



Фото С.М. Захаровой

Человек-эпоха

Владимир Евгеньевич Захаров (01.08.1939–20.08.2023)

Ушел из жизни Владимир Евгеньевич Захаров, один из крупнейших ученых XX и XXI веков, человек-эпоха советской и российской науки. Его пионерские работы по нелинейной физике стали фундаментом по крайней мере трех ключевых направлений — волновой турбулентности, солитонов и волновых коллапсов.

В его жизни было несколько развилок, которые могли привести к существенным изменениям. Будучи школьником, он демонстрировал большие способности в шахматах; по словам тренеров, мог бы стать шахматистом очень высокого уровня. Но он выбрал математику, был победителем школьных олимпиад. Следующая бифуркация возникла, когда он, учась в МЭИ, встретился с Роем Зиннуровичем Сагдеевым, читавшим там спецкурс (с Сагдеевым он был знаком еще со времен, когда его семья жила в Казани). Вместо того, чтобы стать инженером, он выбрал науку, а Р.З. Сагдеев стал его учителем, что, как мы считаем, в этом выборе сыграло решающую роль. После трех лет учебы в МЭИ (откуда его уволили за поощение одному доценту, оскорбившему его близкого друга) и года работы в ЛИПАНе¹ лаборантом в отделе Герша Ицковича Будкера он переезжает в Новосибирск вместе с организуемым Институтом ядерной физики. Здесь начинается его работа в науке. В 1963 году он заканчивает физический факультет Новосибирского государственного университета с красным дипломом, став одним из блистательной плеяды первых выпускников НГУ. Еще в 1962 году, когда он был студентом, в ЖЭТФ выходит его первая научная работа совместно с В.И. Карпманом о нелинейном затухании плазменных волн, ставшая впоследствии классической в этой области. После окончания НГУ основным направлением его научных исследований становится нелинейная физика. В 1966 году в ИЯФ СО АН он защищает кандидатскую диссертацию, а в 1971-м — докторскую.

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. Это был существенный прорыв в этой классической проблеме. Впоследствии за эти работы ему была присуждена золотая медаль им. Н.Н. Боголюбова РАН. На основе гамилтоновского описания — уравнений Захарова — был получен еще один фундаментальный результат: найдены масштабно-инвариантные спектры морского волнения как точные решения кинетических уравнений для волн колмогоровского типа, описывающие перекачку энергии волн по масштабам. Эти 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. Это было колоссальным достижением Захарова, за это открытие он совместно с Робертом Крейчнаном получил медаль Дирака.

Сразу же стало понятным, что состояние для случайного волнового поля — волновая турбулентность — характерно не только для морского волнения, а также для различных волн в плазме (ленгмюровских, ионно-звуковых, магнитозвуковых, альфвенских и др.), в твердом теле и акустике, в нелинейной оптике и геофизике. Гениальность Захарова состояла в том, что он последовательно и настойчиво внедрял для описания нелинейных волн гамилтоновский формализм. Это позволило рассматривать с единой позиции все нелинейные волновые явления, которые традиционно считались несвязанными.

В 1960-е годы в нелинейной науке сформировались четыре знаковых направления: волновая турбулентность, интегрируемые системы, коллапс и хаос. Владимир Евгеньевич Захаров сыграл центральную роль в прорывных исследованиях в первых трех областях, внося существенный, а в ряде случаев определяющий вклад: от уравнений Захарова в физике плазмы и работ по самофокусировке света и коллапсу волн до работ по интегрируемости нелинейных уравнений в частных производных, теории солитонов и точных решений волновой турбулентности.

К новосибирскому периоду относятся также две его выдающиеся работы. Во-первых, это предсказание коллапса ленгмюровских волн в плазме: спонтанного роста интенсивности электрического поля ленгмюровских колебаний в областях пониженной плотности плазмы (каверн). Процесса, который сопровождается излучением электронов большой энергии, значительно превышающей тепловую. Другим важнейшим результатом стала эпохальная работа 1971 года Захарова и Алексея Борисовича Шабата по интегрированию нелинейного уравнения Шрёдингера (НУШ) с помощью метода обратной задачи рассеяния.

НУШ представляет собой удивительно общую и каноническую модель нелинейной волновой физики с огромным количеством приложений — от океанских волн, плазмы, акустики до бозе-эйнштейновских конденсатов, включая самофокусировку, волоконную оптику и высокоскоростную оптическую связь. Эта общность обусловлена тем, что НУШ описывает нелинейную динамику огибающих в слабонелинейном режиме; оно может быть получено для произвольных нелинейных сред с помощью гамилтоновского формализма. Прорывная статья Захарова и Шабата многих вдохновила на исследования богатых математических свойств метода обратной задачи рассеяния (МОЗР), от решения нелинейного уравнения до разработки данных рассеяния для матричных дифференциальных операторов и нахождения любых связанных состояний. После этой новаторской работы количество интегрируемых систем резко возросло от небольшого числа (их буквально можно было пересчитать по пальцам), включая задачу двух тел и некоторые волчки, до бесконечных наборов уравнений в частных производных. Фабрики солитонов возникли по всему миру, теория солитонов стала применяться в различных научных и инженерных областях.

В этой теории фазовое пространство системы разбивается на дискретный набор солитонов и несолитонную часть, которая во многом аналогична линейным волнам. При этом солитоны ведут себя частицепоподобным образом. Важно, что решения в виде солитонов не могут быть получены пертурбативно. Для нелинейного уравнения Шрёдингера солитоны являются структурно устойчивыми объектами, что послужило основанием для их использования в качестве бита информации в световолоконных линиях связи. По мнению Л.Д. Фаддеева, метод обратной задачи рассеяния стал жемчужиной математической физики XX века. В.Е. Захаров является пионером этой области математической физики, и его вклад громадный, его трудно до конца оценить. Следует отметить множество его оригинальных работ с соавторами по применению этого метода в нелинейной оптике и лазерной физике, в теории поля и теории гравитации.

Следует отметить также его чисто математические результаты. Так, была решена классическая проблема описания всех ортогональных систем координат в n -мерном евклидовом пространстве, сформулированная в начале XIX века. Весьма нетривиальным и красивым стал метод «одевания» Захарова — Шабата, который позволяет эффективно строить солитонные решения для интегрируемых систем.

В последние годы Владимир Евгеньевич активно занимался двумя важнейшими проблемами. Одна из них была сформулирована им как интегрируемая турбулентность — это турбулентность в интегрируемых уравнениях, в частности, в нелинейном уравнении Шрёдингера. Вторая проблема — «волны-убийцы». Это волны фантомного типа большой амплитуды, которые возникают ниоткуда и исчезают в никуда. Они представляют большую опасность для судоходства и нефтяных морских платформ.

Потрясающим в научной биографии Захарова является то, что во всех этих областях он получил выдающиеся результаты — результаты нобелевского уровня. Наверное, лучшим научным памятником Захарову мог бы стать дополнительный том курса теоретической физики Ландау и Лифшица «Нелинейные волновые явления и процессы».

Едва начав самостоятельную научную жизнь, Владимир Евгеньевич начал создавать свою научную школу. Первые ученики (Кузнецов, Рубенчик, Мушер, Манаков и Стурман) были немалого моложе учителя. Захарова как учителя отличало от многих отсутствие занудного менторства. Он был всегда со своим учениками в дружеских отношениях, оставаясь при этом лидером. В школе царил демократическая обстановка. С самого начала работы школы Захарова отличались как оригинальностью, так и своим фундаментальным подходом.

Мы

Ю. Манину

Мы,
прикованные к формулам,
распятые на исписанных листах бумаги,
неожиданно понимаем,
что могли бы быть неплохими офицерами
в какой-нибудь старомодной
справедливой войне.

Владимир Захаров (1961)

Владимир Евгеньевич был кумиром целого поколения более молодых физиков. Причиной тому были не только выдающиеся результаты исследований (таких как решение нелинейного уравнения Шрёдингера — проблемы, над которой билось целое поколение ученых и решение которой открыло возможность найти ответы на целый ряд открытых проблем в самых разных областях физики, от нелинейной оптики и физики магнетиков до физики плазмы), но и масштаб личности Захарова. Он мог радоваться вместе с вами полученному вами результату, мог быть не согласен с вами, критически относиться к тому, как вы поставили или решили задачу, иронизировать, играя с вами в шахматы, или присматриваться к тому, как вы реагируете на его поэзию. Он не умел, просто был не способен оставаться равнодушным. И эта его неспособность быть равнодушным привлекала к нему самых разных людей с самыми различными интересами и жизненными позициями.

Честность и неприятие компромиссов в рамках советской и российской системы не облегчали жизнь гражданина СССР и России. Слова из стихотворения Евтушенко «дай Бог, чтобы твоя страна тебя не оставила и ничему не учила. Он вновь и вновь повторял свои «ошибки», ценил свое право оставаться порядочным человеком выше благ и дивидендов, получаемых от государства. Даже возможность получения высшей национальной научной награды — Ленинской премии — не смогла сделать из него конформиста.

Легко понять, что научный гений в сочетании с человеческими качествами и масштабом личности создавали ему огромный авторитет и привлекали к нему молодых коллег. Он действительно был кумиром нескольких поколений ученых. Был поэтом, и литературное творчество В.Е. Захарова казалось неотделимой частью его занятий наукой. 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. Владимир Евгеньевич обладал феноменальной памятью, прекрасно знал поэзию и историю. Он наизусть помнил огромное количество стихотворений Пушкина, Некрасова, Блока, Мандельштама и многих других поэтов.

Владимир Евгеньевич обладал масштабным «государственным» взглядом патриота на развитие фундаментальной науки в России. Именно это стало причиной его постоянной борьбы за российскую науку, в частности — за Академию наук. Он много сил отдал борьбе с лженаукой. Достаточно упомянуть, что В.Е. Захаров, Э.П. Кругляков и Е.Б. Александров, пройдя множество судов, победили такого «монстра», как Петрик. Отдавая себе отчет в тщетности усилий по спасению Академии наук и хорошо понимая сходство борьбы с административной системой и сражений Дон Кихота с ветряными мельницами, В.Е. предпринимал все возможные усилия для спасения фундаментальной науки в России. Он выступил категорически против реформы 2013 года Российской академии наук, стал одним из организаторов неформального Клуба «1 июля», объединившего ведущих российских ученых, выступивших против реформы, которая стала для Владимира Евгеньевича глубоко личной трагедией. Сейчас всем разумным людям ясно, что это была гигантская административная ошибка, по сути приведшая к почти полному нивелированию роли Академии наук.

Уход Захарова закрыл еще одну страницу в истории развития фундаментальной науки в Российской академии наук. Мы потеряли великого ученого, великого гражданина и поэта. Вечная память.

Евгений Кузнецов,
академик РАНВладимир Красносельских,
Directeur de Recherche, LPC2E/CNRS, France

¹ Лаборатория измерительных приборов АН СССР, позже преобразованная в Институт атомной энергии им. Курчатова.