

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра электроники, колебаний и волн

**Наблюдение явления «Провал Лэмба» в He-Ne лазере в условиях  
двухчастотной генерации**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4-го курса 421-й группы

направления 03.03.03 «Радиофизика» факультета нелинейных процессов

Емельянова Александра Олеговича

Научный руководитель  
Доцент КЭКиВ

\_\_\_\_\_

М.И. Перченко

подпись, дата

Заведующий КЭКиВ,  
член-корреспондент

РАН, доктор

физико-математических наук,

профессор

\_\_\_\_\_

Д.И. Трубецков

подпись, дата

Саратов, 2017 г.

## **Оглавление**

Введение .....	3
Постановка задачи .....	4
Теоретические сведения .....	5
Лазер .....	5
Экспериментальная часть .....	7
Результаты .....	8
Выводы .....	9

## **Введение**

Провал Лэмба – явление хорошо известное, теоретически предсказанное и наблюдаемое очень давно. Интерес к этой работе определяется физической красотой объяснения этого провала и желанием оценить возможность постановки соответствующей лабораторной работы в учебном практикуме. Что и является целью выпускной работы.

Провал Лэмба представляет собой падение выходной мощности лазера (в теории в два раза) там, где она должна принимать максимальное значение.

ВКР состоит из нескольких частей: 1) введение; 2) теоретические сведения, в которых рассказано об устройстве He-Ne лазера и описана природа провала Лэмба; 3) экспериментальная часть, в которой описаны созданная экспериментальная установка, проведенное исследование 4) результаты этих исследований и рекомендации к проведению работы

## **Постановка задачи**

Задача состоит в наблюдении провала Лэмба в условиях двухчастотной генерации, когда стандартное наблюдение провала не позволяет с достоверностью утверждать, что наблюдаемый провал является именно провалом Лэмба, а не следствием “перескока” частоты генерации лазера или периодичности сканирования зеркала.

Под стандартным имеется ввиду наблюдение мощности генерации с использованием того или иного фотоэлемента при периодическом сканировании выходного зеркала лазера, укрепленного на пьезоэлементе. При этом спектральная картина лазерного излучения остается скрытой и в результате может привести к неверной трактовке полученных осциллограмм. Для большей достоверности желательно одновременно с этим методом наблюдать сканирование спектральных компонент лазерного излучения вдоль оси частот.

При взаимной синхронизации обоих методов (что естественно обеспечивается двухлучевым осциллографом) одновременность провала на осциллограмме мощности и уменьшение амплитуды спектральной составляющей лазерного излучения может трактоваться с высокой достоверностью как провал Лэмба.

В выпускной квалификационной работе передо мной была поставлена задача: предложить схему установки, на которой провал Лэмба был бы идентифицирован с высокой достоверностью. Собрать её, провести необходимые наблюдения и оценить полученные результаты с точки зрения рекомендаций к созданию лабораторной установки в учебном практикуме.

Во время преддипломной практики необходимо было предложить схему установки, собрать отдельные ее элементы и провести попытки синхронной работы этих элементов.

Прежде чем перейти к описанию экспериментальной установки, напомним схему устройства лазера и появления провала Лэмба.

## Теоретические сведения

### Лазер

Термин «лазер» является транслитерацией английского акронима: «light amplification by stimulated emission of radiation» — «усиление света посредством вынужденного излучения».

Основой работы лазера служит квантовомеханическое явление вынужденного излучения. По законам квантовой механики энергия электрона, связанного в атоме, и энергия атома в целом, не произвольна. Она может иметь лишь определённый дискретный ряд значений ( $\epsilon_0, \epsilon_1, \dots, \epsilon_n$ ), которые называются уровнями энергии. Этот набор значений энергии называется энергетическим спектром атома. Самый нижний энергетический уровень ( $\epsilon_0$ ), при котором энергия атома наименьшая, называется основным. Остальные уровни ( $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_n$ ) соответствуют большей энергии атома и называются возбужденными. Когда атомный электрон переходит с одного уровня энергии на другой, атом может излучать или поглощать электромагнитные волны. Их частоты определяются соотношением  $\nu_{mn} = \frac{\epsilon_m - \epsilon_n}{h}$ , где  $\epsilon_m$  — конечный уровень,  $\epsilon_n$  — начальный уровень,  $h = 6,62607004 \cdot 10^{-34}$  Дж·с — постоянная Планка. Большая разность между энергиями уровней, между которыми происходит переход соответствует большему значению частоты электромагнитной волны, испускаемой или поглощаемой при таком квантовом переходе.

Излучение и поглощение электромагнитной энергии атомом происходит отдельными порциями энергии — квантами, или фотонами, величина которых равна  $h\nu$ . При поглощении фотона  $h\nu_{mn}$  энергия атома увеличивается — он переходит с нижнего уровня  $\epsilon_m$  на верхний уровень  $\epsilon_n$  ( $\epsilon_m < \epsilon_n$ ), а при излучении фотона атом совершает обратный переход.

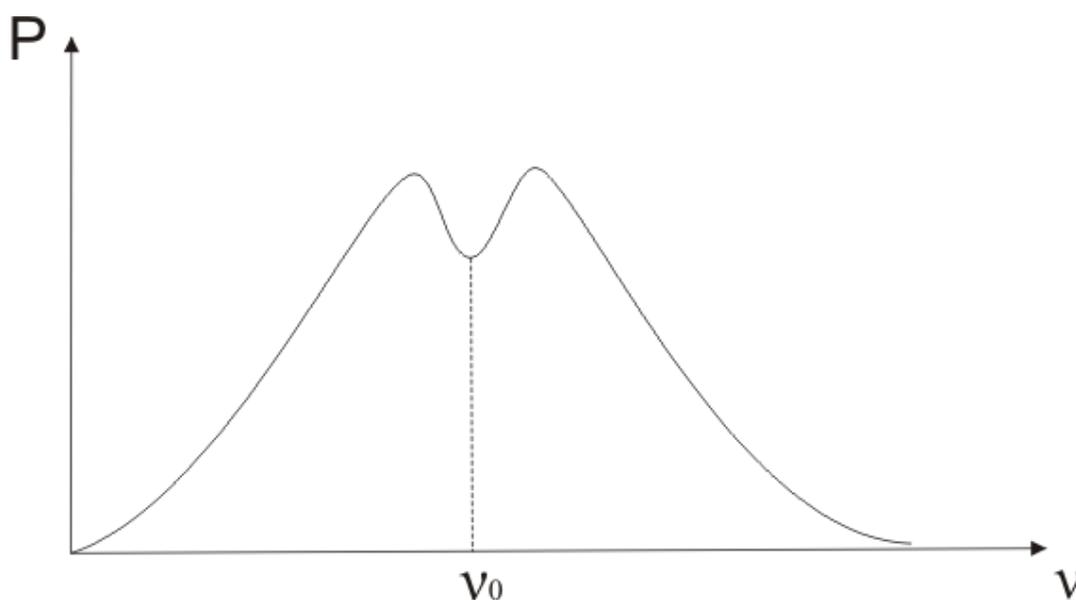
Однако атом может перейти с уровня  $\epsilon_2$  на  $\epsilon_1$  не спонтанно, а под действием электромагнитной волны, если только частота этой волны  $\nu$  достаточно близка к частоте перехода атома  $\nu_{21} = \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{h}$ . Такая резонансная волна как бы «раскачивает»

электрон и ускоряет его «падение» на уровень с меньшей энергией. Переходы, происходящие под действием внешнего электромагнитного поля, называются вынужденными. Вероятность вынужденного перехода пропорциональна интенсивности излучения, вызывающего переход, т. е. квадрату амплитуды волны или числу фотонов. При вынужденном испускании атом отдает энергию электромагнитной волне, амплитуда которой (или число фотонов) вследствие этого увеличивается.

Особенность вынужденного испускания состоит в том, что излучаемый при вынужденном переходе фотон абсолютно неотличим от вызвавших переход первичных фотонов: он имеет те же частоту и фазу, то же направление движения и ту же поляризацию. Именно эта особенность вынужденного излучения позволяет использовать его для усиления электромагнитных волн и для создания генераторов монохроматического и направленного (когерентного) излучения.

### **Провал Лэмба**

Провалом Лэмба называют резонансное падение выходной мощности газового одночастотного лазера в центре линии уширения. Следует отметить, что явление можно наблюдать только с помощью лазера, рабочим телом которого является газ



## Экспериментальная часть

Моим предшественником, студентом Пыхтуновым, были выполнены две отдельных схемы наблюдения провала Лэмба.

Для объединения этих двух схем естественным представляется выполнение следующего: периодическое сканирование зеркала лазера; разделение лазерного луча на два и направление одного из них на фотодиод, а второго на интерферометр Фабри-Перо со сканирующим зеркалом и фотоэлектронным умножителем (ФЭУ) после интерферометра (рис.6).

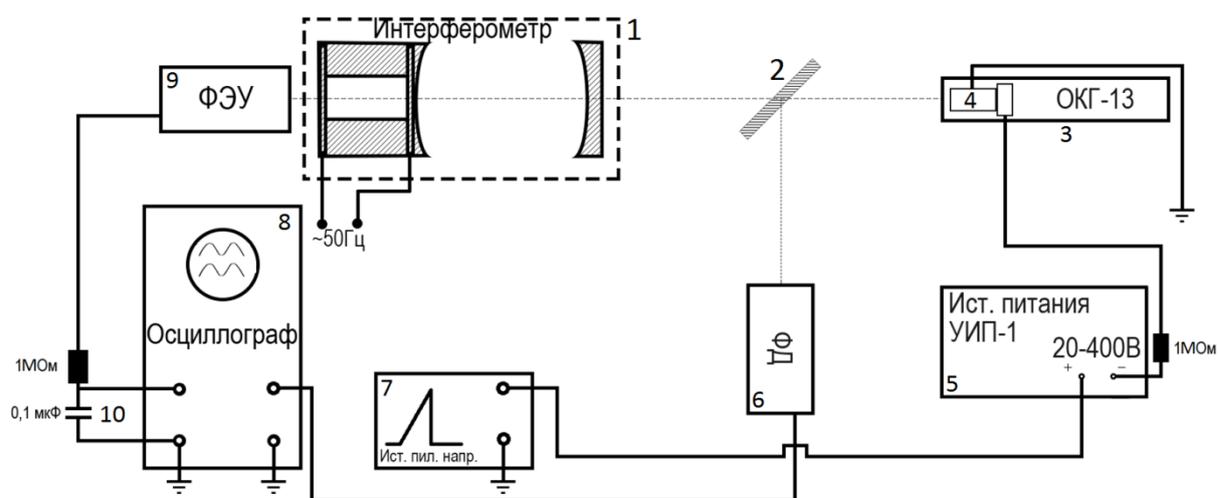
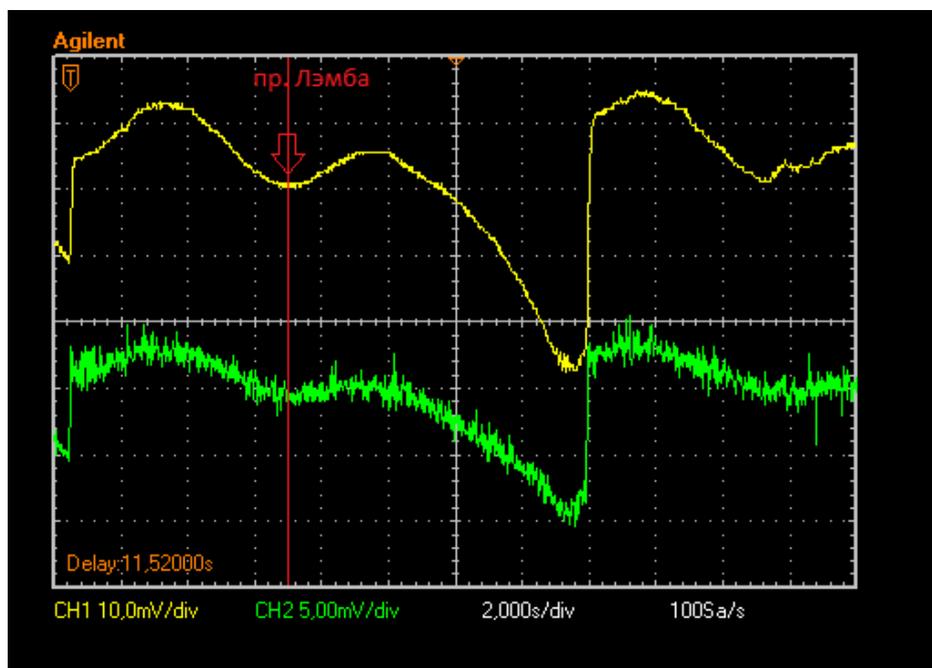


Рисунок 1 Схема экспериментальной установки

## Результаты

В результате наблюдения явления “провал Лэмба” были получены следующие осциллограммы:



**Рисунок 2** Осциллограмма для проинтегрированной спектральной картины приведена сверху; осциллограмма для выходной мощности лазера приведена снизу.

На рис. 4.1 и рис.4.2 можно явно идентифицировать провал Лэмба (отмечен вертикальной линией).

Резкий скачок мощности на осциллограммах связан с очередным запуском пилообразного напряжения.

## **Выводы**

1. Была собрана установка и появилась возможность наблюдать одновременно две картины от двух разных методов наблюдения провала Лэмба.

2. На установке проведены исследования провала Лэмба для разных токов разряда в разных временных интервалах от момента включения лазера. Результаты исследования представлены в виде осциллограмм.

3. Даны рекомендации по оптимальным условиям наблюдения провала Лэмба