

Влияние спонтанного излучения в цилиндрической геометрии на кинетику энергетических уровней и перенос излучения накачки**Научный руководитель – Рогачев Владимир Григорьевич*****Ямщиков Виталий Михайлович****Аспирант*

Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, Саров, Россия

E-mail: Feynman94@yandex.ru

Описан алгоритм, позволяющий исследовать задачи, связанные с кинетикой населенностей энергетических уровней с учетом переноса спонтанного излучения в цилиндрической геометрии. На примере среды, состоящей из атомов натрия и гелия, проведен анализ уравнений переноса излучений и скоростных уравнений. Продемонстрировано влияние спонтанного излучения на кинетику энергетических уровней и на перенос излучения накачки.

В практических случаях возникает ситуация, когда средняя длина свободного пробега фотона в резонансно поглощающей среде мала по сравнению с характерным размером среды. Это приводит к тому, что рожденный в глубине среды спонтанный фотон будет иметь высокую вероятность повторного поглощения невозбужденным атомом. Он будет «блуждать» от атома к атому до тех пор, пока не достигнет границы. Происходит накопление спонтанных фотонов в среде. Такой эффект называется пленением излучения и он может сильно влиять на кинетику населенностей [1-3].

Геометрия задачи - диск толщины b_z и радиуса R , состоящий из атомов натрия и гелия. Пучок излучения, имеющий диаметр D , облучает поверхность диска. Длина волны излучения соответствует переходу в атоме натрия $3S_{1/2} \rightarrow 3P_{3/2}$.

Излучение накачки начнет заполнять энергетический уровень $3P_{3/2}$. В то же время излучение накачки будет обратно переводить атомы из возбужденного состояния $3P_{3/2}$ в основное, но эти два противоположных процесса будут идти с разной скоростью. Из-за наличия в среде гелия переходы туда и обратно происходят между двумя состояниями тонкой структуры $3P$. Это означает, что уровень $3P_{1/2}$ начнет заполняться. Известно, что атомы не могут долго находиться в возбужденном состоянии, и спустя время, равное времени жизни, атом вернется в основное состояние $3S_{1/2}$, испуская фотон в произвольном направлении. Если на пути этого фотона окажется атом в основном состоянии, то фотон поглотится им.

Процессы кинетики, описанные выше, математически представляются в виде скоростных уравнений [1-3]. Перенос спонтанного излучения учитывается в рамках диффузионного приближения [3-5]. Полученная задача является квазитрехмерной, не имеет аналитического решения. Была решена численно методом продольно - поперечной прогонки [6-8].

Из результатов расчета сделаны следующие выводы:

- 1) Спонтанное излучение существенно выходит за пределы накачиваемой области.
- 2) Интенсивность спонтанного излучения в рассматриваемой задаче сопоставима с излучением накачки. В некоторых точках пространства плотность спонтанных фотонов выше плотности фотонов накачки.
- 3) За счет эффекта опрозрачивания, излучение накачки поглощается заметно слабее в случае учета переноса спонтанного излучения.

В случае отражающих границ информация о распределении спонтанного излучения позволит вычислять тепловые потоки для задачи теплопроводности.

Источники и литература

- 1) Булышев А.Е., Преображенский Н.Г., Суворов А.Е. Перенос излучения в спектральных линиях// УФН. Том 15. № 1. вып. 1. 1988. с. 153- 176.
- 2) Косарев Н.И. Распад возбужденного состояния $3P_{3/2}$ атомов натрия с учетом пленения излучения// оптика и спектроскопия. 2008. Том 104. № 1. с. 5-8.
- 3) Ямщиков В.М., Рогачев В.Г., Кудряшов Е.А., Качалин Г.Н. Перенос и пленение резонансного излучения в двухуровневой системе//Оптика и спектроскопия. 2020. Том 128. № 8. С. 1160.
- 4) Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П., Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. - 3-е изд., исправл. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 656 с.
- 5) Суржиков С.Т. Тепловое излучение газов и плазмы. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, - 2004. – 544 с.
- 6) Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики: Учебник. – 7-е изд. М.: Изд-во МГУ; Изд-во «Наука», 2004.
- 7) Крайнов А.Ю., Миньков Л.Л. Численные методы решения задач тепло- и массопереноса : учеб. Пособие. – Томск : СТТ, 2016. – 92 с.
- 8) Кузнецов Г.В., Шеремет М.А., Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие./ Г.В. Кузнецов, М.А. Шеремет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 172 с.