

**ОБ ОСНОВАТЕЛЕ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ПО НЕЛИНЕЙНОЙ И
ФИЗИЧЕСКОЙ АКУСТИКЕ И ВОЛНАМ В ТУРБУЛЕНТНЫХ СРЕДАХ
ПРОФЕССОРЕ В.А. КРАСИЛЬНИКОВЕ**

В. А. Гусев, Е. О. Ермолаева, В. Г. Можжев

Статья посвящена научной и педагогической деятельности заслуженного профессора Московского университета, лауреата Государственной премии СССР, заведующего кафедрой акустики физического факультета МГУ с 1975 по 1987 год Владимира Александровича Красильникова.

Ключевые слова: Нелинейная акустика, физическая акустика, волны в турбулентных средах, кафедра акустики физического факультета МГУ, история акустики.

Введение

14 сентября 2012 года исполнилось 100 лет со дня рождения выдающегося ученого и педагога, заслуженного профессора Московского университета, заведующего кафедрой акустики с 1975 по 1987 год Владимира Александровича Красильникова. В.А. Красильников внес фундаментальный и основополагающий вклад в создание и развитие двух актуальных и важных направлений современной физики – «Волны и турбулентность» и «Нелинейная акустика». Научные достижения В.А. Красильникова получили заслуженное признание в нашей стране и за рубежом и отмечены рядом наград. В 1976 году ему присуждена премия имени М.В. Ломоносова, в 1985 – Государственная премия СССР, в 2000 – премия имени Л.И. Мандельштама. Владимир Александрович – автор и соавтор более 200 научных статей и ряда монографий [1–5], основоположник известной научной школы по нелинейной и физической акустике и волнам в турбулентных средах. 100-летний юбилей В.А. Красильникова широко отмечался на физическом факультете МГУ. Информация о праздновании юбилея и

подготовленные к нему материалы размещены на сайте кафедры акустики [6] в разделе «История кафедры». Настоящая статья подготовлена в связи с этой юбилейной датой и посвящена многолетней плодотворной научной и педагогической деятельности В.А. Красильникова. При подготовке статьи использовались материалы ряда публикаций о В.А. Красильникове [7–11], справочные издания [12–15], обзоры основателя кафедры акустики физического факультета МГУ профессора С.Н. Ржевкина [16–17], обзоры и воспоминания самого Владимира Александровича [18–21] и видеофильм-интервью с ним, размещенное на сайте кафедры, воспоминания его учеников, коллег и родных, прозвучавшие на юбилейных мероприятиях и рассказанные авторам данной статьи в личных беседах, и другие источники [22–26].

Биография

Родился и вырос В.А. Красильников в г. Симбирске, ныне Ульяновске, здесь на берегу Волги прошли его детство и школьные годы. Отец его Александр Александрович, выпускник Казанского университета по специальности филология, был преподавателем и директором мужской гимназии, а в советское время – преподавателем рабфака. Мама Любовь Ивановна, выпускница 1-й Казанской женской гимназии, до замужества два года училась на Высших женских курсах в Казани.

После окончания школы-девятилетки (тогда было девятилетнее среднее образование) Владимир Александрович поступил в Казанский государственный университет. После двух лет учебы в Казани перевелся на физический факультет Московского государственного университета. Физфак МГУ в те годы располагался в небольшом здании из красного кирпича на улице Моховой практически в самом центре Москвы – через Манежную площадь напротив Кремля. Сейчас это историческое здание, в котором работали и творили такие корифеи отечественной физики как А.Г. Столетов, Н.А. Умов и П.Н. Лебедев, занимает Институт радиотехники и электроники РАН. В этом институте хорошо знают и помнят Владимира Александровича, поскольку там проводятся близкие к его научным интересам исследования в области физической акустики твердого тела и акустоэлектроники. С большой теплотой и благодарностью отзывался В.А. Красильников о своих преподавателях из МГУ – математике Ю.Г. Рабиновиче, лекторе по электронике профессоре В.И. Романове, профессорах И.Е. Тамме и Ю.Б. Румере. Дипломную работу Владимир Александрович выполнял на кафедре теоретической физики, возглавляемой И.Е. Таммом, а его научным руководителем был один из первых учеников академика Л.И. Мандельштама, профессор, а в будущем и сам академик, М.А. Леонтович.

В 1935 году В.А. Красильников закончил физический факультет МГУ по специальности теоретическая физика и теория колебаний и был направлен на работу в Горьковский (ныне Нижегородский) государственный университет. Проработал там 2 года на кафедре теоретической физики; занимался, в частности, чтением лекций по статистической физике. Неформальным его наставником и руководителем в Горьковском университете стал заведующий кафедрой колебаний, ученик академика Л.И. Мандельштама, профессор (с 1946 года академик) А.А. Андронов. В 1937 году В.А. Красильников вернулся в Москву и по совету и предложению профессора М.А. Леонтовича поступил на работу в только что созданный Институт теоретиче-

ской геофизики АН СССР (ИТГ АН), организованный и возглавляемый академиком О.Ю. Шмидтом. В.А. Красильникова зачислили младшим научным сотрудником в радиоакустическую лабораторию института, которой по совместительству руководил профессор МГУ С.Э. Хайкин – авторитетный ученый, декан физфака МГУ с 1934 по 1937 год и, также как Леонтович и Андронов, ученик Л.И. Мандельштама. В 1939 году по инициативе С.Э. Хайкина В.А. Красильников стал заниматься пионерскими для того времени экспериментальными исследованиями распространения звука в турбулентной атмосфере. Как отмечал сам Владимир Александрович, хотя образование он получил физика-теоретика, но обстоятельства складывались так, что в дальнейшем ему приходилось заниматься главным образом экспериментальной физикой, а занятия теорией ограничивались в основном практическими и прикладными аспектами. В 1940 году в ИТГ АН В.А. Красильников знакомится с А.М. Обуховым, в то время аспирантом, а в будущем академиком, организатором и директором Института физики атмосферы АН СССР, – лучшим своим другом, долгой и крепкой дружбой с которым он дорожил всю жизнь. В воспоминаниях об Обухове Владимир Александрович так описывал то довоенное время [21]: «...Это были незабываемые и продуктивные в научном отношении годы. Мы были молоды, полны сил и надежд...».

Вскоре после начала Великой Отечественной Войны ИТГ АН, как и многие другие учреждения Академии наук, был эвакуирован в Казань. В эвакуации Владимир Александрович пробыл недолго. В начале 1942 года по Постановлению Государственного комитета обороны СССР в Москве был создан военный радиолокационный завод № 465, куда В.А. Красильников был направлен на работу. Задачами этого специального радиозавода-института являлись разработка и серийный выпуск отечественных радиолокационных станций (станций орудийной наводки), аналогичных их английскому прототипу. Развитие радиолокации в СССР тогда только начиналось, а знающих специалистов катастрофически не хватало. Поэтому практический опыт Владимира Александровича по акустическому зондированию атмосферы оказался как нельзя более востребованным для создания радиолокационной техники, столь остро необходимой для обороны страны и нужд фронта. В том же 1942 году В.А. Красильников на основании результатов своих довоенных экспериментов защищает кандидатскую диссертацию на тему «О распространении звука в турбулентной атмосфере». На заводе он в группе с профессорами Хайкиным и Леонтовичем занимается радионавигацией. По рассказам Владимира Александровича работа была очень напряженной и срочной, иной раз приходилось по двое-трое суток подряд, без сна и без отдыха, полуголодным летать на самолетах, занимаясь наладкой радиолокационной аппаратуры. За успешное выполнение этого специального задания он в 1943 году был награжден нагрудным значком «Отличник социалистического соревнования Наркомэлектропрома»; удостоверение о награде было подписано Народным Комиссаром Электропромышленности СССР.

В 1944 году В.А. Красильников вернулся в ИТГ АН и в должности старшего научного сотрудника возобновил исследования по распространению акустических волн в атмосфере, но теперь уже в военных целях – для акустической локации самолетов. Важным событием для него в 1944 году стало приглашение на работу по совместительству в должности старшего преподавателя на кафедре акустики, организованную в 1943 году на физическом факультете МГУ профессором С.Н. Ржевки-

ным. В первые годы работы в университете Владимир Александрович кроме преподавания занимался созданием акустического прибора для измерения скорости полета артиллерийских снарядов. В видеофильме-интервью он отмечал, что прикладные работы по оборонной тематике в военные годы наложили на него большой отпечаток, выбив, по сути, из колеи теоретической физики. Такая вынужденная переквалификация под действием внешних обстоятельств, с одной стороны, конечно, помешала его становлению как физика-теоретика в тот период. С другой стороны, она, возможно, и была благоприятствующим фактором для того, чтобы Владимир Александрович смог в полной мере проявить и раскрыть свой талант экспериментатора и выполнить ряд первоклассных и ставших классическими экспериментов с акустическими и электромагнитными волнами.

В 1946 году ИТГ АН объединяют с Сейсмологическим институтом, и новое учреждение получает название Геофизического института АН СССР. В нем Владимир Александрович проработал до тех пор, пока в 1950 году не перешел на кафедре акустики в МГУ на полную ставку доцента. В 1952 году В.А. Красильников завершает подготовку докторской диссертации на тему «О влиянии пульсаций коэффициента преломления в атмосфере на распространение звуковых и электромагнитных волн», которую успешно защищает в 1953 году на физическом факультете МГУ. Оппонентами диссертации выступали академик А.Н. Колмогоров, Л.М. Бреховских (академик с 1968 года), и С.Д. Гвоздовер. Как рассказывал Владимир Александрович, выступление на защите А.Н. Колмогорова, который хорошо был знаком и ранее с его исследованиями, отличалось предельной краткостью и звучало примерно так: «Да, работу эту я знаю, она очень интересная. Мне кажется, что на основании этой работы Владимиру Александровичу вполне может быть присуждена степень доктора физико-математических наук».

После защиты докторской диссертации В.А. Красильников концентрирует свои усилия на изучении проблем нелинейной и физической акустики. Большую роль в этом, в частности, сыграла параллельная с МГУ работа Владимира Александровича по совместительству в Лаборатории анизотропных структур АН СССР. Это было удивительное, и по целям и по организации, научное учреждение. Образованная первоначально в 1950 году как подразделение Института кристаллографии АН СССР эта лаборатория в 1952 году была преобразована в самостоятельное учреждение Отделения технических наук АН СССР. Решение о ее преобразовании было принято на заседании Политбюро. В результате лаборатория получила в свое распоряжение отдельное здание – бывшую церковь в Колобовском переулке, штат сотрудников около 100 человек и собственный ученый совет. Фактически, теперь это была уже не лаборатория, а небольшой институт, направленный на реализацию двух новаторских и совершенно разных проектов, ничем в принципе между собой несвязанных, кроме яркой личности руководителя Лаборатории – члена-корреспондента Академии архитектуры, доктора технических наук А.К. Бурова. Наименование лаборатории досталось от работ по созданию стекловолокнистых композитов, продолжавшихся и на новом месте. Второе направление исследований данного института состояло в изучении возможностей лечения онкологических заболеваний с помощью мощного ультразвука. В отличие от не очень успешных попыток в Германии лечить рак с помощью ультразвука малой мощности А.К. Буров полагал, что использование ультразвука высокой мощности позволит вместо нагрева, стимулирующего рост ра-

ковых клеток, добиться их разрыва и уничтожения. С этой целью были созданы уникальные фокусирующие и нефокусирующие ультразвуковые преобразователи с рекордно высоким уровнем излучаемой мощности. Для объяснения особенностей физических процессов в мощных ультразвуковых полях А.К. Буров привлек к проводимым исследованиям Владимира Александровича, а также нескольких талантливых выпускников физического факультета МГУ, в т.ч. и выпускника кафедры акустики 1953 года, ученика и дипломника В.А. Красильникова, Л.К. Зарембо. Интересно, что с изучения нелинейных акустических явлений в той же Лаборатории анизотропных структур начинал свою научную деятельность и С.А. Ахманов, который наряду с Р.В. Хохловым впоследствии стал одним из признанных основоположников нелинейной оптики. К сожалению, из-за внезапной смерти в 1957 году создателя и руководителя Лаборатории анизотропных структур А.К. Букова эти уникальные медико-физические опыты прервались, а коллектив высококлассных специалистов различного профиля, собранных вместе в одних стенах А.К. Буковым, распался. Группу физиков-акустиков в составе В.А. Красильникова, Л.К. Зарембо и В.В. Шкловской-Корди в 1958 году перевели в Акустический институт АН СССР, созданный незадолго до этого в 1954 году академиком Н.Н. Андреевым. В 1959 году Лаборатория анизотропных структур АН СССР была упразднена. Однако исследования по нелинейной акустике, начатые в стенах этой Лаборатории В.А. Красильниковым и его учениками, с ее закрытием не прекратились, а наоборот, с каждым годом расширялись и углублялись. Владимир Александрович верно оценил тот огромный научный и научно-практический потенциал, который заложен в нелинейной акустике, и это направление исследований стало для него основным на всю оставшуюся жизнь.

Другими важными для В.А. Красильникова событиями 1950-х годов стали его утверждение решением ВАК в 1955 году в ученое звание профессора по кафедре акустики МГУ и участие во времена хрущевской оттепели в одной из первых поездок советских ученых за рубеж. Это была поездка делегации видных советских акустиков, включавшей академика АН СССР Н.Н. Андреева, член-корреспондента АН СССР Л.М. Бреховских, В.А. Красильникова, Ю.П. Лысанова и В.Ф. Ноздрева, на 2-й Международный акустический конгресс в Бостон (США, 1956 год).

На рубеже 59–60 годов Владимир Александрович на 3 месяца командирован в Китай для работы в Нанкинском университете. За совместные научные исследования он был удостоен высокой правительственной награды КНР. В последующие годы его ждало множество научных поездок в разные страны мира, позволивших ему многое узнать о мире и в научном, и познавательном плане, по крайней мере, как он говорил, о Северном полушарии. В 1961 году из Акустического института на кафедру акустики в МГУ переходит ученик и коллега Владимира Александровича Л.К. Зарембо, вместе с которым В.А. Красильников проводит углубленные многолетние исследования самых разных нелинейных акустических эффектов и в жидкостях и в твердых телах.

Большая дружба и общность научных интересов связывали В.А. Красильникова с академиком Р.В. Хохловым – одним из основоположников и нелинейной оптики и нелинейной акустики, ректором МГУ с 1973 года, трагически погибшим после попытки восхождения на Пик Коммунизма на Памире в 1977 году. Подружились они в 1973 году на 5-м Международном симпозиуме по нелинейной акустике в Копенгагене. Нелинейной акустикой Р.В. Хохлов занимался в меньшей степени, чем оп-

тикой, считая первоначально ее чисто «академической» наукой, но он изменил свое мнение после знакомства с докладами, представленными на симпозиуме в Копенгагене. Масса новых практических приложений нелинейной акустики, описанных в этих докладах, убедили его в важности и целесообразности развития данного направления и в МГУ, и в Академии наук, и в стране в целом. Там же в Копенгагене он предложил организовать следующий 6-й Международный симпозиум в 1975 году в Москве. Значительная часть хлопот по организации этого симпозиума, проходившего в стенах МГУ, легла на плечи В.А. Красильникова, выполнявшего в оргкомитете симпозиума функции заместителя председателя Р.В. Хохлова.

В том же 1975 году Владимир Александрович стал заведующим кафедрой акустики физфака МГУ, сменив на этом посту основателя кафедры профессора С.Н. Ржевкина, достигшего тогда уже преклонного возраста 84 лет. В это время под его общим руководством продолжали развиваться такие классические, еще со времен основания, направления кафедры, как архитектурная и физиологическая акустика, физика ультразвука, гидроакустика. Начатые ранее В.А. Красильниковым и его учениками исследования по нелинейной акустике оформились к этому времени в обширное научное направление, ставшее одним из ведущих на кафедре. При его непосредственном участии продолжались исследования по физической акустике и смежным наукам. Активно развивались исследования нелинейных акустических процессов в конденсированных средах и физическая акустика твердого тела, методы неразрушающего контроля и диагностики материалов с дефектами, исследования волновых процессов в структурно-неоднородных и неконсолидированных средах, акустических характеристик сред в области фазовых переходов первого и второго родов, нелинейных свойств поверхностных акустических волн и пьезоэлектриков, кристаллоакустика, акустоэлектроника и магнитоакустика. В.А. Красильниковым были созданы и читались такие учебные курсы, как физика и техника ультразвука, распространение радиоволн, общая акустика, физическая акустика, нелинейная акустика. Кафедрой В.А. Красильников заведовал до 1987 года, когда ему на смену пришел О.В. Руденко, а Владимир Александрович продолжил работу на кафедре в должности профессора. Курс лекций по физической акустике, положенный в основу учебного пособия [3], он читал до последних дней своей жизни.

По совместительству в период с 1969 по 1980 год В.А. Красильников заведовал отделом ультразвука Акустического института АН СССР. В это время в отделе продолжались традиционные исследования: разработка систем звуковидения, исследования ультразвуковой кавитации и технологических процессов с применением ультразвука, разработка мощных ультразвуковых преобразователей, исследование распространения ультразвуковых волн Лэмба и Рэлея в твердых телах и полупроводниковых кристаллах. Возникли и новые направления: применение фокусированного ультразвука в медицине, воздействие ультразвука на жидкие кристаллы, разработка методов модуляции излучения оптического квантового генератора, исследование спин-фононного взаимодействия в парамагнитных кристаллах.

Владимир Александрович умел правильно распределять свое время для эффективной работы и успевал сделать массу дел. Он проводил пионерские исследования на высочайшем научном уровне, занимался преподаванием, писал научные и научно-популярные обзоры и книги (обзоры не только по акустике, но и по физике в целом и по истории ее развития), занимался административной работой. Много времени

он уделял научно-организационной работе. С 1962 по 1999 год В.А.Красильников входил в состав редколлегии «Вестника Московского университета. Физика, астрономия», причем в период с 1975 по 1980-й являлся главным редактором этого журнала. Начиная с 1969 года Владимир Александрович был членом редколлегии «Акустического журнала», где активно проработал до последних своих дней. Он был также членом Объединенного научного совета по комплексной проблеме «Физическая и техническая акустика» и ряда научных советов в МГУ и в Акустическом институте, неоднократно участвовал в организации международных и всесоюзных конференций и симпозиумов по проблемам акустики.

В.А. Красильников – Заслуженный Соросовский профессор, Почетный член Акустического общества США (1998), Почетный член Академии естественных наук РФ (1992), Академик Международной Академии информатизации (1994).

В декабре 1992 года на заседании Ученого совета МГУ было утверждено положение о присуждении почетного звания «Заслуженный профессор Московского университета». Владимир Александрович был в числе первых преподавателей МГУ, удостоенных в 1993 году этого почетного звания.

По своему образованию и опыту исследовательской работы В.А. Красильников принадлежал к известной научной школе по теории колебаний и волн, сформировавшейся в процессе научной и педагогической деятельности академика Л.И. Мандельштама. Поэтому было вполне естественно, что, когда после длительного перерыва с 1952 по 1991 год присуждение премии имени Л.И. Мандельштама – высшей награды Российской академии наук в области радиофизики – возобновилось, Владимир Александрович по предложению профессора О.В. Руденко принял участие в конкурсе работ на эту премию. Решение о ее присуждении В.А. Красильникову за цикл работ «Волны и турбулентность» по случайному совпадению было принято в день его смерти 17 марта 2000 года.

В.А. Красильников был отцом троих детей – сына Михаила 1957 года рождения и двух дочерей, Елены 1952 года рождения и Марии 1965 года рождения. Елена и Михаил пошли по стопам родителей и закончили физфак МГУ. Елена обучалась на кафедре физической электроники и после окончания МГУ работала в Институте кристаллографии АН СССР, а затем – в Акустическом институте. Михаил обучался на кафедре радиофизики, а дипломную работу, посвященную акустическим гармоникам в многослойных резонаторах, он выполнял под руководством профессора О.В. Руденко. В качестве места работы после окончания МГУ Михаил, вероятно, по совету отца выбрал Институт радиотехники и электроники АН СССР, где участвовал в возглавляемых академиком Ю.В. Гуляевым исследованиях в области акустоэлектроники и физической акустики твердого тела. Таким образом, Михаил стал работать в том самом здании – старом здании физфака МГУ, где в 1930-е годы его отец получил образование физика. В ИРЭ АН СССР в 1985 году М.В. Красильников защитил кандидатскую диссертацию на тему «Поглощение акустических волн в диэлектрических кристаллах с примесями». Во время перестройки и Елена, и Михаил ушли в сферу бизнеса. К сожалению, жизнь Михаила Красильникова не была долгой, и в 1999 году Владимиру Александровичу пришлось пережить смерть любимого сына. Мария закончила филологический факультет МГУ, давно живет в Англии, где получила юридическое образование и работает теперь в этой сфере. А всего у Владимира Александровича – шесть внуков, и на данный момент есть уже две правнучки.



1930-e



1940-e



1960-e



1970-e

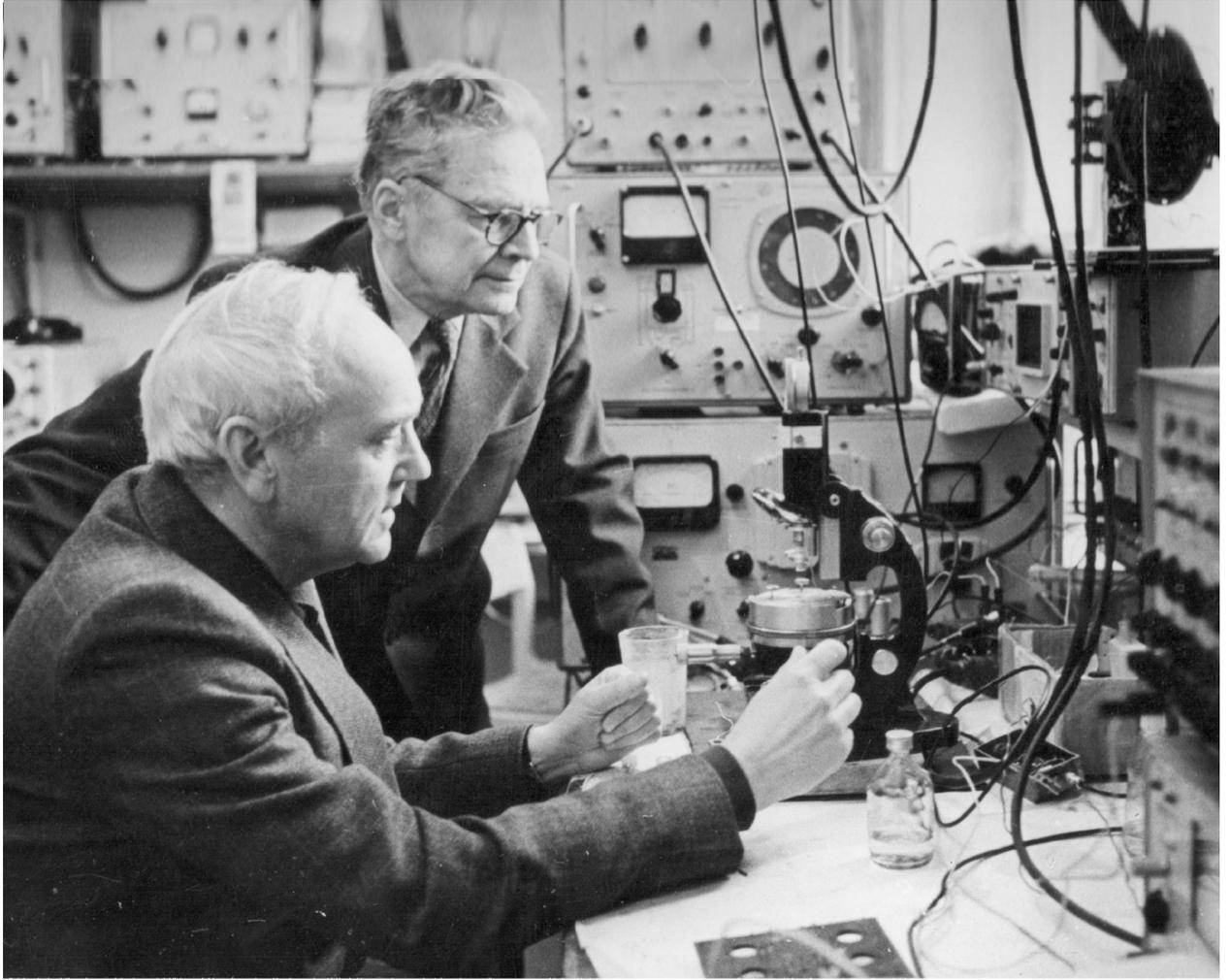


1980-e



1990-e









Стр. 89

Портреты В.А. Красильникова в разные годы

Семейный архив

На научном семинаре кафедры акустики. Первый ряд, слева направо: доцент В.С. Нестеров, профессор В.А. Красильников, зав. кафедрой профессор С.Н. Ржевкин, за ним аспирант А.В. Минаев. Второй ряд: ассистент К.М. Иванов-Шиц, слева доцент К.А. Велижанина, справа за столом мнс К.В. Гончаров, за ним мнс О.С. Тонаканов. МГУ, 1956 год

Архив кафедры

Стр. 90

Лауреаты премии имени М.В. Ломоносова: профессор В.А. Красильников и снс Л.К. Зарембо в лаборатории кафедры акустики. МГУ, конец 1970-х

Архив кафедры

Преподаватели и студенты кафедры акустики после защиты дипломных работ. На переднем плане профессора А.И. Коробов и А.В. Красильников, зав. кафедрой профессор О.В. Руденко (стоит); на заднем плане доцент В.А. Хохлова и профессор С.А. Рыбак. МГУ, 1997 год

Архив кафедры

Стр. 91

Основатель кафедры акустики МГУ профессор С.Н. Ржевкин (справа), профессор В.А. Красильников (в центре), доктор физ.-мат. наук Л.К. Зарембо (слева). МГУ, 1970-е годы

Архив кафедры

С академиком РАН Е.Л. Фейнбергом. Юбилей В.А. Красильникова на физфаке МГУ, 1997 год

Архив кафедры

В президиуме VI Международного симпозиума по нелинейной акустике (ISNA-VI) академик АН СССР, ректор МГУ Р.В. Хохлов (председатель оргкомитета) и профессор В.А. Красильников (заместитель председателя). Москва, 1975 год

Архив кафедры

Стр. 92

Казань, 1932 год

Семейный архив

На Эльбрусе. Кавказ, 1940-е годы

Семейный архив

На лыжной прогулке с академиком АН СССР А.М. Обуховым. Деревня Картмазово в Подмосковье

Семейный архив

На охоте. 1962 год

Семейный архив

Научные исследования

Личная оценка результатов. При подготовке документов в конкурсную комиссию по присуждению премии имени Л.И. Мандельштама В.А. Красильников сам кратко сформулировал свои основные научные достижения и составил список наиболее важных научных публикаций, куда включил монографии [2,5] и статьи [19,20, 27–83]. Тем самым, он лично подвел итоги своего жизненного пути в науке. Вот как Владимир Александрович представил свои главные результаты.

1. Первые эксперименты по распространению звука в турбулентной атмосфере (1939–1953 гг.) по флуктуациям фазы и амплитуды сигнала. Результаты объяснены с точки зрения статистической теории локально-изотропной турбулентности Колмогорова–Обухова, опубликованной в 1941 г., и подтверждают эту теорию в рамках ее применимости. Количественно также эти эксперименты подтверждают знаменитый закон « $2/3$ » Колмогорова–Обухова.

2. Развитая теория флуктуаций амплитуды звука согласовалась с проведенными экспериментами только для небольших расстояний между излучателем и приемником. С увеличением этого расстояния начинают проявляться дифракционные эффекты, учтенные в работах других авторов, результаты которых совпадали с проведенными опытами.

3. Первое объяснение, основанное на законе « $2/3$ », было дано для явления мерцания звезд (флуктуации интенсивности и угла прихода).

4. Первое объяснение флуктуаций амплитуды (фединги) и фазы (флуктуации пеленга) при распространении ультракоротких радиоволн в турбулентной атмосфере из-за пульсаций коэффициента преломления.

5. Первое прямое экспериментальное обнаружение гармоник в плоской ультразвуковой волне в маловязких жидкостях, образование пилообразной формы волны (слабая периодическая ударная волна), нелинейное поглощение ультразвуковых и гиперзвуковых волн. До этих экспериментов общепринятое мнение состояло в том, что при слабых интенсивностях, которые были в экспериментах, нелинейность в жидкости не должна проявляться. Однако, для жидкостей с малым поглощением звука и не обладающих дисперсией, как было показано, при распространении волн имеет место эффект накопления искажений формы волны.

6. Первое прямое обнаружение гармоник плоской продольной акустической волны в твердых телах даже при небольших интенсивностях звука, возникающих из-за нелинейности закона Гука в изотропном теле.

7. Обнаружение рассеяния звука на звуке в твердых телах при нелинейном взаимодействии продольных и сдвиговых волн. Прямое подтверждение правил отбора при фонон-фононном взаимодействии на примере взаимодействия когерентных фононов, т.е. не косвенное, а прямое подтверждение идей Л.Д. Ландау и Ю.Б. Румера (гиперзвук) и А.И. Ахиезера (ультразвук), положенных в основу их теорий поглощения звука в твердых телах.

8. Обнаружение «запрещенных» нелинейных взаимодействий в твердых телах. В изотропных твердых телах и в ряде кристаллов, согласно нелинейной (пятиконстантной) теории упругости, 2-я гармоника не должна возникать. Эксперименты показали, что эта гармоника имеется. Она сильно зависит от внешних воздействий (приложение давления, температура) из-за неоднородностей структуры (дислокации

в кристаллах, остаточные напряжения, микротрещины, зернистость твердой среды). Это была первая работа, в которой обнаружена структурная нелинейность (кроме известных ранее физической и геометрической нелинейностей; общепринятый сейчас термин). Эта структурная нелинейность, кроме зависимости от внешних воздействий, оказывается весьма большой (гигантская нелинейность), в особенности в сильно неоднородных твердых телах. В последних работах (уже в 90-е годы) обнаружена корреляция между нелинейностью и прочностью, что дает возможность применения этой связи для нелинейной диагностики прочности материала (по измерениям нелинейности при малых нагрузках судить о прочности). В настоящее время структурная нелинейность представляет большой интерес для приложений в материаловедении, физике Земли и в сейсмологии.

Ниже предлагается более подробное обсуждение научных результатов В.А. Красильникова. Для более полного представления о них включено также упоминание отдельных исследований учеников Владимира Александровича и сотрудников кафедры акустики, выделенных им самим в обзоре по истории кафедры [18].

Волны и турбулентность. Пионерские экспериментальные и теоретические исследования В.А. Красильникова по распространению акустических волн в турбулентной атмосфере, отраженные в цикле из 11 статей [27–33,35,36,84,85], заложили основы и стимулировали дальнейшее развитие теперь уже самостоятельного научного направления «волны и турбулентность».

К концу 1930-х годов назрела проблема исследования свойств турбулентной атмосферы и ее влияния на характер распространения электромагнитных и звуковых волн. Научные интересы В.А. Красильникова еще в первых работах лежали в области случайных процессов и флуктуаций в электрических цепях. По инициативе профессора С.Э. Хайкина В.А. Красильниковым в 1939 году были начаты эксперименты с акустическими волнами – самым доступным и наиболее подверженным влиянию атмосферы видом излучения. Основной исследуемой величиной была выбрана скорость звука, «которая сильнее зависит от состояния атмосферы и может быть гораздо точнее измерена, чем, например, поглощение звука» [27]. В экспериментах В.А. Красильников использовал интерференционные фазовые методы, развитые в те годы в МГУ академиками Л.И. Мандельштамом и Н.Д. Папалекси для исследования распространения радиоволн. Целью первой статьи цикла [27] было «выявление пригодности и области применения интерференционного метода для исследования атмосферы, а также получение предварительных данных о характере турбулентности в атмосфере». Именно в этой статье впервые прозвучала очевидная сейчас идея использования волнового излучения для исследования турбулентной атмосферы. Оборудование в первых опытах было наипростейшим: звуковой генератор, усилитель, репродуктор и осциллограф на одном конце трассы, микрофон и усилитель на другом конце. Принятый сигнал передавался на осциллограф – по проводам на коротких трассах, а на длинных трассах с помощью радиопередатчика, сигнал которого модулировался звуковой волной. Разность фаз принятого и излученного сигналов определялась визуально по фигурам Лиссажу. Даже на этом несложном оборудовании удалось поставить эксперимент, подтвердивший основанную на общих статистических соображениях гипотезу о пропорциональности среднеквадратичного значения флуктуации фазы принимаемого акустического сигнала квадратному корню из пройденного волной расстояния. В организации первых экспериментов ве-

лика роль замечательного экспериментатора В.М. Бовшеверова, который разработал первый отечественный катодный осциллограф, а затем занимался радиолокаторами. В дальнейшем Красильников создал специальный фазометр с катодной трубкой, изображение с экрана которой фиксировалось на киноленту. В этих экспериментах регистрировались флуктуации разности фаз в двух разнесенных точках и флуктуации амплитуды волны. Измерения, проведенные при различных значениях скорости ветра, на различных частотах, позволили сделать важные выводы: флуктуации фазы имеют гауссовское распределение, их среднее квадратичное пропорционально скорости ветра и частоте звука. Измерена была и корреляционная функция флуктуаций амплитуды.

Экспериментальные исследования распространения звуковых волн в турбулентной атмосфере В.А. Красильников проводил в тесном общении с создателями статистической теории локально изотропной турбулентности академиком А.Н. Колмогоровым и его аспирантом в то время А.М. Обуховым. Под влиянием Красильникова Обухов заинтересовался рассеянием звука в атмосфере и написал первую блестящую работу в этой области, положившую начало акустической локации атмосферы. Именно при таком насыщенном творческом общении экспериментаторов и теоретиков был получен знаменитый закон « $2/3$ » Колмогорова–Обухова для поля пульсаций скорости. Красильников узнал об этой теории турбулентности еще до каких-либо публикаций, что называется, из первых рук, и очень глубоко и творчески воспринял представление о природе закономерностей турбулентного перемешивания в атмосфере. После проведения первых экспериментов он при помощи М.А. Леонтовича на базе теории мелкомасштабной турбулентности разработал основы теории флуктуаций параметров волн в случайно-неоднородной среде, широко использующей структурные функции. Это свидетельствует о глубокой физической интуиции Владимира Александровича – даже годы спустя после публикации работ Колмогорова и Обухова структурные функции не использовались, а для корреляционных функций применялись другие, чисто модельные представления, от гауссовских до очень сложных, но все равно неверных. Теоретические расчеты флуктуаций фазы, сделанные в приближении геометрической акустики, хорошо согласовывались с результатами экспериментальных измерений, что явилось первым экспериментальным подтверждением закона « $2/3$ » в атмосфере. Конечно, это подтверждение теории изотропной турбулентности на самой ранней стадии ее возникновения стало мощной поддержкой и для ее создателей – Колмогорова и Обухова.

Однако рассчитанная в приближении геометрической акустики зависимость амплитуды сигнала от расстояния не согласовывалась с экспериментальными данными. В конце 1940-х годов В.А. Красильников совместно с К.М. Ивановым-Щицем усовершенствовал экспериментальную аппаратуру, которая теперь регистрировала флуктуации амплитуды и фазы одновременно на трех разнесенных приемниках. Это позволяло исключить влияние нестационарности атмосферных условий в разных точках приема. При этом по-прежнему хорошо подтверждался закон « $2/3$ » для фазы и оставалось неудовлетворительным сравнение результатов для амплитуды волны. Согласно теории амплитуда оказывалась пропорциональной расстоянию в степени $3/2$, в то время как эксперимент показывал значительно более слабую зависимость, и это различие невозможно было объяснить какими-либо измерительными ошибками. Но Красильников обратил внимание, что на малых расстояниях различие экс-

периментальных и теоретических зависимостей не столь велико, что заставило усомниться в справедливости геометрической акустики на больших расстояниях. В 1952 году он поставил еще один тщательно подготовленный эксперимент со специально подобранными условиями, при которых применение геометрической акустики было более законным. Эти, наиболее точные эксперименты подтвердили предыдущие результаты – отличное совпадение экспериментальных и теоретических зависимостей для фазы и принципиальное различие амплитудных зависимостей.

После того, как к решению проблемы амплитудных зависимостей подключился Обухов, стало ясно, что амплитуда более чувствительна к дифракционным эффектам, чем фаза, и необходимо развитие более точной теории. Результатом этой деятельности стала совместная статья Красильникова и Обухова 1956 года [36], завершающая цикл работ Красильникова по турбулентности и обобщающая с единых позиций работы обоих авторов. Решение волнового уравнения методом плавных возмущений и применение закона « $2/3$ » позволило получить теоретическую оценку, удовлетворительно описывающую экспериментальную зависимость флуктуаций амплитуды от расстояния и частоты. С тех пор и благодаря этим исследованиям волновая теория флуктуаций акустических сигналов в атмосфере получила свое полное признание.

Работа и общение В.А. Красильникова с видными представителями школы Л.И. Мандельштама обусловили универсальность методов его работы и уверенность в едином механизме колебательных и волновых процессов различной природы. Впервые он с единых позиций дал физическое объяснение и количественные оценки таких разнородных явлений как флуктуации акустических волн и света в турбулентной среде, ошибки в работе звуковых пеленгаторов, мерцание звезд и фединги (флуктуации амплитуды) ультракоротких радиоволн при распространении в пределах прямой видимости и за горизонт.

К тому времени уже стало ясно, что мерцание звезд связано с оптическими неоднородностями атмосферы, но количественная теория этого явления отсутствовала. Применение закона « $2/3$ » для температурных флуктуаций позволило В.А. Красильникову построить первую теорию случайных колебаний угла прихода световых лучей, вызывающих «дрожание» звезд в фокальной плоскости объектива [31]. Экспериментально эта теория была подтверждена только в конце 1950-х годов, так что она значительно опередила свое время.

Подобная ситуация сложилась и с федингами – несмотря на многочисленные попытки, их объяснить не удавалось. Именно Красильников первым показал, что они полностью аналогичны флуктуациям звуковой волны с тем отличием, что на радиоволны наибольшее влияние оказывают неоднородности поля температуры, а не пульсации скорости ветра. Сравнивая выведенные выражения для амплитуды радиоволн с экспериментальными данными по федингам, Красильников получил оценку структурного параметра температуры, которая удовлетворительно согласовывалась с теоретической оценкой Обухова. Опубликованная Красильниковым в 1949 году статья [32] с этими результатами нашла большой резонанс среди исследователей в области распространения радиоволн. Так, известные американские радиофизики Букер и Гордон (H.G. Booker и W.E. Gordon), построившие теорию рассеяния УКВ для передачи сигнала за пределы прямой видимости, в журнале *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* (1951) прямо указывали на выдающуюся роль В.А. Красильникова в развитии физики процессов распространения радиоволн через турбулентную среду.

В 1951 году это исследование В.А. Красильникова было отмечено Почетной грамотой и премией ректора МГУ И.Г. Петровского «За лучшую работу, выполненную на физическом факультете».

В дальнейшем исследования волн в турбулентной атмосфере проводились уже его учениками и последователями – членом-корреспондентом В.И. Татарским, докторами физ.-мат. наук А.С. Гурвичем и М.А. Каллистратовой под руководством А.М. Обухова. В докладе на конференции Американского акустического общества (1997) [19] В.А. Красильников еще раз вернулся к этой проблеме, но уже с учетом новых достижений. Большое внимание он уделил распространению мощного звука в турбулентной среде, проанализировал необходимость развития теории дальнего распространения звука с учетом нелинейности и турбулентности. Это было последнее исследование В.А. Красильникова, посвященное проблеме «волны и турбулентность».

Как отмечено в [7], «его фундаментальный вклад в проблему «волны и турбулентность» признан во всем мире, многие полученные им результаты и разработанные методы стали хрестоматийными и излагаются практически во всех монографиях по волнам в турбулентных средах... В.А. Красильников хорошо известен как один из основоположников нелинейной акустики. Однако его достижения в области распространения волн в турбулентных средах, возможно, даже более значимы с исторической точки зрения».

Нелинейная и физическая акустика. Владимир Александрович признан во всем мире как один из основоположников современного научного направления – нелинейной акустики. Он впервые непосредственно наблюдал нелинейные искажения волн в жидкостях и первым поставил эксперименты по изучению нелинейных эффектов в твердых телах, обнаружил комбинационное рассеяние при взаимодействии волн различных типов и открыл структурную нелинейность тел с дефектами.

Исторически первые попытки применения нелинейной теории акустических волн для объяснения аномально большого поглощения ультразвуковых волн в жидкостях, наблюдавшегося экспериментально, были предприняты в 1930-х годах А.А. Эйхенвальдом и П. Бикаром (см., например, [40]). Возражения такому объяснению основывались на теории ударных волн Я.Б. Зельдовича, согласно которой при возникновении ударных волн большой интенсивности меняется не только затухание волны, но и скорость ее распространения. В газах этот факт изменения скорости и затухания волн большой мощности в зависимости от их интенсивности был уже хорошо известен. Однако при интенсивностях, использовавшихся в то время в ультразвуковых исследованиях, такие эффекты не должны были наблюдаться. Более того, в жидкостях подобные эффекты не наблюдались ни на каких частотах. С другой стороны, успехи развиваемой в то же время релаксационной теории поглощения Л.И. Мандельштама и М.А. Леонтовича были настолько велики, что о возможности увеличения поглощения за счет нелинейности просто забыли. Этому способствовали и очевидные соображения о малости чисел Маха в жидкости и то, что в то время был еще малоизвестен и недостаточно осознан эффект накопления нелинейных искажений с расстоянием. Все это позволило авторитетному акустику И.Г. Михайлову в своей книге [86, с. 80] заключить, что «в жидкостях (в воде) возникновение этого явления (зависимости поглощения от интенсивности – Авт.) невозможно при практически доступных интенсивностях ультразвука».

В начале 1950-х годов появились экспериментальные результаты, указывавшие на проявление нелинейных свойств жидкостей, в частности, наблюдалась генерация суммарных и разностных частот при «смешении» двух волн разных частот. Под влиянием работ в Лаборатории анизотропных структур по мощному ультразвуку В.А. Красильников также с увлечением принялся за новую тематику, и в 1956 году была опубликована его статья [38] с результатами первых прямых экспериментов по обнаружению и измерению высших гармоник акустических волн конечной амплитуды в жидкостях. Эти эксперименты были проведены чувствительным спектральным методом. Высшие гармоники наблюдались при помощи пространственного фильтра – пластины, поставленной под углом на пути распространения основной волны так, чтобы она была «прозрачна» для сигналов на частоте измерений и отражала волны других частот. Было показано, что амплитуды гармоник вначале растут с пройденным волной расстоянием, а затем быстро увеличивается поглощение, сейчас это поглощение принято называть нелинейным. Как отмечает в [20] сам Владимир Александрович, работа [38] вначале была встречена с некоторым недоверием, вызванным распространенным мнением о незначительности нелинейных эффектов. Однако в [38] прямыми измерениями было показано, что при малом поглощении в жидкости и отсутствии дисперсии нелинейные эффекты накапливаются с расстоянием и на большом в длинах волн расстоянии заметны даже при малой интенсивности. Позднее с использованием широкополосного метода В.А. Красильников совместно со своим дипломником В.А. Буровым зарегистрировал пилообразную форму волны [42]. Можно считать, что именно эти эксперименты стали началом интенсивного развития нелинейной волновой акустики жидкостей и ее дальнейших практических применений.

В начале 1960-х В.А. Красильников обращается к нелинейной акустике твердых тел. Как и в случае жидкости, смещения в акустических волнах в твердых телах, по мнению ряда акустиков, были слишком малы, чтобы отклонения от закона Гука могли быть замечены. Считалось, что линейная зависимость деформаций и напряжений сохраняется до деформаций порядка 10^{-3} , в то время как в акустических волнах достигались деформации не более $10^{-5} \dots 10^{-4}$. Тем не менее, некоторые указания на нелинейные эффекты в твердых телах все же существовали – П.В. Бриджмен в 1920–1930 годах обнаружил зависимость скорости звука от давления, а также было хорошо известно явление теплового расширения твердых тел, объясняемое ангармонизмом кристаллической решетки. В.А. Красильникову вместе со своим аспирантом А.А. Гедройцем удалось впервые в мире наблюдать генерацию гармоник в твердых телах, как в металлах, так и в кристаллах [45,48]. Ключевую роль сыграли отсутствие дисперсии и малость поглощения в исследованных образцах, что привело к эффективному накоплению и проявлению нелинейных искажений. Спектральным методом были измерены амплитуды гармоник, и на основе пятиконстантной теории Л.Д. Ландау и Ю.Б. Румера было рассчитано значение нелинейного параметра, показавшее, что для продольных волн нелинейный параметр в основном определяется именно ангармонизмом кристаллической решетки.

Благодаря развитым чувствительным спектральным методам оказалось возможным исследование нелинейных взаимодействий различных типов волн – продольных и сдвиговых – в твердом теле. Наибольший интерес вызывает явление рассеяния звука на звуке, при котором излучение рассеянной волны происходит под уг-

лом, определяемым условиями синхронизма, между взаимодействующими коллинеарными пучками продольных и сдвиговых волн. Это явление было подробно исследовано В.А. Красильниковым совместно с его учеником Л.К. Зарембо и аспиранткой Гун Сю-фэнь [54,56]. Данные эксперименты, а также и другие исследования взаимодействий продольных и поперечных волн в твердых телах показали выполнение при таких взаимодействиях правил отбора или резонансных условий – условий сохранения энергии и квазиимпульса фононов в трехволновых взаимодействиях. Тем самым, эти эксперименты непосредственно подтвердили существующие теории поглощения акустических волн в твердых телах за счет потери энергии искусственных фононов при их неупругих столкновениях с тепловыми фононами. Для гиперзвуковых частот и низких температур такая теория была предложена Л.Д. Ландау и Ю.Б. Румером, а для ультразвуковых частот и комнатных температур – А.И. Ахиезером.

Результаты этих и других работ В.А. Красильникова нашли отражение в книге «Введение в нелинейную акустику» [2] – первом в мире монографическом изложении широкого круга вопросов нелинейной акустики.

Одним из наиболее ярких и значимых для последующих практических приложений результатов В.А. Красильникова явилось открытие структурной нелинейности твердых тел. Из пятиконстантной теории следует, что в идеальном изотропном твердом теле сдвиговые гармоники образовываться не должны. Однако при наличии неоднородных структур – дислокаций, микротрещин, остаточных напряжений и других неоднородностей такой запрет снимается. Это было впервые и убедительно продемонстрировано в работе [50], где были обнаружены так называемые «запрещенные» взаимодействия. Было показано, что при небольшом локальном давлении или локальном нагревании образца возникает вторая сдвиговая гармоника, и это явление наблюдалось в большом числе кристаллов и изотропных материалов. Было замечено также, что при снятии нагрузки вторая гармоника исчезает не сразу, а постепенно. Это явление сейчас называется медленной динамикой и ему посвящены целые разделы на научных конференциях.

В.Е. Лямов, ученик Владимира Александровича, исследовал нелинейные акустические явления в кристаллах и показал, что в них благодаря анизотропии появляются новые эффекты, не наблюдаемые в изотропных телах, – генерация высших сдвиговых гармоник сдвиговой волны, распространяющейся вдоль акустической оси [87,88]. Был открыт новый поляризационный механизм искажения интенсивной сдвиговой волны, при котором генерация второй гармоники происходит с поворотом плоскости поляризации относительно волны основной частоты. Одним из первых В.Е. Лямов обратил внимание на то, что пьезоэффект также обладает нелинейными свойствами. Эта нелинейность используется сейчас в акустоэлектронных устройствах обработки сигналов.

В это же время под руководством В.А. Красильникова проводились исследования нелинейных акустических взаимодействий и генерации гармоник в СВЧ-диапазоне, акустических волн в сегнетоэлектриках, магнитоупругих волн. Активно развивалась акустоэлектроника, особенно после предложения Ю.В. Гуляева и В.И. Пустовойта создать слоистую структуру для усиления поверхностных волн в полупроводнике. В.А. Красильниковым с учениками и сотрудниками кафедры были исследованы взаимодействия звука с электронами в пьезо- и фотополупроводниках, с магнонами в ферритах и антиферромагнетиках, были получены важные результаты

по усилению звука и акустоэлектронному эффекту, нелинейной акустоэлектронике. Б.А. Коршаком, В.Е. Лямовым и И.Ю. Солодовым впервые наблюдалось явление акустической памяти на встречных поверхностных волнах. В работах Л.К. Зарембо и С.Н. Карпачева исследован нелинейный магнитоакустический резонанс – резкое увеличение магнитоупругой нелинейности при синхронизме спиновой и упругой мод.

Особое место на кафедре занимали исследования нелинейных свойств поверхностных волн, наиболее широко используемых в приложениях. И.Ю. Солодов изучил нелинейность рэлеевских поверхностных волн, а затем исследовал нелинейные эффекты на границах твердых тел и впервые наблюдал нелинейное отражение звука [89], при котором нелинейная деформация границы приводит к появлению гармоник всех типов волн. В.А. Красильниковым и Л.К. Зарембо были впервые экспериментально и теоретически исследованы нелинейные свойства сильно диспергирующих капиллярных волн. В.В. Крыловым были исследованы рассеяние и излучение поверхностных волн на реальных (шероховатых, трещиноватых и т.д.) поверхностях. Совместно с В.Г. Можаяевым им развита теория клиновых волн, бегущих вдоль ребра упругого твердого клина. В.Г. Можаяев предсказал существование нового типа поверхностных акустических волн, обусловленных упругой нелинейностью.

В дальнейшем Владимир Александрович вернулся к исследованию твердых тел с дефектами и обусловленной ими структурной неоднородности. В экспериментах было показано, что структурная нелинейность неоднородных тел может на несколько порядков превосходить геометрическую и физическую нелинейности, связанные с нелинейностью уравнений движения и состояния. Это открыло новые возможности для применения методов нелинейной акустики в неразрушающем контроле и диагностике материалов, широко используемых ныне в промышленности, строительстве, геофизике и медицине. В работе Владимира Александровича [66], в соавторы которой входят, в частности, и его ученики К.К. Ермилин и В.М. Прохоров, был показан рост амплитуды второй сдвиговой гармоники с увеличением усталости металлов при их динамической нагрузке. Усталость вызывалась изменением внутренней структуры, достигавшимся за счет возбуждения в образцах – металлических стержнях – мощных стоячих волн, доведших их до разрушения. Оказалось, что структурная нелинейность обладает рядом замечательных свойств – она локализована вблизи дефектов и обладает пороговым характером. В совместной работе с И.Э. Школьником [82] была выявлена чувствительность упругих модулей более высокого порядка (третьего и выше) к структуре дефектов, таких как дислокации, микротрещины, поры, и определена их связь с пределом прочности материала. Для проверки данной теории при участии О.Ю. Сердобольской был проведен эксперимент [83], основанный на обнаруженном резком возрастании нелинейных модулей сегнетоэлектриков в области фазового перехода. Несмотря на теоретические ожидания, прочность образца убывала в этой области несущественно. Этот результат удовлетворительно объясняется статистической теорией прочности твердых тел, созданной К.Л. Зарембо и Л.К. Зарембо [90], согласно которой прочность определяется, преимущественно, наличием самих дефектов и быстрым ростом их числа вблизи порога разрушения образца, а не увеличением нелинейных модулей. Тем не менее, связь предела прочности материала с его нелинейными свойствами, то есть структурной нелинейностью прослеживается четко. Особый тип структурной нелинейности – контактная («хлопающая») акустическая нелинейность, возникаю-

шая при соприкосновении плоских контактов, была исследована И.Ю. Солодовым [91]. В группе А.И. Коробова исследовались фонон-электронные взаимодействия, акустические характеристики сплавов в области электронно-топологического перехода, развиваются методы нелинейной акустики и фотоакустики для исследования фазовых переходов первого и второго рода. Экспериментальные исследования сред с дефектами показали высокую эффективность нелинейных методов диагностики, поскольку за счет локального характера нелинейности и чувствительности нелинейных свойств к внутренней структуре на высших гармониках наблюдается контрастный и локализованный на дефекте акустический отклик [92,93]. Все эти работы привели к бурно развивающемуся и сейчас направлению – нелинейной акустической диагностике твердых тел, определению дефектов в молекулярных структурах, теории структурных нелинейностей.

После того как кафедру перешел и возглавил ее профессор О.В. Руденко, научные исследования по нелинейной акустике продолжились и расширились. Были разработаны теории взаимодействия пилообразных акустических волн и распространения и самовоздействия мощных волновых пучков, развита теория интенсивных волн и пучков в случайно-неоднородной среде и турбулентной атмосфере. Продолжились исследования структурной нелинейности [94] и развиваются такие медицинские приложения как ультразвуковая диагностика и терапия, эластография биотканей и разрушение почечных камней [95], томография распределения нелинейного параметра в пространстве.

Научные достижения В.А. Красильникова отмечены премией имени М.В. Ломоносова МГУ за научную деятельность I степени 1976 года за «Цикл исследований по нелинейной акустике» совместно с Л.К. Зарембо; Государственной премией СССР 1985 года в области науки за цикл работ «Разработка физических основ нелинейной акустики и её приложений» (1955–1983), в составе коллектива Е.А. Заболотская, Л.К. Зарембо, В.А. Красильников, О.В. Руденко, З.А. Зверев, Л.А. Островский, А.И. Калачёв, Л.М. Лямшев, А.В. Римский-Корсаков, К.А. Наугольных, В.И. Тимошенко, Р.В. Хохлов (посмертно).

Интенсивная научная и педагогическая деятельность Владимира Александровича на протяжении многих лет привела к формированию известной научной школы по нелинейной акустике. Эта школа известна такими именами, как доктора физ.-мат. наук Л.К. Зарембо, В.А. Буров, И.Ю. Солодов, А.И. Коробов, В.И. Павлов, В.В. Крылов, безвременно ушедший из жизни кандидат физ.-мат. наук В.Е. Лямов. Подготовленная В.Е. Лямовым докторская диссертация была опубликована в виде монографии [87]. Среди учеников Владимира Александровича 30 кандидатов наук, 8 из которых стали докторами наук, профессорами; имеются лауреаты Государственных премий и иных правительственных и академических наград.

Факт создания В.А. Красильниковым ведущей научной школы получил официальное признание. В 1996 году состоялся первый конкурс «Ведущие научные школы России», по итогам которого коллектив кафедры был удостоен гранта Президента РФ. Руководителем проекта-победителя под названием «Физика мощных акустических полей – нелинейная акустика» был профессор В.А. Красильников [12]. В дальнейшем эта научная школа, уже под руководством профессора О.В. Руденко не раз получала поддержку благодаря своей успешной научной деятельности и достижениям в области подготовки физиков-акустиков высшей квалификации.

В настоящее время В.А. Красильникова уже нет в живых, но его сотрудники, ученики и коллеги продолжают работать. На кафедре акустики учреждена ежегодная премия им. В.А. Красильникова за лучшую дипломную работу в области нелинейной акустики. Работа всемирного научного форума – 16-го Международного симпозиума по нелинейной акустике (ISNA-16), который состоялся в Москве на физическом факультете МГУ в 2002 году, была посвящена памяти выдающегося ученого, воспитавшего не одно поколение советских и российских акустиков, Владимира Александровича Красильникова.

Книги

В 1951 году выходит в свет первая книга В.А. Красильникова о звуковых волнах в различных конденсированных средах [1]. Эта книга, выдержавшая 3 издания, каждое новое из которых перерабатывалось и дополнялось, сыграла важную роль в популяризации знаний по акустике и развитию акустических исследований в целом, как в нашей стране, так и за рубежом. Несмотря на огромный по нынешним меркам тираж (20 тысяч у второго издания, 10 тысяч у третьего издания) в 1980-е годы ее было очень сложно найти у букинистов.

В 1966 году была опубликована научная монография «Введение в нелинейную акустику», написанная совместно Л.К. Зарембо и В.А. Красильниковым. Это была первая в мировой литературе книга по нелинейной акустике, сыгравшая важную роль в развитии исследований по нелинейной акустике в СССР и социалистических странах. В 1980-е годы она была библиографической редкостью, и длительный поиск ее одним из авторов данной статьи (В.Г.М.), бывшим аспирантом Владимира Александровича, в букинистических магазинах Москвы не давал никаких результатов до тех пор, пока ему не посчастливилось купить ее лишь случайно, находясь в командировке в Душанбе.

В 1984 году в издательстве «Наука» вышла из печати книга В.А. Красильникова и В.В. Крылова «Введение в физическую акустику». История создания этой книги такова. Владимир Александрович не раз высказывал сожаление о том, что издаваемая на западе и частично переведенная у нас серия книг «Физическая акустика», представляющая собой сборники обзоров по отдельным актуальным проблемам физической акустики, хотя и имеет несомненную ценность для специалистов, но малопригодна и требует адаптации для учебного процесса из-за своего большого объема, сложности и отсутствия элементарной учебной информации. Он также не раз высказывал мысль о целесообразности и назревшей необходимости подготовки к изданию на русском языке учебного пособия, которое бы аккумулировало в себе весь тот огромный объем знаний, который был накоплен в этой области к 1980-м годам. Но время шло, а такой учебник не появлялся, и тогда Владимир Александрович принял решение сам заняться подготовкой этой книги. Но возраст у него был уже достаточно солидный, и силы были не те, что в прежние годы, когда он писал первые свои книги по акустике, да и заведование кафедрой отнимало время. Поэтому написание книги шло не так быстро, как хотелось бы. И тогда В.А. Красильников привлек к этому процессу талантливого и явно обладающего литературными способностями своего ученика В.В. Крылова. Такой творческий союз значительно ускорил подготовку книги к изданию, и в 1984 году она увидела свет. Это было компактное учебное пособие с ясным изложением широкого круга вопросов современной

акустики, основанное на читаемом Владимиром Александровичем курсе лекций по физической акустике. Можно утверждать, что это была та самая книга, которую давно ждали и которой так не хватало в учебном процессе. Практически сразу после ее выпуска весь тираж был мгновенно раскуплен, а в специализированном магазине «Академкнига» издательства «Наука» в Москве книга в свободную продажу вообще не поступила в виду огромного количества предварительных заказов на нее. Владимир Александрович намеревался подготовить к изданию расширенный и переработанный вариант этой учебной монографии, но, к сожалению, вскоре в связи с развалом СССР научное книгоиздание в стране практически полностью прекратилось, а возможности найти средства для издания такой книги отсутствовали до конца жизни В.А. Красильникова.

Благодаря удачному творческому тандему В.А. Красильникова и В.В. Крылова вскоре в **1985 году** появилась еще одна их книга – научно-популярная брошюра серии «Физика» общества «Знание», посвященная поверхностным акустическим волнам. Эта занимательно написанная книжка сыграла свою положительную роль в популяризации знаний по бурно развивающемуся направлению современной акустики, и она и сейчас остается ценным пособием для начального изучения данного предмета.

На рубеже своего 80-летия Владимир Александрович подводит определенные итоги своей научно-педагогической деятельности. Многие годы он читал на кафедре курс лекций «Введение в акустику» для студентов 3 курса, только распределившихся на кафедру и начинающих изучать акустику, и теперь решает подготовить свои лекционные записи к изданию в виде книги. Но после отпуска цен в 1992 году ее издание в традиционных научных издательствах становится невозможным, и Владимир Александрович тогда соглашается на ее печать на ротапринте физического факультета.

Юбилей

К юбилейным датам В.А. Красильникова неоднократно публиковались статьи о нем в различных изданиях, ссылки на которые приведены в статье [9].

К **70-летию** Владимира Александровича, праздновавшемуся в 1982 году, выпускник физфака МГУ и известный физфаковский поэт, автор самодеятельной оперы «Архимед», профессор В.В. Канер, у которого В.А. Красильников был оппонентом на защите кандидатской диссертации, написал посвященную юбиляру историю нелинейной акустики в стихах с названием «Введение в акустику криволинейную» [23]. В наименовании данного шуточного произведения обыгрывалось название монографии Л.К. Зарембо и В.А. Красильникова «Введение в нелинейную акустику». Вторая часть этой поэмы с поздравлениями, адресованными юбиляру, заканчивалась следующими словами:

Что в заключение пожелать?
Конечно, книгу написать...
Пусть, как не раз бывало это,
Та книга – мысли эстафета –
Пройдет сквозь годы, города...

И после 1982 года Владимир Александрович действительно написал еще 3 книги [3–5], причем названия двух из них [3,5] начинались со слов «Введение...».

В 1997 году праздновался последний прижизненный юбилей В.А. Красильникова – его **85-летие**. Научный доклад юбиляра и его чествования проходили на расширенном заседании кафедры акустики в одной из больших физических аудиторий факультета. Присутствовавшие на этом мероприятии стали свидетелями искрометного выступления Владимира Александровича, полного шуток, энергии и обаяния. Примечательно, что, несмотря на невысокий рост и обычно мягкую и спокойную интеллигентную манеру говорить, Владимир Александрович при необходимости мог свободно, без микрофона, озвучить своим голосом любую большую аудиторию или зал. Эта его «акустическая способность», как отмечал сам В.А. Красильников, развилась, благодаря детству, проведенному на большой Волге – там без сильного голоса с лодки до берега не докричишься. Однако проявлялась она в исключительно редких случаях, и авторам настоящей статьи довелось лишь дважды услышать мощь голоса «одного из главных нелинейных акустиков» страны. Первый раз это случилось на банкете, посвященном присуждению в 1984 году премии Ленинского комсомола группе молодых ученых из разных учреждений за работу «Волновые явления в сложных твердотельных структурах и их использование для создания новых приборов твердотельной электроники». Среди награжденных были и выпускница кафедры И.В. Ермолаева и ученик В.А. Красильникова, сотрудник кафедры В.В. Крылов. В зале, где отмечалось это событие, присутствовало более сотни человек, и в создаваемом гостями монотонном шуме произносимые тосты были слышимы лишь благодаря микрофону и звукоусилительной аппаратуре. И вот слово взял В.А. Красильников. После первых же звуков его голоса зал замолчал, настолько необычной была мощь его голоса. Причем произносил свой тост Владимир Александрович без микрофона, и это была интонационно спокойная речь! Второй раз авторы статьи удивились силе голоса Владимира Александровича на юбилейном мероприятии, с упоминания которого начался этот абзац. Выступая в большой физической аудитории вновь без микрофона, он, казалось, лишь слегка напрягал и форсировал свой голос, хотя его хорошо было слышно на самых верхних рядах этой большой многоступенчатой аудитории.

Празднование **100-летнего юбилея** В.А. Красильникова проходило на физическом факультете МГУ в 2012 году. К юбилейной дате 14 сентября был подготовлен кафедральный стенд с фотографиями В.А. Красильникова разных лет. 17 сентября состоялась встреча коллектива кафедры с вдовой В.А. Красильникова Татьяной Николаевной и просмотр видеофильма-интервью с Владимиром Александровичем, снятого в 1995 году для музея истории физического факультета, с последующими воспоминаниями присутствующих о юбиляре. В научной библиотеке физфака организована выставка печатных изданий, посвященная Владимиру Александровичу. Для октябрьского выпуска факультетской стенгазеты «Советский физик» подготовлена статья о В.А. Красильникове с включением текста видео-интервью [6].

10 октября в многофункциональном центре библиотеки физфака состоялся расширенный семинар кафедры акустики с приглашением гостей, посвященный В.А. Красильникову. С докладами на семинаре выступали заведующий кафедрой акустики академик РАН О.В. Руденко, заслуженные профессора Московского университета В.А. Буров и А.И. Коробов, главный научный сотрудник радиоакустической лаборатории отдела динамики атмосферы Института физики атмосферы РАН М.А. Каллистратова и профессор кафедры МИРЭА в Акустическом институте В.Ф. Казанцев.

О.В. Руденко в своем выступлении отметил, что многие работавшие на кафедре могут в полной мере считать себя учениками В.А. Красильникова, а также замечательную черту Владимира Александровича – когда тот испытывал симпатию к кому-либо, то старался всеми силами помогать этим людям. Мнение Владимира Александровича для всех было очень важным, при этом он пользовался колоссальным авторитетом не только среди акустиков. Подчеркнув основополагающую роль В.А. Красильникова в исследованиях распространения волн в турбулентной среде, О.В. Руденко высказал предположение, что Владимир Александрович не только подтвердил результаты Колмогорова–Обухова, а как бы дал толчок в развитии их теории и, может быть, даже был ее инициатором. Руденко отметил, что Красильников был единственным ученым Московского университета – дважды лауреатом первых научных премий МГУ: за работу «О влиянии пульсаций коэффициента преломления в атмосфере на распространение ультракоротких радиоволн» (1951) и за исследование в области нелинейной акустики (1976). О.В. Руденко рассказал также о том, что когда он представлял работу Владимира Александровича на заседании комиссии по присуждению премии имени Л.И. Мандельштама, то работа получила единогласную поддержку при том, что ни до, ни после этого такого единодушия ни разу не было. Реальный вклад Красильникова – это не только руководство кафедрой в период с 1975 по 1987 год, но и руководство подавляющим большинством направлений в долгий период его работы на кафедре акустики.

Доклад М.А. Каллистратовой был посвящен пионерским исследованиям В.А. Красильниковым флуктуаций параметров волн в турбулентной атмосфере. Она подчеркнула, что именно Владимир Александрович был первым, кто сформулировал эту задачу и получил ключевые результаты. Его работы в этой области редко вспоминают и, возможно, причиной тому был характер самого Владимира Александровича – он всегда щедро делился своими идеями и своими достижениями, мало заботясь о приоритетах. Большой удачей Красильникова, по мнению Каллистратовой, было то, что после распределения в Горьковский университет его руководителем стал А.А. Андронов, ученик Мандельштама, и то, что там он подружился с соавтором своей первой публикации по волнам в турбулентных средах, представителем замечательной горьковской радиофизической школы В.М. Бовшеверовым. Много внимания она уделила дружбе Красильникова с Обуховым, которая началась в ИТГ АН, окрепла во время войны в эвакуации в Казани и длилась почти 50 лет. Замечательным было то, что их глубокая личная симпатия сочеталась с чрезвычайно плодотворным научным сотрудничеством. Она отметила, что, работая на физическом факультете МГУ, Красильников мог общаться не только с выдающимися исследователями, но и талантливой молодежью. В начале 1950-х Владимир Александрович помог своим двум очень талантливым ученикам. Благодаря ему А.С. Гурвич на пятом курсе досрочно выполнил дипломную работу и закончил университет дипломированным акустиком, а В.И. Татарский был зачислен на внештатную должность в институт к Обухову и остался работать в Москве. В заключение она отметила, что сочетание искусства экспериментатора и таланта теоретика, физическая интуиция, глубокое понимание, как механизмов турбулентности, так и волновых процессов любой природы, настойчивость в доведении исследований до конца, – вот те качества, которые привели В.А. Красильникова к столь фундаментальным результатам.

В.А. Буров в своем выступлении подчеркнул удивительную особенность В.А. Красильникова, восхищавшую его коллег и учеников – чувство нового и перспективного как в науке, так и в жизни. Впервые он столкнулся с этим талантом Владимира Александровича, будучи студентом-дипломником в Лаборатории анизотропных структур АН СССР, руководимой его отцом А.К. Бутовым. Там исследовалось воздействие мощного ультразвука на злокачественные опухоли, и были обнаружены загадочные явления – не только рассасывание опухоли у больного, но и инициация иммунной реакции его организма. Удивительным было также резкое уменьшение интенсивности волны в разы, необъяснимое с точки зрения классической линейной акустики. Тщательные исследования показали, что обнаруженное дополнительное поглощение не связано с кавитацией. И Владимир Александрович, твердо понимая важность этого, предложил непосредственно посмотреть, что представляет собой волна такой интенсивности. Затем вышла статья Мендоуса с решением, описывающим поглощение пилообразной волны, и экспериментальные результаты идеально с ней совпали. После преждевременной смерти А.К. Бурова лаборатория попала в критическую ситуацию, была создана комиссия во главе с В.А. Котельниковым, которой Красильников с большой гордостью за результаты показывал полученные картины искажения ультразвуковой волны – это была «нелинейщина», до тех пор очень слабо проявлявшаяся в других работах. Позднее, как рассказал о себе В.А. Буров, он занялся обратными волновыми задачами акустики, акустикой океана, но с большой благодарностью вспоминает Владимира Александровича еще и теперь, когда интересовался проблемами нелинейной акустической томографии. В заключение он сказал, что с гордостью причисляет себя к ученикам В.А. Красильникова и что для него Владимир Александрович – это большой Учитель, знающий как надо работать с учениками, не менторскими методами, а интересом и увлечением, не нажимая на главенство. О.В. Руденко добавил, что его долг напомнить о том, как неоднократно, много раз Владимир Александрович повторял, что у него масса заслуженных учеников, замечательных людей и ученых, но самым любимым и самым талантливым был и остается В.А. Буров.

Выступление А.И. Коробова было посвящено нелинейной акустике твердых тел, кристаллоакустике, акустоэлектронике и нелинейной акустической диагностике. В основу выступления была положена статья [20], содержащая расширенный доклад В.А. Красильникова на 16-м Международном акустическом конгрессе в 1998 году в США. А.И. Коробов подчеркнул, что в этом докладе В.А. Красильников как бы расставил все точки в области нелинейной акустики, а поскольку это был международный конгресс, то и все приоритеты. Он также рассказал о работе созданного в 1999 году при кафедре акустики Центра коллективного пользования физического факультета МГУ по нелинейной акустической диагностике и неразрушающему контролю. В заключение А.И. Коробов высказал благодарность Владимиру Александровичу за богатое оставленное нам наследство – и не только в научном плане, но и в уважительном и теплом отношении к кафедре всего научного сообщества, которое в память о В.А. Красильникове распространяется на нас до сих пор.

В.Ф. Казанцев рассказал о том периоде жизни Владимира Александровича (1968–1980 годы), когда параллельно с работой на кафедре акустики он возглавлял отдел Ультразвука Акустического института. Сам В.Ф. Казанцев в те годы был заместителем В.А. Красильникова, и лично у него остались самые теплые воспо-

минания о работе с Владимиром Александровичем, чей такт и большая эрудиция позволяли умело и ненавязчиво осуществлять эффективное руководство всеми разнообразными исследованиями, проводимыми в отделе. Он также обратил внимание на некоторые аспекты научной деятельности Владимира Александровича того периода – интенсивные исследования по кавитации, а также на изящно поставленный классический эксперимент по обнаружению в твердом теле низкочастотной волны, возникающей за счет детектирования модулированной нелинейной ультразвуковой волны. Подытожил свое выступление В.Ф. Казанцев призывом к коллегам и ученикам В.А. Красильникова сохранить в памяти понимание того большого вклада, который внес Владимир Александрович в науку и в зарождении и развитии обширнейшего научного направления, каким теперь является нелинейная акустика.

Неформальные воспоминания

Говоря о человеческих качествах Владимира Александровича, следует отметить его исключительную доброжелательность, такт и порядочность по отношению к окружающим, сочетавшиеся с тонким и добрым юмором, широчайшей научной эрудицией, открытостью и искренним интересом к исследованиям других, причем не только в тех областях акустики и волновой физики, которыми он сам занимался, но и в самых разных научных областях. Здесь уместно также упомянуть его готовность и стремление оказать бескорыстную помощь коллегам и ученикам в тех случаях, когда они в ней нуждались. Эти великолепные качества Владимира Александровича невольно вызывали у всех окружающих глубокое чувство уважения к нему.

Он любил шутки и сам любил шутить. Причем шутки его были добрыми и необходимыми для окружающих. Поэтому и лекции его для студентов были интересными не только по научному содержанию, но и по форме. О чувстве юмора, о такте и деликатности Владимир Александрович говорит следующий эпизод, рассказанный старшим преподавателем кафедры акустики О.Д. Румянцевой. В то время, когда она была еще студенткой и слушала лекции В.А. Красильникова, на одной из лекций два студента что-то громко и долго обсуждали между собой. Владимир Александрович какое-то время терпел эти разговоры, а затем сделал им строгим голосом такое «акустическое» замечание: «Молодые люди! Ну что же вы болтаете и болтаете. Я понимаю, если б это девушки были. Так у них хоть голос выше и затухает быстрее. А вы все басите и басите». В конце этих слов В.А. резко прервался, чуть помолчал, а затем тихо добавил: «Извините». После такого замечания, как отметила О.Д. Румянцева, ей на всю жизнь запомнилось, что поглощение звука растет с частотой.

Другую историю, демонстрирующую чувство юмора и такта Владимира Александровича, вспомнил профессор А.И. Коробов. В 1970-е годы у В.А. Красильникова был аспирант, который весьма редко появлялся в лаборатории, а свое мнимое присутствие на рабочем месте имитировал пиджаком, висевшим на спинке стула. Наконец, настал момент, когда этот аспирант почувствовал, что он уже неприлично долго не общается со своим научным руководителем, и тогда он решил позвонить в лабораторию. А в то время на факультете помимо редких городских телефонов были еще и внутренние, на которые можно было звонить только по местной телефонной се-

ти МГУ. Так вот, этот аспирант позвонил В.А. Красильникову и сказал примерно следующее: «Владимир Александрович! Я сейчас в Ленинской библиотеке, делаю ксерокопии научных статей. Не надо ли Вам что-нибудь откопировать?» На что Владимир Александрович с присущим ему чувством юмора и такта ответил, что он весьма признателен аспиранту за то, что тот помнит о своем научном руководителе, а также в особенности за то, что, находясь в Ленинской библиотеке, аспирант смог дозвониться ему на внутренний телефон МГУ.

Любопытную историю, связанную с В.А. Красильниковым, поведал в своих воспоминаниях член-корреспондент АН РАН В.А. Зверев. В его лаборатории в Институте прикладной физики в Горьком работал лаборантом студент-вечерник радиофизического факультета университета Б.А. Конюхов. Учился он плохо и многих удивил тем, что сразу после окончания университета защитил кандидатскую диссертацию. Как объясняет В.А. Зверев, «виновником» столь необычной ситуации являлся В.А. Красильников. А дело в том, что учась на 3 курсе, Б.А. Конюхов попал с докладом на большую конференцию, поскольку никто из его старших соавторов приехать туда не мог. Доклад произвел большое впечатление на председателя конференции В.А. Красильникова, и он стал уговаривать Б.А. Конюхова пойти к нему в аспирантуру в МГУ. Это настолько сильно подействовало на Б.А. Конюхова, что тот с утренней энергией принялся за науку, но забросил учебу. В результате он едва дотянул до окончания университета, но при этом успел подготовить хорошую диссертацию. «...Этот пример показывает, как важно для молодого человека получить одобрение маститого ученого...» [24]. И Владимир Александрович Красильников не стеснялся высказывать свое одобрение и положительную оценку, когда видел, что чья-либо работа этого заслуживает. Такая оценка многих окрыляла! Добавим, что через 13 лет после окончания университета Б.А. Конюхов защитил докторскую диссертацию.

Владимир Александрович был любителем изящной словесности, поэзии и художественной литературы, и этот интерес достался ему, по-видимому, в «наследство» от отца-филолога. Часто он подвергал ближайших сотрудников такому дружескому испытанию. Произносил какую-либо «до боли» знакомую фразу из классического художественного произведения и спрашивал «Откуда это?», чем нередко ставил в тупик окружающих. С другой стороны, при подготовке научных публикаций и многих других административных и научных бумаг и документов он придерживался разумного компромисса между совершенствованием формы изложения и затратами на это времени, частенько повторяя в этой связи крылатое выражение «Лучшее – враг хорошего». Ему вообще нравились яркие образные сравнения, и здесь вспоминается такой пример. Исторически физика развивалась в существенной мере как наука простых моделей, и Владимир Александрович относился довольно скептически к попыткам описать сложные реальные объекты и процессы с помощью эмпирических моделей с множеством подгоночных параметров. Поэтому в таких случаях он нередко говорил «Ну это все равно, что химия борща!»...

На кафедре Владимир Александрович наиболее тесно общался со своим бывшим учеником, а впоследствии другом, коллегой и соавтором многочисленных работ Л.К. Зарембо. Традиционным ежедневным ритуалом друзей-коллег был совместный поход на обед в так называемую профессорскую столовую в главное здание МГУ. Обычно Л.К. Зарембо, работавший в лаборатории на 5 этаже факультета, спускался на 3 этаж, где работал В.А. Красильников, и заходил за ним в лабораторию. И здесь

начинались их интереснейшие дискуссии на самые разные темы. Среди них можно вспомнить обсуждение концентрации электрических полей на кончике иглы и возможности проявления близкого эффекта в нелинейной акустике, а также многодневную дискуссию о сходстве работы головного мозга и компьютера.

Продуктивной работе и творческому долголетию В.А. Красильникова в немалой степени способствовали его спортивные увлечения. Он любил рыбалку, которой увлекался еще с детства, проведенного на Волге, охоту на птиц (вальдшнепа, уток), лыжные прогулки, в молодости занимался альпинизмом и горными лыжами. Кстати, в советский период истории нашей страны Владимир Александрович всегда возглавлял лыжную команду кафедры на обязательных соревнованиях, где зарабатывал «очки» акустикам, учитываемые при подведении итогов соцсоревнования между кафедрами. В последние годы жизни В.А. Красильникова даже казалось, что время не властно над ним. Он не жаловался на здоровье или тяготы жизни, всегда выглядел энергичным и подтянутым, живо интересовался научными новостями и делами на кафедре. Запомнились его добрые шутки, иногда и над самим собой, отеческая забота о молодежи кафедры. До последних своих дней Владимир Александрович сохранял высокую творческую работоспособность и активность, остроту ума и ясность мышления. Он продолжал писать научные статьи, читать лекции для студентов кафедры, активно работал в редколлегии Акустического журнала, участвовал с докладами в научных конференциях. В 1997 и в 1998 годах Владимир Александрович, несмотря на свой уже преклонный возраст, совершил утомительные даже для молодежи перелеты в США для выступлений с приглашенными докладами на съезде Акустического общества Америки и Всемирном акустическом конгрессе. С шуткой он вспоминал о том, как в одной из этих поездок в аэропорте Шереметьево молодая сотрудница пограничного контроля долго не могла поверить в то, что В.А. Красильников действительно родился в 1912 г. и это не ошибка в паспорте.

К сожалению, жизнь Владимира Александровича в марте 2000 года трагически оборвалась. Возможно, если бы не роковая встреча с водителем-лихачем на нерегулируемом пешеходном переходе на улице Волгина, то Владимир Александрович смог бы прожить еще многие годы. Находясь в больнице с серьезными травмами после этого происшествия, он был в сознании, а когда его пришли навестить сотрудники кафедры, то и в это тяжелейшее для него время он волновался не о себе, а о других. Беспокоился о студентах и о том, кто же сможет прочесть им его лекционный курс. Просил не винить водителя автомобиля, совершившего наезд, говорил, что сам не заметил приближающуюся машину. Вероятно, как опытный автолюбитель с многолетним водительским стажем, и в этой ситуации он проявлял солидарность с водителем и ставил себя на его место. Владимиру Александровичу требовалась срочная операция ... но послеоперационный тромб оборвал его жизнь.

Послесловие

Владимир Александрович Красильников был замечательным, широкообразованным и высокоэрудированным ученым и добрым человеком. Он прожил долгую и интересную жизнь, наполненную плодотворной творческой работой. Он многое успел сделать и как Ученый, и как Учитель, хотя и не замыкался только на своей работе, а имел разносторонние интересы, а также не жалел времени и сил для беско-

рыстной помощи другим. Исключительная доброжелательность, одухотворенность, искренний и глубокий интерес к науке, сочетавшийся с широчайшей эрудицией и добрым юмором притягивали к Владимиру Александровичу и молодежь и зрелых ученых и делали его лидерство и авторитет вполне естественными и закономерными и, можно сказать, само собою разумеющимися. В.А. Красильникову был присущ интеллигентный, деликатный стиль руководства. Можно сказать, что у него был талант пробуждать творческую инициативу и активность у людей, его окружающих. В свою очередь, Владимир Александрович отмечал, что преимуществом работы в университете является стимулирующая возможность постоянного общения с талантливой молодежью и возможность отбора наиболее одаренной части ее. Было также очевидно, что доминантой в работе для В.А. Красильникова являются научные вершины, а не карьерные или политические соображения. Это создавало на кафедре и, в частности, на семинарах кафедры удивительную и захватывающую творческую атмосферу высокого научного поиска.

С уходом Владимира Александровича из жизни остались его научные труды, учебные пособия, научная школа и ученики, добрая память о нем и научные направления, которые он инициировал и развитию которых он посвятил целую жизнь. Эти направления продолжают развиваться, расширяться и углубляться сегодня его учениками и коллегами, на судьбу многих из которых оказала огромное влияние щедрая поддержка В.А. Красильникова.

Благодарности

Авторы признательны за помощь и советы, оказанные им при подготовке данной статьи, В.А. Бурову, Т.Н. Козловой, А.И. Коробову, Е.В. Красильниковой, Ю.Н. Макову, О.В. Руденко и О.Д. Румянцевой.

Библиографический список

1. *Красильников В.А.* Звуковые волны в воздухе, воде и твердых телах. М.-Л.: Гос. изд-во техн.-теорет. лит., 1951. 352 с.
Красильников В.А. Звуковые волны в воздухе, воде и твердых телах. Изд. 2-е, перераб. М.: Гос. изд-во техн.-теорет. лит., 1954. 440 с.
Красильников В.А. Звуковые и ультразвуковые волны в воздухе, воде и твердых телах. Изд. 3-е, доп. и перераб. М.: Физматгиз, 1960. 560 с.
Имеются переводы на английский, китайский и румынский языки.
2. *Зарембо Л.К., Красильников В.А.* Введение в нелинейную акустику. М.: Наука, 1966. 520 с.
3. *Красильников В.А., Крылов В.В.* Введение в физическую акустику. М.: Наука, 1984. 400 с.
4. *Красильников В.А., Крылов В.В.* Поверхностные акустические волны. М.: Знание, 1985. 64 с.
5. *Красильников В.А.* Введение в акустику. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992. 152 с.
6. Сайт кафедры акустики физфака МГУ <http://acoustics.phys.msu.ru/>
7. Премия имени Л.И. Мандельштама 2000 г. – В.А. Красильникову // Вестник РАН. 2000. Т. 70, № 8. С. 765.
8. О научной школе профессора В. А. Красильникова // Изв. АН. Сер. физ. 2000. Т. 64, № 12. С. 2322.

9. *Можжаев В.Г.* Памяти Владимира Александровича Красильникова (в связи с 90-летием со дня рождения) // Акуст. журн. 2003. Т. 49, № 4. С. 590.
10. *Руденко О.В.* Предисловие (Памяти профессора Владимира Александровича Красильникова) // Физическая и нелинейная акустика. Сборник трудов семинара научной школы профессора В.А. Красильникова. М.: Физический факультет МГУ, 2002. С. 5.
11. *Rudenko O.V., Sapozhnikov O.A.* Preface. Nonlinear acoustics at the beginning of the 21st Century // 16th International Symposium on Nonlinear Acoustics, Moscow, 10–23 August 2002. Moscow: Moscow State University, 2002. Vol. 1. P. xiv–xix.
12. Ведущие научные школы России. Справочник. М.: Янус-К, 1998. С. 177.
13. *Левшин Л.В.* Физический факультет МГУ. Исторический справочник (персоналии). Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Физический факультет МГУ, 2002. 344 с.
14. Энциклопедия Московского университета. Физический факультет. Т. 2. М.: КДУ, 2008. С. 146.
15. Акустический институт. Полвека поисков и открытий. М.: ГЕОС, 2006. Т. 1. 495 с. Т. 2. 458 с.
16. *Ржевкин С.Н.* Работы ученых Московского университета в области акустики // Вопросы истории физ.-мат. наук. М.: Высш. шк., 1963. С. 306.
17. *Ржевкин С.Н.* Акустика в Московском университете // История и методология естественных наук. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1968. Вып. VII. Астрономия и радиофизика. С. 247.
18. *Красильников В.А.* Об истории кафедры акустики и развитии научных направлений на кафедре // Вестн. Моск. ун-та. Физ., астрон. 1994. Т. 35, № 6. С. 6.
19. *Красильников В.А.* Линейное и нелинейное распространение звука в турбулентной и неоднородной среде // Акуст. журн. 1998. Т. 44, № 4. С. 559.
20. *Красильников В.А.* Нелинейная акустика конденсированных сред: история и развитие // Акуст. журн. 1999. Т. 45, № 3. С. 423.
21. *Красильников В.А.* О моем друге // Академик Александр Михайлович Обухов: жизнь в науке. М.: Ноосфера, 2001. С. 60.
22. Андрей Константинович Буров – Архитектор и Ученый. М.: Физический факультет МГУ, 2000. 196 с.
23. *Канер В.* Избранное. Серия «Шизики футят». Вып. 2. М.: Байтик, 1996. 256 с.
24. *Зверев В.А.* http://tvinteltech.narod.ru/miller_fair.html
25. *Каллистратова М.А.* Волны в турбулентной атмосфере // Изв. АН. Сер. физ. 2000. Т. 64, № 12. С. 2325.
26. *Kallistratova M.A.* Acoustic waves in the turbulent atmosphere: A review // J. Atmos. Ocean. Tech. 2002. Vol. 19, № 8. P. 1139.
27. *Бовшеверов В.М., Красильников В.А.* Предварительные опыты по акустическому зондированию атмосферы монохроматическим лучом // ДАН СССР. 1941. Т. 32, № 1. С. 44.
28. *Красильников В.А.* Некоторые эксперименты по распространению звука в турбулентной атмосфере // ДАН СССР. 1945. Т. 46, № 3. С. 108.
29. *Красильников В.А.* О распространении звука в турбулентной атмосфере // ДАН СССР. 1945. Т. 47, № 7. С. 486.

30. *Красильников В.А.* О флюктуациях амплитуды звука при его распространении в турбулентной атмосфере // ДАН СССР. 1947. Т. 58, № 7. С. 1353.
31. *Красильников В.А.* О флюктуациях угла прихода в явлении мерцания звезд // ДАН СССР. 1949. Т. 65, № 3. С. 291.
32. *Красильников В.А.* О влиянии пульсаций коэффициента преломления в атмосфере на распространение ультракоротких радиоволн // Изв. АН СССР. Сер. географ. геофиз. 1949. Т. 13, № 1. С. 33.
33. *Красильников В.А., Иванов-Шиц К.М.* Некоторые новые эксперименты по распространению звука в атмосфере // Вестн. Моск. ун-та. Сер. физ. 1950, № 2. С. 57.
34. *Телеснин Н.Л., Красильников В.А.* Ультразвуковой интерферометр с бегущей волной // ДАН СССР. 1950. Т. 72, № 6. С. 1037.
35. *Красильников В.А.* О флюктуациях фазы ультразвуковых волн при их распространении в приземном слое воздуха // ДАН СССР. 1953. Т. 88, № 4. С. 657.
36. *Красильников В.А., Обухов А.М.* О распространении волн в среде со случайными неоднородностями коэффициента преломления (Обзор) // Акуст. журн. 1956. Т. 2, № 2. С. 107.
37. *Гончаров К.В., Красильников В.А.* Тепловые механические колебания (флюктуации) пьезоэлектрических кристаллов // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1956. Т. 20, № 2. С. 231.
38. *Зарембо Л.К., Красильников В.А., Шкловская-Корди В.В.* Об искажении формы ультразвуковой волны конечной амплитуды в жидкостях // ДАН СССР. 1956. Т. 109, № 3. С. 485.
39. *Зарембо Л.К., Красильников В.А., Шкловская-Корди В.В.* О поглощении ультразвуковых волн конечной амплитуды в жидкостях // ДАН СССР. 1956. Т. 109, № 4. С. 731.
40. *Зарембо Л.К., Красильников В.А., Шкловская-Корди В.В.* О распространении ультразвуковых волн конечной амплитуды в жидкостях // Акуст. журн. 1957. Т. 3, № 1. С. 29.
41. *Krassilnikov V.A., Shklovskaya-Kordy V.V., Zarembo L.K.* On the propagation of ultrasonic waves of finite amplitude in liquids // J. Acoust. Soc. Amer. 1957. Vol. 29, № 5. P. 642.
42. *Буров В.А., Красильников В.А.* Непосредственное наблюдение искажения формы интенсивных ультразвуковых волн в жидкости // ДАН СССР. 1958. Т. 118, № 5. С. 920.
43. *Буров В.А., Красильников В.А.* О поглощении ультразвуковых волн большой интенсивности в воде // ДАН СССР. 1959. Т. 124, № 3. С. 571.
44. *Зарембо Л.К., Красильников В.А.* Некоторые вопросы распространения ультразвуковых волн конечной амплитуды в жидкостях // УФН. 1959. Т. 68, № 4. С. 687.
45. *Красильников В.А., Гедройц А.А.* Искажение формы ультразвуковой волны конечной амплитуды в твердых телах // Вестн. Моск. ун-та. Физ., астроном. 1962. № 2. С. 92.

46. *Гедройц А.А., Зарембо Л.К., Красильников В.А.* Упругие волны конечной амплитуды в твердых телах и ангармоничность решетки // *Вестн. Моск. ун-та. Физ., астрон.* 1962. № 3. С. 92.
47. *Буров В.А., Красильников В.А., Сухаревская О.Ю.* Ультразвуковое расщепление моссбауэровской линии поглощения в окиси олова $\text{Sn}^{119}\text{O}_2$ // *ЖЭТФ.* 1962. Т. 43, № 4. С. 1184.
48. *Гедройц А.А., Красильников В.А.* Упругие волны конечной амплитуды в твердых телах и отклонения от закона Гука // *ЖЭТФ.* 1962. Т. 43, № 5(11). С. 1592.
49. *Gedroits A.A., Krasilnikov V.A., Zarembo L.K.* Elastic waves of finite amplitude in solids and anharmonicity of the lattice // *Acustica.* 1963. Vol. 13, № 2. P. 108.
50. *Гедройц А.А., Зарембо Л.К., Красильников В.А.* Сдвиговые волны конечной амплитуды в поли- и монокристаллах металлов // *ДАН СССР.* 1963. Т. 150, № 3. С. 515.
51. *Гун Сю-фэнь, Зарембо Л.К., Красильников В.А.* Измерение акустического нелинейного параметра жидкого азота // *Акуст. журн.* 1963. Т. 9, № 3. С. 382.
52. *Красильников В.А., Шихлинская Р.Э.* Высокочастотная область спектра шумообразования струи // *Вестн. Моск. ун-та. Физ., астрон.* 1964. № 3. С. 72.
53. *Гун Сю-фэнь, Зарембо Л.К., Красильников В.А.* Нелинейное взаимодействие упругих волн в твердых телах // *Акуст. журн.* 1965. Т. 11, № 1. С. 112.
54. *Гун Сю-фэнь, Зарембо Л.К., Красильников В.А.* Экспериментальное исследование комбинационного рассеяния звука на звуке в твердых телах // *ЖЭТФ.* 1965. Т. 48, № 6. С. 1598.
55. *Зарембо Л.К., Красильников В.А., Случ В.Н., Сухаревская О.Ю.* О некоторых явлениях при вынужденных нелинейных колебаниях акустических резонаторов // *Акуст. журн.* 1966. Т. 12, № 4. С. 486.
56. *Krasilnikov V.A., Zarembo L.K.* Nonlinear interaction of elastic waves in solids // *IEEE Trans.* 1967. Vol. SU-14, № 1. P. 12.
57. *Зарембо Л.К., Красильников В.А., Тхай Тхань Лонг.* О нелинейных явлениях при распространении капиллярных волн // *Вестн. Моск. ун-та. Физ., астрон.* 1969. № 5. С. 132.
58. *Зарембо Л.К., Красильников В.А., Тхай Тхань Лонг.* Нелинейные явления при распространении капиллярных волн конечной амплитуды // *ДАН СССР.* 1970. Т. 192, № 3. С. 548.
59. *Красильников В.А., Лямов В.Е., Солодов И.Ю.* Нелинейные явления при распространении поверхностных волн в кварце // *Вестн. Моск. ун-та. Физ., астрон.* 1970. Т. 11, № 4. С. 470.
60. *Krasilnikov V.A., Thai-Thanh-Long, Zarembo L.K.* Some non-linear phenomena of the capillary wave propagation // *Nature.* 1970. Vol. 227, № 5263. P. 1128.
61. *Зарембо Л.К., Красильников В.А.* Нелинейные явления при распространении упругих волн в твердых телах // *УФН.* 1970. Т. 102, № 4. С. 549.
62. *Красильников В.А., Лямов В.Е., Солодов И.Ю.* Нелинейные акустические эффекты при распространении поверхностных волн в кристаллах кварца // *Изв. АН СССР. Сер. физ.* 1971. Т. 35, № 5. С. 944.
63. *Ермилин К.К., Красильников В.А., Прохоров В.М.* Дисперсия упругих волн в сегнетоэлектриках // *ФТТ.* 1972. Т. 14, № 1. С. 300.

64. Красильников В.А., Шихлинская Р.Э. Высокочастотная область спектра шума турбулентной струи // Вестн. Моск. ун-та. Физ., астрон. 1972. Т. 13, № 5. С. 626.
65. Ермилин К.К., Красильников В.А., Лямов В.Е., Прохоров В.М. Поляризация второй сдвиговой гармоники при распространении акустической волны вдоль оси третьего порядка в кристаллах // ФТТ. 1973. Т. 15, № 7. С. 2251.
66. Ермилин К.К., Зарембо Л.К., Красильников В.А., Мезинцев Е.Д., Прохоров В.М., Хилков К.В. Изменение второй гармоники сдвиговой ультразвуковой волны при усталостном динамическом нагружении металлов // Физ. мет. металловед. 1973. Т. 36, № 3. С. 640.
67. Акуличев В.А., Гребинник В.Г., Жуков В.А., Красильников В.А., Маныч А.П., Селиванов Г.И. Исследование формирования треков ионизирующих частиц в ультразвуковом поле в жидководородной пузырьковой камере // Акуст. журн. 1973. Т. 19, № 4. С. 486.
68. Акуличев В.А., Гребинник В.Г., Жуков В.А., Копова А.М., Красильников В.А., Маныч А.П., Селиванов Г.И., Юшин В.П. Треки ионизирующих частиц в жидководородной ультразвуковой пузырьковой камере // ДАН СССР. 1974. Т. 216, № 3. С. 517.
69. Зарембо Л.К., Красильников В.А., Сердобольская О.Ю., Сериков В.И. Нелинейное взаимодействие продольных волн вблизи сегнетоэлектрических фазовых переходов // ФТТ. 1974. Т. 16, № 12. С. 3578.
70. Красильников В.А., Руденко О.В., Чиркин А.С. О поглощении звука малой амплитуды, вызываемом взаимодействием с шумом // Акуст. журн. 1975. Т. 21, № 1. С. 124.
71. Ермилин К.К., Зарембо Л.К., Красильников В.А., Мезинцев Е.Д., Прохоров В.М., Хилков К.В. Изменение второй гармоники волны Рэлея при статической деформации поверхности // Физ. мет. металловед. 1974. Т. 38, № 4. 880.
72. Красильников В.А., Павлов В.И. Систематическое ускорение фононов в турбулентной среде // ЖЭТФ. 1975. Т. 68, № 5. С. 1797.
73. Бражкин Ю.А., Коробов А.И., Красильников В.А., Лямов В.Е. Встречное взаимодействие упругих волн в ниобате лития // ФТТ. 1976. Т. 18, № 6. С. 1746.
74. Бузов В.А., Красильников В.А., Тагунов Е.Я. Экспериментальное исследование коллинеарного взаимодействия слабого ультразвукового сигнала с интенсивными низкочастотными возмущениями в воде // Вестн. Моск. ун-та. Физ., астрон. 1978. Т. 19, № 4. С. 53.
75. Красильников В.А., Тагунов Е.Я. О некоторых особенностях коллинеарного взаимодействия монохроматических волн в среде без дисперсии // Вестн. Моск. ун-та. Физ., астрон. 1978. Т. 19, № 4. С. 99.
76. Красильников В.А., Крылов В.В. Дисперсия волн Рэлея, обусловленная поверхностным натяжением // Акуст. журн. 1979. Т. 25, № 3. С. 408.
77. Красильников В.А., Крылов В.В. К теории гиперзвуковых поверхностных волн в твердых телах // Акуст. журн. 1980. Т. 26, № 5. С. 732.
78. Красильников В.А., Маматова Т.А., Прокошев В.Г. Генерация второй гармоники поверхностной магнитоупругой волны в гематите // Письма ЖТФ. 1984. Т. 10, № 19. С. 1196.
79. Красильников В.А., Маматова Т.А., Прокошев В.Г. Параметрическое усиление

- при обращении волнового фронта магнитоупругой волны в гематите // ФТТ. 1986. Т. 28, № 2. С. 615.
80. *Зарембо Л.К., Красильников В.А., Школьник И.Э.* К вопросу о нелинейной акустической дефектоскопии хрупких неоднородных материалов и оценки их прочности // Дефектоскопия. 1989. № 10. С. 16.
 81. *Зарембо Л.К., Красильников В.А., Школьник И.Э.* Нелинейная акустика в проблеме диагностики прочности твердых тел // Проблемы прочности. 1989. № 11. С. 86.
 82. *Зарембо Л.К., Красильников В.А., Школьник И.Э.* К вопросу о нелинейных ультразвуковых методах оценки прочности хрупких материалов // Вестн. Моск. ун-та. Физ., астроном. 1989. Т. 30, № 2. С. 102.
 83. *Зарембо Л.К., Красильников В.А., Румянцева В.А., Сердобольская О.Ю.* Акустическое исследование предела прочности монокристалла триглицинсульфата в области фазового перехода // Акуст. журн. 1995. Т. 41, № 5. С. 784.
 84. *Красильников В.А., Иванов-Шиц К.М.* Некоторые новые опыты по распространению звука в атмосфере // ДАН СССР. 1949. Т. 67, № 4. С. 639.
 85. *Красильников В.А., Татарский В.И.* Рассеяние звука в турбулентном потоке // ДАН СССР. 1953. Т. 90, № 2. С. 159.
 86. *Михайлов И.Г.* Распространение ультразвуковых волн в жидкостях. М.-Л.: Гос. изд-во техн.-теорет. лит., 1949. 152 с.
 87. *Лямов В.Е.* Поляризационные эффекты и анизотропия взаимодействия акустических волн в кристаллах. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. 224 с.
 88. *Лямов В.Е.* Новый механизм генерации акустических гармоник в кристаллах // ФТТ. 1981. Т. 23, № 5. С. 1483.
 89. *Ко Сел Лен, Северин Ф.М., Солодов И.Ю.* Экспериментальное наблюдение влияния контактной нелинейности на отражение объемных и распространение поверхностных акустических волн // Акуст. журн. 1991. Т. 37, № 6. С. 1165.
 90. *Зарембо К.Л., Зарембо Л.К.* К статистической теории прочности хрупких твердых тел // Вестн. Моск. ун-та. Физ., астроном. 1991. Т. 32, № 6. С. 82.
 91. *Solodov I.Yu.* Ultrasonics of non-linear contacts: propagation, reflection and NDE-applications // Ultrasonics. 1998. Vol. 36, № 1-5. P. 383.
 92. *Solodov I., Wackerl J., Pfleiderer K., Busse G.* Nonlinear self-modulation and subharmonic acoustic spectroscopy for damage detection and location // Appl. Phys. Lett. 2004. Vol. 84, № 26. P. 5386.
 93. *Изосимова М.Ю., Коробов А.И., Руденко О.В.* Пространственное распределение нелинейного акустического параметра в тонкой поликристаллической пластине из сплава с дефектами // Акуст. журн. 2009. Т. 55, № 2. С. 153.
 94. *Руденко О.В.* Гигантские нелинейности структурно-неоднородных сред и основы методов нелинейной акустической диагностики // УФН. 2006. Т. 176, № 1. С. 77.
 95. *Руденко О.В.* Нелинейные волны: некоторые биомедицинские приложения // УФН. 2007. Т. 177, № 4. С. 374.

*Московский государственный
университет им. М.В. Ломоносова*

**ON THE FOUNDER OF SCIENTIFIC SCHOOL
IN NONLINEAR AND PHYSICAL ACOUSTICS AND WAVE PHYSICS
OF TURBULENT ATMOSPHERE, PROFESSOR V.A. KRASILNIKOV**

V. A. Gusev, E. O. Ermolaeva, V. G. Mozhaev

The paper is devoted to the research and teaching of Vladimir Aleksandrovich Krasilnikov, Honored Professor of Moscow University, recipient of the USSR State Prize, chairman of Acoustics Department at Physics Faculty of Moscow State University from 1975 till 1987.

Keywords: Nonlinear acoustics, physical acoustics, waves in turbulent media, Acoustic Department of Physics Faculty of Moscow State University, history of acoustics.

Гусев Владимир Андреевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник кафедры акустики физического факультета МГУ.

119991 Москва, ГСП-1, Ленинские горы
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
E-mail: vgusev@bk.ru

Ермолаева Елена Олеговна – ведущий инженер кафедры акустики физического факультета МГУ.

119991 Москва, ГСП-1, Ленинские горы
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
E-mail: eoermolaeva@yandex.ru

Можяев Владимир Геннадиевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник кафедры акустики физического факультета МГУ.

119991 Москва, ГСП-1, Ленинские горы
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
E-mail: vgmozhaev@mail.ru