

15-Й МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ ПО НЕЛИНЕЙНОЙ АКУСТИКЕ

15-й Международный симпозиум по нелинейной акустике проходил в г. Гёттингене (Германия) с 1 по 4 сентября 1999 г. Председатель оргкомитета симпозиума – профессор В. Лаутерборн. Было представлено более 130 докладов по следующим направлениям: распространение волн конечной амплитуды в жидкостях и твердых телах; распространение волн в средах с существенно выраженной нелинейностью; взаимодействие волн конечной амплитуды с границами и частицами; кавитация и люминесценция; термоакустика; акустические течения и силы Бьеркнеса; промышленные и медицинские применения нелинейной акустики; фокусированный ультразвук высокой интенсивности и литотрипсия; сонохимия. Доклады по приглашению относительно полно отражают современное состояние проблемы – нелинейная акустика. Остановимся кратко на их содержании.

В докладе *Дж. Блейка и Г. Кина* (Великобритания) “**Люминесценция одиночного кавитационного пузырька**” обсуждались результаты экспериментов, выполненных в Кавэндишской лаборатории и в Третьем физическом институте Гёттингенского университета. Было установлено, что сильное излучение света возникает при асимметричном схлопывании пузырька, когда вблизи твердой границы возникает сильная высокоскоростная струя. Сделана попытка найти объяснения наблюдавшимся фактам. Был выполнен расчет схлопывания пузырька с тороидальной геометрией, построенный на основе модифицированного метода граничных интегральных уравнений. Отмечается, что рассмотренная модель может позволить объяснить некоторые экспериментальные результаты и, прежде всего, полученные в Гёттингенском университете.

Л. Крам (США) прочитал доклад “**Акустический гемостазис**”. Подробно изложены результаты многочисленных целенаправленных экспериментов, выполнявшихся в рамках специальной программы. Этой программой предусматривалось изучение применения фокусированного ультразвука для обнаружения и лечения сильных внутренних кровотечений, нередко приводящих к летальному исходу. Показана реальная возможность применения ультразвука для указанных целей. Получены обнадеживающие результаты, позволяющие повысить шансы выживания пациента в экстремальных условиях интенсивной терапии.

В докладе *М. Делиуса* (Германия) “**История экстракорпоральной ударно-волновой литотрипсии**” был представлен обзор развития и современного состояния ультразвуковой литотрипсии. Отмечалось, что первые работы были выполнены в пятидесятые годы. Сильные ударные волны создавались при помощи электрического разряда в жидкости. Достаточно обнадеживающие результаты применения ультразвуковой литотрипсии относятся к началу семидесятых. В настоящее время ультразвуковая литотрипсия успешно применяется для лечения болезней, связанных с образованием камней в различных органах человека. Сообщалось, что недавно в Германии возник новый вид терапии с использованием литотрипсии для воздействия на “нездоровые новообразования”. Результаты пока неизвестны.

Х. Галлего-Суарес (Испания) в докладе “**Нелинейная акустика и промышленные применения**” рассмотрел эффекты, возникающие при действии акустических волн на вещество и структуры: радиационное давление, кавитация, акустические течения, силы Бьеркнесо и др. Использование этих эффектов лежит в основе создания приборов и установок, применяющихся в промышленности. Отмечалось, что во многих случаях указанные эффекты присутствуют одновременно. Некоторые из них оказываются полезными, а другие – мешают. При создании приборов и установок приходится решать задачу оптимального применения полезных эффектов и подавления мешающих факторов. Приводились конкретные примеры приборов и установок, применяющихся в промышленности.

Доклад *М. Финка* (Франция) “**Акустическое обращение волнового фронта**” был посвящен обзору возможностей наблюдения эффекта обращения волнового фронта в акустике и его практическому использованию. Обсуждались его применения в литотрипсии и в других медицинских приложениях, где необходимо решать проблему “нацеливания” на объект. Рассматривались применения в гидроакустике, а также для исследования процессов многократного рассеяния волн и исследования турбулентности.

М. Гамильтон, Ю. Ильинский и Е. Заболотская (США) представили доклад “**Нелинейные поверхностные акустические волны**”. За последние десять лет благодаря во многом усилиям ав-

торов доклада была развита теория нелинейных поверхностных акустических волн, основанная на формализме Гамильтоновой механики. Был дан обзор этой теории и ее дальнейшего развития. Обсуждалась теория нелинейных волн Рэлея в изотропных телах. Для описания этих волн была получена система эволюционных уравнений в трех альтернативных формах. Одна из них – система связанных спектральных уравнений, другая – интегральное уравнение, решая которое удастся разделить вклад локальной и нелокальной нелинейности. Третья – представляет собой дифференциальное уравнение, включающее преобразования Гильберта. Аналитические и численные решения этих уравнений позволили исследовать формирование ударных волн, дифракцию пучков, импульсные переходные процессы и затухание нелинейных волн Рэлея. Недавно были рассмотрены особенности распространения нелинейных волн Стоунли и Шолте. Обсуждались применения эволюционных уравнений для изучения распространения нелинейных поверхностных волн в кристаллах и пьезоэлектриках.

Доклад *И. Мацумото* (Япония) “**Динамика пузырька и облака пузырьков**” был посвящен анализу процессов формирования и распространения ударных волн в облаке пузырьков. Рассматривалось поведение одиночного пузырька с позиций нелинейного осциллятора. Учитывались многие основные физические процессы, происходящие в объеме пузырька и на его границе (поверхности), такие как диффузия, теплообмен, массоперенос и др. Эти эффекты принимаются во внимание при анализе коллективных нелинейных колебаний множества пузырьков в облаке. Численные решения системы уравнений, описывающих эти колебания, позволили рассмотреть особенности формирования и распространения ударных волн в облаке. Подчеркивалось, что благодаря коллективному действию пузырьков амплитуда ударной волны в центре облака может быть в несколько сот раз выше, чем при схлопывании одиночного пузырька.

В докладе *Ф. Мело* (Чили) “**Гранулированные материалы и звук**” обсуждалось распространение звука в гранулированной среде. Среда рассматривалась в виде множества твердых сфер одинакового радиуса. Принималась во внимание контактная нелинейность, обусловленная силами на границах соприкосновения сфер (контакты Герца).

Л. Островский, П. Джонсон и Т. Шенкланд (США) представили доклад “**Механизм нелинейного отклика в сильно нелинейных твердых телах**”. Хорошо известно, что многие материалы как, например, скалистые породы, конкреции, полимерные материалы и др. обладают сильно выраженной упругой нелинейностью на много порядков выше, чем однородные газы, жидкости

и кристаллы. Более того, эти материалы часто обладают гистерезисными свойствами при их деформировании. Механизм этой нелинейности исключительно сложен и может быть обусловлен структурными неоднородностями и дефектами: зернами, трещинами, дислокациями и др. Они могут существовать в виде податливых включений в относительно твердую матрицу. Авторы доклада называют эту нелинейность “структурной нелинейностью”, а материалы – “мезоскопическими нелинейными материалами”. В докладе рассматривались некоторые модели таких сред – материалов и некоторые модельные уравнения, которые позволили бы изучить распространение нелинейных волн в этих материалах.

В докладе *О. Руденко* (Россия) “**Нелинейные явления в структурах с подвижными границами**” были сформулированы и обсуждались некоторые нелинейные задачи волновой динамики, учитывающие конечные смещения колеблющихся границ. К таким задачам относятся: возникновение звукового удара при сверхзвуковом движении аэродинамического профиля с ненулевым поперечным сечением, колебания тела с высокой амплитудой в сильно сжимаемой жидкости, колебания резонансных структур, а также некоторые задачи распространения нелинейных волн. Обсуждаются особенности распространения волн и колебаний в рассматриваемых динамических структурах. Показано, например, что спектральные искажения могут быть обусловлены не только нелинейными физическими свойствами среды, но и нелинейным взаимодействием волн с границей (излучающей поверхностью), совершающей колебания конечной амплитуды. Часть доклада была посвящена анализу и обсуждению уравнений нелинейной акустики, которые были получены разными авторами в разное время для описания распространения и эволюции нелинейных акустических волн.

К. Суслик (США) прочитал доклад “**Сонохимия**”. Отмечалось, что химия – это взаимодействие энергии и материи. Имеется много путей для передачи энергии молекулам. Применение ультразвука высокой интенсивности открыло новые возможности управления химическими реакциями. Например, при схлопывании кавитационного пузырька могут возникать локальные давления в 1000 атмосфер и увеличение температуры до 5000 К за время в несколько наносекунд. При действии ультразвука возможны такие химические реакции, которые обычно протекают только в экстремальных условиях. Приводились и обсуждались многочисленные примеры применения ультразвука в химических технологиях.

Актуальному и быстро развивающемуся новому направлению нелинейной акустики был посвящен доклад *Г. Свифта* (США) “**Течения в**

термоакустических двигателях и рефрижераторах". Не останавливаясь подробно на содержании этого доклада, заметим, что коэффициент полезного действия акустического холодильника может достигать 40%. В настоящее время термоакустические холодильники уже действуют.

Из приведенного выше весьма краткого и далеко неполного изложения содержания приглашенных докладов можно видеть, что нелинейная акустика интенсивно развивается. Если в пятидесятые годы она была предметом внимания "лю-

бознательных теоретиков", то в настоящее время над ее проблемами работают коллективы ученых в разных странах и результаты исследований находят все больше приложений.

Принято решение очередной 16-й Международной симпозиум по нелинейной акустике провести в России в Москве в 2002 году.

Л. М. Лямшев