НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ – 2020

XIX научная школа

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Нижний Новгород
2020

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной физики Российской академии наук»

НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ – 2020

XIX научная школа

29 февраля – 6 марта 2020 года, Нижний Новгород

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Нижний Новгород
ИПФ РАН
2020

УДК 534.182+534.222.2

В сборнике собраны аннотации лекций и инициативных докладов XIX научной школы «Нелинейные волны – 2020» (Нижний Новгород, 29 февраля – 6 марта 2020 г.), прошедшие рецензирование членами программного комитета и одобренные к включению в программу школы.

Целями школы является обсуждение мировых достижений последних лет в области фундаментальной нелинейной физики и ее приложений, координация усилий российских ученых в наиболее актуальных направлениях физики нелинейных волновых процессов и ориентация научной молодежи на активное участие в исследованиях, ведущихся в научных центрах нашей страны. Тематика XIX научной школы включает следующие направления исследований:

• современные проблемы теории нелинейных колебаний и волн;
• нелинейные процессы в геофизике;
• модели климата и экосистем;
• нелинейные явления в космологии и астрофизике;
• физика экстремальных электромагнитных полей;
• нелинейные процессы в биофизике и нейродинамике;
• нелинейная динамика квантовых систем.

Всего в работе школы принимает участие более 200 человек. Запланировано 45 лекций приглашенных известных российских и иностранных ученых, около 70 устных докладов и более 80 стендовых выступлений других участников школы. В этом году ожидается приезд исследователей из Нижнего Новгорода (ИПФ РАН, ННГУ, ИФМ РАН, ВШЭ), Москвы (ВШЭ, ГАИШ, ИВМ РАН, ИКИ РАН, ИО РАН, ИПМ РАН, ИОФ РАН, ИРЭ РАН, ИТЭФ, ИФА РАН, ИФЗ РАН, ИЯИ РАН, МГУ, МИФИ, МФТИ, НИТУ «МИСиС», НИЦ «Курчатовский институт», МЭИ, Сколтех, ФИАН), Саратова (СГУ, СФ ИРЭ РАН), а также из Владивостока, Казани, Калининграда, Новосибирска, Обнинска, Перми, Петрозаводска, Пущино, Санкт-Петербурга, Самары, Тюмени, Черноголовки, Ярославля. Кроме того, на школу должны приехать ученые из Германии, Израиля, Великобритании, Испании, Норвегии, США, Финляндии.

Ответственный за выпуск *А.В. Слюняев*

ISBN 978-5-8048-0108-4

© ИПФ РАН, 2020

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

акад. РАН А.Г. Литвак – председатель, ИПФ РАН, Н. Новгород
д.ф.-м.н., проф. РАН А.В. Слюняев – ученый секретарь, ИПФ РАН, Н. Новгород
акад. РАН К.В. Анохин, МГУ, Москва
д.ф.-м.н., проф. С.И. Блинников, ИТЭФ, Москва
член-корр. РАН Н.С. Гинзбург, ИПФ РАН, Н. Новгород
д.ф.-м.н., проф. С.Н. Гурбатов, ННГУ, Н. Новгород
акад. РАН В.П. Дымников, ИВМ РАН, Москва
акад. РАН В.Е. Захаров, ФИАН, Москва
акад. РАН Л.М. Зеленый, ИКИ РАН, Москва
д.ф.-м.н., проф. С.С. Зилитинкевич, Хельсинкский университет, Финляндия
д.ф.-м.н. В.Б. Казанцев, ННГУ, Н. Новгород
член-корр. РАН И.Ю. Костюков, ИПФ РАН, Н. Новгород
член-корр. РАН Вл.В. Кочаровский, ИПФ РАН, Н. Новгород
акад. РАН Е.А. Кузнецов, ФИАН, Москва
д.ф.-м.н. В.В. Курин, ИФМ РАН, Н. Новгород
член-корр. РАН Е.А. Мареев, ИПФ РАН, Н. Новгород
д.ф.-м.н., проф. В.И. Некоркин, ИПФ РАН, Н. Новгород
акад. РАН Р.И. Нигматулин, ИО РАН, Москва
проф. А.С. Пиковский, Потсдамский университет, Германия
д.ф.-м.н. О.В. Починка, НИУ ВШЭ, Н. Новгород
проф. А.М. Пухов, Дюссельдорфский университет, Германия
акад. РАН О.В. Руденко, МГУ, Москва
акад. РАН А.М. Сергеев, РАН, Москва
д.ф.-м.н. Ю.И. Троицкая, ИПФ РАН, Н. Новгород
член-корр. РАН Д.И. Трубецков, СГУ, Саратов
д.ф.-м.н. А.М. Фейгин, ИПФ РАН, Н. Новгород
акад. РАН Е.А. Хазанов, ИПФ РАН, Н. Новгород

- Проводится при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-02-20026).
- Проводится при поддержке Правительства Российской Федерации и Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках программы мегагрантов для поддержки исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских учреждениях высшего образования и научных учреждениях:
- договор № 14.W03.31.0032 «Квантовые эффекты в сильно локализованных интенсивных лазерных полях», ведущий ученый – Герхард Лойхс;
- соглашение № 075-15-2019-1892 «Электромагнитное окружение Земли: формирование, изменчивость, влияние на биосферу», ведущий ученый – Колин Прайс.

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ БРЮШНОЙ СТЕНКИ НА ФОКУСИРОВКУ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПУЧКА В ЗАДАЧАХ НЕИНВАЗИВНОЙ ХИРУРГИИ

А.С. Бобина, П.Б. Росницкий, П.В. Юлдашев, В.А. Хохлова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

На протяжении последних двадцати лет активно развиваются методы неинвазивной хирургии, основанные на применении высокоинтенсивного фокусированного ультразвука (англ. HIFU – high intensity focused ultrasound) [1]. Протокол облучения HIFU состоит в следующем: экстракорпоральный излучатель фокусирует ультразвуковой пучок в заданную область тела, в которой необходимо осуществить терапевтическое воздействие. Область применения HIFU очень обширна и включает, например, лечение опухолей печени и почек, а также разжижение абдоминальных гематом [2]. Реализация подобных хирургических операций требует предварительного планирования. При этом важен анализ влияния неоднородностей биологической ткани на искажение фокуса пучка, поиск наилучшего расположения излучателя и компенсация аберраций.

Определение параметров ультразвукового поля давления в теле человека в клинических условиях является сложной процедурой. Альтернативным способом может стать численный эксперимент [3]. В данной работе решалась модельная задача облучения абдоминальной гематомы (рис. 1). Акустическая модель тела человека создавалась с использованием трехмерных изображений компьютерной томографии (КТ). Распределения плотности и скорости звука были получены на основе пространственного распределения числа Хаунсфильда, а распределения коэффициента поглощения и нелинейности – методом сегментации КТ-изображений. Каждому типу ткани (кожа, жировая прослойка, мышцы и гематома как сгусток крови) присваивались известные из литературы значения искомых параметров [4]. Рассматривался одноэлементный излучатель с частотой 1 МГц, с апертурой и фокусным расстоянием 8,5 см. Хотя конечной целью являлось исследование нелинейного ударно-волнового воздействия, в качестве первого шага данная задача решалась в линейном приближении (программа k-Wave) [3]. Расчет поля проводился с использованием псевдоспектрального метода.

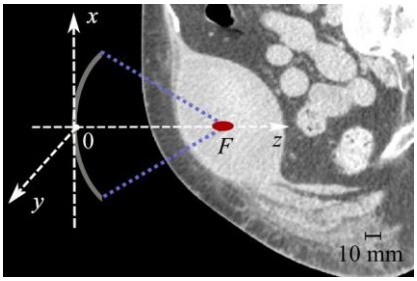

Рис. 1. Геометрия фокусировки ультразвукового пучка в теле человека

Результаты моделирования представлены на рис. 2, где показаны пространственные распределения амплитуды ультразвукового давления на оси пучка (*а*) и в фокальной плоскости пучка при различных условиях фокусировки (*б*, *в*, *г*). Видно, что наличие контраста по скорости звука и плотности между тканями различных органов приводит как к смещению точки фокуса (по оси *x* на 0,25 мм и по оси *y* на 0,5 мм), так и к размытию фокального максимума. Наблюдается уменьшение амплитуды давления в фокусе почти на 40 % в поглощающей неоднородной среде и на 7 % в непоглощающей неоднородной среде по сравнению с фокусировкой в воде. Из графика видно смещение фокуса по оси *z* на 3 мм ближе к излучателю из-за рефракции пучка на границах раздела между тканями. Таким образом, из результатов численного моделирования видно, что для данного примера поглощение вносит основной вклад в уменьшение амплитуды давления в фокусе, однако необходимо также учитывать и влияние аберраций.

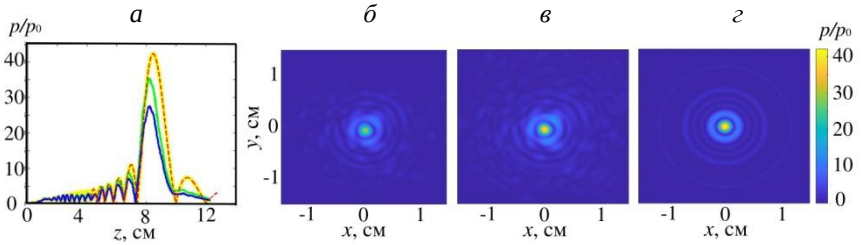

Рис. 2. Распределения амплитуды давления при фокусировке пучка в воде и через брюшную стенку с учетом поглощения и без поглощения на оси пучка *z* (*а*). Синий цвет соответствует фокусировке в поглощающей неоднородной среде, зеленый – непоглощающей неоднородной среде, желтый – воде, красный пунктир – аналитическому решению для случая фокусировки в воде. Распределения амплитуды давления в фокальной плоскости *xy* при фокусировке пучка через брюшную стенку с учетом поглощения (*б*), без поглощения (*в*) и в воде (*г*).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 20-02-00210-а.

Литература

1. *Гаврилов Л.Р.* Фокусированный ультразвук высокой интенсивности в медицине / Л.Р. Гаврилов. – М. : Фазис, 2013.

2. *Khokhlova T.D.* Histotripsy liquefaction of large hematomas / T.D. Khokhlova, W.L. Monsky, Y.A. Haider, A.D. Maxwell, Y.Wang, T.J. Matula // Ultrasound in Med. & Biol. 2016. V. 42, № 7. P. 1491–1498.

3. *Treeby B.* Modeling nonlinear ultrasound propagation / B. Treeby [et al.] // J. Acoust. Soc. Am. 2012. V. 131, № 6. P. 4324–4336.

4. *Бобина А.С., Хохлова В.А., Юлдашев П.В.* / Влияние неоднородностей биологической ткани на фокусировку ультразвукового пучка в задачах неинвазивной хирургии // Сборник трудов XVI Всероссийской школы-семинара «Физика и применение микроволн» имени профессора А.П. Сухорукова («Волны-2017»). 2017. С. 7–10.

Научное издание

НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ – 2020

XIX научная школа

Тезисы докладов

Издание подготовлено редакционно-издательской группой
ФИЦ Институт прикладной физики РАН.

ФИЦ Институт прикладной физики РАН
603950, Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46