (МОЗР). НУШ как каноническая модель нелинейной волновой физики имеет огромное количество приложений начиная от океанских волн, плазмы, акустики и до бозе-эйнштейновских конденсатов, включая самофокусировку, волоконную оптику и высокоскоростную оптическую связь. Такая общность обусловлена тем, что НУШ описывает

нелинейную динамику огибающих в слабонелинейном режиме; оно может быть получено для произвольных нелинейных сред с использованием гамильтоновского формализма. Математическая основа этой работы связана с решением обратной задачи для линейного оператора — оператора Захарова–Шабата, спектр которого остаётся во времени неизменным. Солитоны задаются положением дискретного спектра данного оператора. Наиболее интересным физическим следствием работы Захарова–Шабата стало установление роли солитонов как частицеподобных объектов. Солитоны в НУШ оказались структурно устойчивыми, что послужило основанием для их использования в качестве бита информации в оптоволоконных линиях связи. Прорывная статья Захарова и Шабата стала триггером многочисленных работ по применению МОЗР к различным физическим моделям. Кроме того, она привела к развитию новых математических методов, включая применение алгебраической геометрии и теории матричных дифференциальных операторов. Возникло целое направление — математическая теория солитонов, существенный вклад в неё внёс сам ВЕ.

В 1974 г. ВЕ переезжает в Черногоровку, где до 2003 г. работает в Институте теоретической физики (ИТФ) им. Л.Д. Ландау. С 1993 по 2003 гг. он директор ИТФ. Здесь продолжается его активная научная деятельность по волновой турбулентности, теории солитонов и волновым коллапсам. Создание теории волновых коллапсов, начиная с работ ВЕ по ленгмюровскому коллапсу, самофокусировке света, и кончая исследованиями взаимодействия коллапсов и слабой волновой турбулентности, а также влияния плазменных коллапсов на спектры частиц, является его фундаментальным вкладом в физику нелинейных явлений. Сам термин "волновой коллапс" был введен в работах ВЕ и сейчас широко используется в научном сообществе. Согласно концепции, сформулированной в работах ВЕ и его учеников, физическая реализация волнового коллапса либо солитонов зависит от ограниченности или неограниченности гамильтониана волновой системы. Случай ограниченного гамильтониана позволил открыть устойчивые солитоны, в то время как неограниченность стала служить одним из критериев волнового коллапса.

Существенным вкладом в теорию волновой турбулентности стали его совместные с коллегами (В.С. Львов, С.С. Старобинец и др.) работы по так называемой S -теории, описывающей запороговое поведение волн при их параметрическом возбуждении когерентным источником (1971–1975 гг.). Основа указанной теории связана с одновременным учётом как нормальных, так и аномальных парных корреляторов. В некотором смысле данная теория оказалась аналогом теории БКШ для сверхпроводимости. Основное предсказание теории — существование сингулярных спектров турбулентности, подтверждённое в экспериментах по параметрическому возбуждению спиновых волн в ферромагнетиках. Развитие этих работ ВЕ с его учениками для физики плазмы привело к открытию сингулярных спектров турбулентности при индуцированном рассеянии волн — распределений в виде точек или струй в k -пространстве.

Следует отметить также чисто математические результаты Захарова. Им была решена классическая проблема дифференциальной геометрии описания всех ортогональных систем координат в n -мерном пространстве. Эта задача была сформулирована в начале XIX века и связана с именами великих математиков Римана, Бианки и других. Весьма нетривиальным и красивым стал метод обвешивания Захарова–Шабата, позволяющий эффективно строить солитонные решения для интегрируемых систем. Развитие подобных методов показало свою эффективность в решении ряда физических задач теории поля, гравитации, нелинейной оптики и гидродинамики. В 1978 г. ВЕ совместно с В.А. Белинским была установлена интегрируемость уравнений Эйнштейна для двумерных метрик и получена классификация их решений с помощью спектральных методов с переменным спектральным параметром. Простейшее решение в виде чёрной дыры представляет собой аналог солитона, который часто называют солитоном Захарова. С помощью МОЗР совместно с учениками им была решена классическая задача о суперфлюоресценции. Были найдены асимптотические состояния — аналоги предвестника для устойчивых сред в виде распространяющихся импульсов по инверсно-заселённой двухуровневой усиливающей среде. Большое влияние на развитие метода обратной задачи рассеяния оказала работа ВЕ 1981 г. по интегрированию уравнений Бенни как многомерной системы гидродинамического типа.

В 1984 г. В.Е. Захаров был избран членом-корреспондентом АН СССР по Отделению общей физики и астрономии, а в 1991 г. — академиком РАН. С 1992 г. ВЕ преподавал в Университете Аризоны (Тусон, Аризона, США), где в 2004 г. ему было присвоено почётное звание именного профессора Правления университета (Regent's Professor). В 2012 г. его избирают в Европейскую академию наук, в ранге Fellow — в Американское математическое общество и Оптическое общество Америки. С 2004 по 2019 гг. он — заведующий сектором математической физики в Физическом институте им. П.Н. Лебедева. В 2010 г. ВЕ вернулся в свою альма-матер (НГУ) и возглавил лаборато-

рию нелинейных волновых процессов в рамках 1-й волны мегагрантов. В 2019–2022 гг. он возглавлял лабораторию интегрируемых систем в Сколковском институте науки и технологий. С 1988 г. ВЕ — бессменный председатель Научного совета РАН по нелинейной динамике.

В последние годы Владимир Евгеньевич активно занимался двумя важнейшими проблемами. Одна из них была сформулирована им как интегрируемая турбулентность — турбулентность в интегрируемых моделях, в частности в нелинейном уравнении Шрёдингера. Вторая проблема относится к волнам-убийцам для морского волнения. Волны-убийцы — это волны фантомного типа большой амплитуды, которые возникают ниоткуда и также исчезают. Они представляют большую опасность для судоходства и нефтяных морских платформ. Сейчас область исследования волн-убийц, основанная ВЕ, бурно развивается, давая практические предсказания рисков для судоходства, а также для современных оптоволоконных линий связи.

На протяжении всей своей научной деятельности ВЕ активно развивал теорию ветрового волнения в океане. Он признанный классик данной области. За заслуги в этой области в 2018 г. он был избран в Американский геофизический союз (AGU) в почётном ранге Fellow.

По нашему мнению, главным во всей научной биографии Захарова является то, что во всех областях нелинейной физики и математики он получил выдающиеся результаты. Его научная деятельность отмечена двумя государственными премиями: в 1987 г. — СССР за работы по нелинейной физике плазмы и в 1993 г. — РФ за развитие теории интегрируемых систем.

Научную деятельность ВЕ невозможно представить без его школы, которую он начал создавать ещё в Новосибирске. Его первые ученики были ненамного моложе учителя, но он был всегда со своими учениками, а позже с учениками своих учеников, в дружеских отношениях, оставаясь лидером. В школе царил демократическая обстановка. Теперь это большая школа талантливых учёных, известная в мировом научном сообществе как "школа Захарова".

Захаров был кумиром нескольких поколений учёных. Причина — не только его выдающиеся научные результаты, но и его гражданская позиция ко многим событиям, происходящим в стране, и в частности вокруг науки. Он впервые высказал свою гражданскую позицию в Новосибирске, подписав письмо в защиту свободы Даниила и Сиявского. Другой пример из советских времён — его письмо в комитет по Ленинским премиям с требованием восстановить А.Б. Шабата, исключённого по неополитическим мотивам из числа номинантов (вместе с Захаровым и Фаддеевым). Честность и неприятие компромиссов по принципиальным вопросам была одной из черт ВЕ.

В постсоветское время, особенно в 1990-е годы, он вместе с В.Е. Фортовым и другими боролся за российскую фундаментальную науку, демонстрируя свой масштабный "государственный" взгляд патриота на её развитие. Ему принадлежала инициатива по организации стипендий выдающимся учёным России и поддержке ведущих научных школ, что было весьма существенно в 1990-е годы. Вместе с Э.П. Кругляковым, Е.Б. Александровым и многими другими ВЕ много сил отдал борьбе с лженаукой, что спасло колоссальные государственные средства от жульнических проектов. Захаров выступил категорически против реформы 2013 года Российской академии наук. Он был одним из организаторов клуба "Первого июля" ведущих российских учёных, выступивших против реформы. Этот клуб, в котором ВЕ был одним из неформальных лидеров, продолжает свою созидательную деятельность по вопросам организации науки, за возрождение российской науки. Его выступления в защиту науки на общих собраниях РАН всегда сопровождались аплодисментами. По мнению многих, Захаров был камертоном совести в РАН.

Его научный талант в сочетании с человеческими качествами и масштабом личности создавали ему огромный авторитет и привлекали к нему многих, чему способствовали также его занятия поэзией. Как поэт ВЕ получил самую высокую оценку профессиональных поэтов и писателей. Эта другая ипостась ВЕ является продолжением его научного творчества. О масштабе его поэтического дарования можно судить по вышедшему сравнительно недавно шеститомнику его поэзии. Некоторые его стихотворения вошли в антологию русской поэзии XX века, изданную Е.А. Евтушенко. ВЕ — член Союза писателей России и "Союза писателей 21 века". Лауреат литературной премии "Петрополь" и медали имени Виктора Розова за вклад в российскую культуру. Один из астероидов (Asteroid 7153) назван Vladzakharov в честь В.Е. Захарова.

Уход Владимира Евгеньевича Захарова, великого учёного, великого гражданина и поэта, стал для всех нас невосполнимой утратой. Светлая память о нём сохранится в наших сердцах.

Л.М. Зелёный, Е.А. Кузнецов, А.Г. Литвак, Г.А. Месяц, А.В. Михайлов, С.Л. Мушер, С.П. Новиков, Ю.Н. Овчинников, Д.Д. Ротов, Р.З. Сагдеев, Р.А. Сюняев, М.П. Федорук