

НЕЛИНЕЙНАЯ ОПТИКА ЛАЗЕРНЫХ ФИЛАМЕНТОВ

Тематический план дисциплины магистерской программы
2023/24 уч. год, осенний семестр, 36 часов

Введение

Объект исследований – оптический филамент.

Временные масштабы нелинейных эффектов. Общий план лекций. Основные ресурсы в интернете. Обзорная литература.

ГЛАВА 1. ФИЛАМЕНТАЦИЯ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

§1.1 Самофокусировка пучков

Геометрооптическая и приосевая безабберационная оценки критической мощности. Вариационный анализ. Мода Таунса. Форм фактор. Эллиптический пучок. Расстояние самофокусировки. Формула Марбургера. Сфокусированный пучок, линзовые координаты. Дисперсия кубичной нелинейности.

§1.2 Что препятствует коллапсу или плазма в филаменте

Влияние высших порядков керровской нелинейности. Генерация плазмы. Параметр Келдыша. Многофотонная и туннельная ионизация. Эксперимент по фотоионизации и модели АДК, ППТ.

§1.3 Физическая картина явления филаментации

Первые работы по филаментации фемтосекундного излучения. Сценарий филаментации. Керровская и плазменная нелинейности. Насыщение интенсивности в филаменте. Баланс керровской фокусировки и дефокусировки в плазме. Оптическая сила нелинейных линз. Модель движущихся фокусов. Резервуар энергии протяженного филамента. Рефокусировка. Материальная дисперсия. Нормальная и аномальная дисперсия групповой скорости. Влияние дисперсия групповой скорости на эволюцию импульсов. Параметры филаментов в воздухе и конденсированных средах.

§1.4 Математическая модель филаментации.

Метод медленно меняющейся амплитуды. Линейная поляризация в спектральном представлении. Кубичная поляризация среды. Приближение медленно меняющейся волны. Оператор волновой нестационарности. Инерционный вклад в кубичную нелинейность. Уравнение для плотности тока. Нелинейное волновое уравнение в бегущей системе координат. Поглощение. Самосогласованное кинетическое уравнение для электронов плазмы. Частные задачи распространения в квазиоптическом приближении. Проблемы численного решения задачи. Распараллеливание программного кода.

§1.5 Методы экспериментального исследования филаментации

Электромагнитные, оптические и нелинейно-оптические методы. Метод лазерной колорации, акустический метод.

ГЛАВА 2. НЕЛИНЕЙНАЯ ОПТИКА ФИЛАМЕНТА

§2.1 Сверхуширение спектра, суперконтинуум

Филамент как самоорганизующаяся система. Генерация суперконтинуума и конической эмиссии. Модель фазовой самомодуляции. Интерференционная модель формирования частотно-углового спектра суперконтинуума.

§2.2 Самокомпрессия импульса и световые пули

Компрессия импульса. Пространственно-временная компрессия. Световые пули. Динамика световой пули.

§2.3 Вихревые пучки и трубчатые филаменты

Кольцевые пучки с фазовой дислокацией. Критическая мощность вихревого пучка. Многофокусная структура. Особенности частотно-угловых спектров и спектрального уширения вихревых пучков. Азимутальная модуляционная неустойчивость.

§2.4 Генерация высших гармоник и терагерцового излучения

Генерация третьей гармоники. Генерация терагерцового излучения в филаменте.

ГЛАВА 3. ФИЛАМЕНТАЦИЯ В СЛУЧАЙНО-НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДЕ

§3.1 Множественная филаментация.

Модуляционная неустойчивость интенсивного светового поля. Мелкомасштабная самофокусировка и многофиламентация. Взаимодействие когерентных филаментов. Скрещенные пучки.

§3.2 Атмосферная турбулентность

Модель развитой атмосферной турбулентности. Флуктуации температуры и показателя преломления. Индекс рефракции. Структурная функция. Спектры моделей Колмогорова, Кармана и Татарского. Метод Монте Карло в атмосферной оптике. Волновой подход. Модель фазовых экранов. Спектры и корреляционные функции флуктуаций фазы на экране. Генерация случайных фазовых экранов. Метод скользящего суммирования, спектральный метод. Метод субгармоник.

§3.3 Филаментация в турбулентной атмосфере

Пространственные масштабы поля и среды. Поперечные и продольные флуктуации точки старта филамента в турбулентной атмосфере. Вероятность образования филамента. Режимы одного филамента и множественной филаментации. Рассеяние в аэрозоле. Влияние турбулентности и водного аэрозоля на множественную филаментацию.

ГЛАВА 4. ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ФИЛАМЕНТАЦИИ

4.1 Применение филаментации

Фемтосекундные лидары. Перенос энергии высокой плотности. Эмиссионная и флуоресцентная спектроскопия. Управление высоковольтным разрядом. Виртуальный СВЧ-волновод. Запись элементов микрооптики.

§4.2 Управление филаментацией

Фазовая модуляция импульса, как средство позиционирования филамента. Управление стартом филамента в турбулентной атмосфере. Формирование протяженных плазменных каналов. Динамическая кривизна волнового фронта. Пучки с астигматизмом волнового фронта. Множественная филаментация в сфокусированных пучках. Суперфиламент. Упорядочивание множества филаментов.

Литература

1. В.П.Кандидов, С.А.Шленов, О.Г.Косарева. *Явление филаментации фемтосекундного лазерного излучения* // Квантовая электроника, т.39, № 3, с.205, (2009)
2. В.П.Кандидов, С.А.Шленов, *Явление филаментации мощных фемтосекундных лазерных импульсов и его практические приложения* // в сборнике. Глубокое каналирование и филаментация мощного лазерного излучения в веществе (Под ред. В Я Панченко) (М.: Интерконтакт Наука, 2009) с. 185
3. С.В.Чекалин, В.П.Кандидов. *От самофокусировки световых пучков – к филаментации лазерных импульсов* // УФН, т.183, №2, с.133, (2013)
4. A.Couairon, A.Mysyrowicz. *Femtosecond filamentation in transparent media.* // Phys. Rep., v. **441**, p. 47, (2007).
5. S. L. Chin¹, S. A. Hosseini, W. Liu, Q. Luo, F. Théberge, N. Aközbek, A. Becker, V. P.Kandidov, O.G. Kosareva, H. Schroeder. *The propagation of powerful femtosecond laser pulses in optical media: physics, applications and new challenges* // Canadian Journal of Physics, v.**83**, 863 (2005)
6. S.L.Chin *Femtosecond Laser Filamentation* (NY, Dordrecht, Heidelberg, London: Springer, (2009)
7. L.Berge, S Skupin, R Nuter, J Kasparian and J-P Wolf. *Ultrashort filaments of light in weakly ionized, optically transparent media.*// Rep. Prog. Phys., v.**70**, 1633, (2007)
8. A. Dubietis, G. Tamošauskas, R. Šuminas, V. Jukna, and A. Couairon. *Ultrafast supercontinuum generation in bulk media* // Lithuanian Journal of Physics, v. **57**, No. 3, 113, (2017)
9. J. Kasparian, J.-P. Wolf *Physics and applications of atmospheric nonlinear optics and filamentation* // Opt. Express, v.**16**, 466 (2008)
10. С.М.Рытов, Ю.А.Кравцов, В.И.Татарский. *Введение в статистическую радиофизику, ч.2*, М.: Наука, 1978
11. В.П.Кандидов. *Метод Монте-Карло в нелинейной статистической оптике.* // УФН, т.**166**, N12, с.1309, (1996).

Программу составили: профессор В.П. Кандидов, доцент С.А. Шленов

Заведующий кафедрой общей физики и волновых процессов
профессор В.А.Макаров