

УДК 538.8.824.3

Н. М. Иевская
Ю. В. Павлов
Р. М. Умарходжаев

О СТАБИЛИЗАЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТА РТУТНОЙ ВЧ ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ЛАМПЫ

Исследованы способы стабилизации интенсивности света ртутной безэлектродной ВЧ газоразрядной лампы на длине волны $\lambda=253,7$ нм. Показано, что при изменении температуры отростка лампы или мощности возбуждающего разряд генератора интенсивности различных участков спектра излучения изменяются по разному. Определены диапазоны температурного режима лампы, обеспечивающие максимальную стабилизацию света при зажигании разрядов 1 и 2-го рода. Создана схема стабилизации света, с помощью которой в течение двух часов без температурной стабилизации отростка лампы получено постоянство интенсивности светового потока порядка 1%.

В настоящее время метод оптической ориентации ядерных и электронных спинов находит широкое применение как при исследовании свойств газообразного вещества на основе изучения ЯМР и ЭПР-спектров, так и при создании приборов, основанных на использовании этих спектров. Одной из важных областей применения оптической ориентации системы ядерных или электронных сигналов является создание квантовых стандартов частоты и квантовых магнитометров, обладающих в настоящее время наибольшей точностью и стабильностью. В качестве рабочего вещества в таких приборах используются пары щелочных металлов, изотопов ртути и гелия [1, 2, 3].

В методе оптической ориентации пучки света используются как для оптической накачки, так и для съема информации с поляризованных спинов. Известно, что интенсивность светового потока оказывает влияние на частоту и ширину резонансной линии, а также на значение сигнал/шум наблюдаемых сигналов ЯМР и ЭПР. Поэтому стабильность светового потока по интенсивности во многом определяет как точность измерения различных параметров вещества, так и точностные характеристики приборов, создаваемых на основе оптической накачки.

Источником света в методе оптической ориентации — так называемой лампой накачки — обычно служат безэлектродные лампы, в которых возбуждается ВЧ-разряд [4]. В связи с этим для обеспечения постоянства интенсивности света, излучаемого лампой, необходимо стабилизировать разряд в лампе.

В настоящей работе изучалась интенсивность светового потока, излучаемого ртутной лампой накачки в различных режимах, и исследовались способы стабилизации интенсивности света.

В экспериментах использовались ртутные безэлектродные лампы, состоящие из кварцевого баллона (сферической или дискообразной формы диаметром 15–20 мм) и отростка, содержащего рабочее вещество в виде капли. Давление паров ртути в баллоне лампы определяется температурой отростка и изменяется от 10^{-4} до 10^{-2} мм рт. ст. Лампы до заполнения ртутью предварительно очищались. Для облегчения за-

жигания разряда и улучшения его характеристик в лампу добавлялся буферный инертный газ (аргон, неон) при давлении 3÷4 мм рт. ст.

Для возбуждения ВЧ-разряда в лампе накачки были созданы различные ВЧ-генераторы, работающие на частоте 150÷200 мГц, и испытаны различные типы излучателей (дисковый, система катушек, спираль Архимеда).

При использовании лампы накачки в виде диска наилучшим излучателем была признана катушка, имеющая форму спирали Архимеда, расположенная с одной стороны лампы накачки, применение которой не вызывало потемнения кварцевого стекла на дальней от спирали стороне лампы и, следовательно, не приводило к дополнительному изменению интенсивности света. При одинаковом анодном напряжении генераторной лампы применение спирали Архимеда давало примерно в 1,5 раза большую интенсивность, чем использование колец Гельмгольца.

Интенсивность света ртутной лампы накачки контролировалась визуально по току на нагрузке ФЭУ в линейном режиме и по величине сигнал/шум сигналов ЯМР. Для регистрации светового потока применялись два типа ФЭУ: узкополосный ФЭУ-57 с диапазоном от 200 до 350 нм и широкополосный ФЭУ-71 с диапазоном от 160 до 600 нм.

При наблюдении ЯМР в парах ртути методом оптической накачки используется резонансная линия излучения на длине волны 253,7 нм. ЯМР наблюдался от изотопов ртути 199 и 201 с лампой излучения, содержащей изотопы ртути 204 и 202. Как известно, в безэлектродных ВЧ газоразрядных лампах, как и в лампах с электродами, возникают два режима горения разряда, назовем их режимами 1- и 2-го рода [5, 6, 7]. Эти режимы отличаются интенсивностью светового потока, цветом разряда, геометрией свечения, температурой разряда и т. д. Переход из режима 1-го рода в режим 2-го рода происходит скачком при достижении некоторой определенной мощности ВЧ-генератора, зависящей от параметров лампы накачки. Обратный переход происходит при меньшем уровне мощности.

На спектрофотометре СФ-8 был просмотрен спектральный состав излучения исследуемых ламп. Спектр излучения — линейчатый, состоит из известных линий испускания возбужденных атомов ртути и линий испускания буферного газа [8]. В режимах горения разряда 1 и 2-го рода спектр по составу одинаков, отличаются лишь интенсивности отдельных линий.

Было исследовано влияние температурного режима оторстка лампы накачки на интенсивность свечения в разных участках спектра испускания. Отдельные линии спектра выделялись с помощью фильтров ртутных линий на длины волн: 253,7; 313; 365; 405; 436; 546; 578 нм. Интенсивность светового потока измерялась при разных уровнях мощности генератора, возбуждающего разряд.

На рис. 1 представлены характерные зависимости интенсивности света от температуры оторстка соответственно для ультрафиолетовой ($\lambda=253,7$ нм) и видимой ($\lambda=546,1$ нм) частей спектра при работе лампы в режиме 1-го рода. Зависимости интенсивностей от температуры для других длин волн аналогична зависимости для $\lambda=546,1$ нм.

Как показывают эксперименты, при работе лампы в режиме 1-го рода интенсивность света на $\lambda=253,7$ нм монотонно растет с увеличением температуры оторстка лампы, а для всех остальных линий спектра излучения лампы наблюдается интервал температур (30÷35°C), в котором интенсивность света имеет максимум. Согласно проведенным оценкам при работе ртутной лампы в режиме 1-го рода интенсивность

видимой части спектра составляет 5% от всего света, испускаемого лампой.

При возрастании анодного напряжения генератора выше 175 В в лампе зажигается разряд 2-го рода и скачком изменяется свечение лампы. При этом общая интенсивность света в зависимости от формы

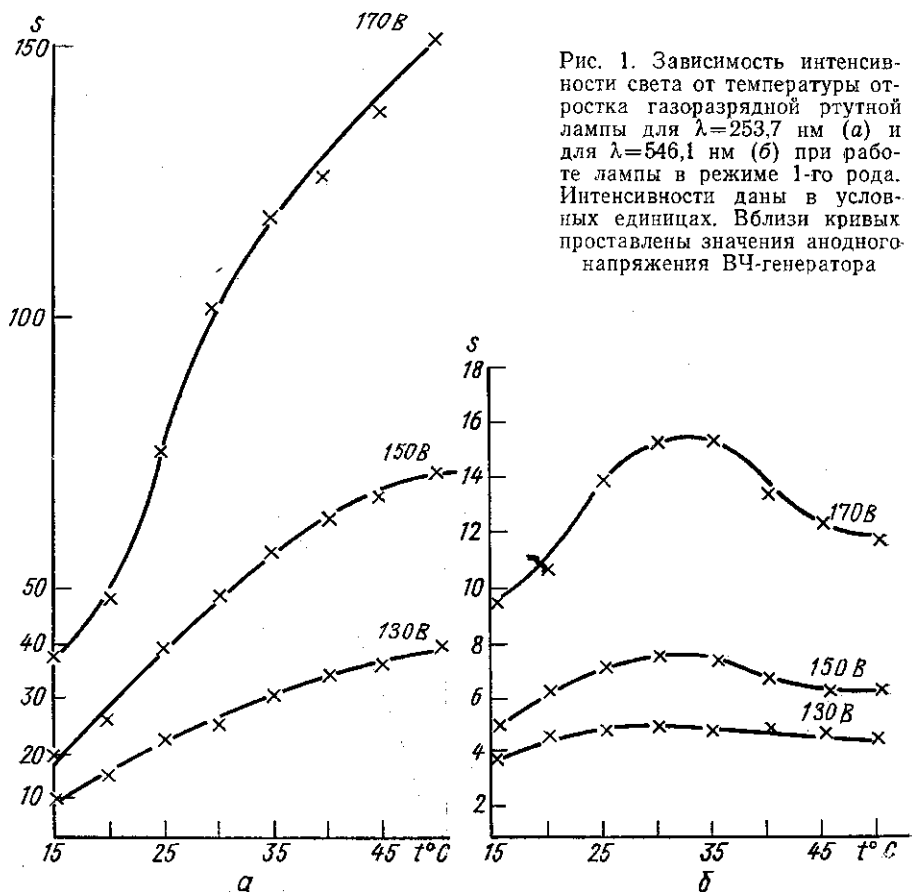


Рис. 1. Зависимость интенсивности света от температуры оторстка газоразрядной ртутной лампы для $\lambda=253,7 \text{ nm}$ (а) и для $\lambda=546,1 \text{ nm}$ (б) при работе лампы в режиме 1-го рода. Интенсивности даны в условных единицах. Вблизи кривых проставлены значения анодного напряжения ВЧ-генератора

лампы возрастает в 2–10 раз. В интервале температур оторстка 20–40 $^{\circ}\text{C}$ видимая часть спектра по-прежнему составляет не менее 5% от ультрафиолетовой части. Исследования показали, что при работе лампы накачки в режиме 2-го рода зависимость интенсивности света от температуры оторстка лампы для ультрафиолетовой и видимой частей спектра имеет другие закономерности.

На рис. 2 даны зависимости интенсивности света от температуры оторстка соответственно для длины волны $\lambda=253,7 \text{ nm}$ и для суммарной интенсивности видимой части спектра для лампы в форме диска. Для ламп другой формы зависимости интенсивности от температуры имеют аналогичный вид, лишь несколько смещается положение максимума.

Как видно из рис. 2, при изменении температуры оторстка лампы интенсивность ультрафиолетовой части спектра проходит через максимум, который для ламп разной формы достигается в интервале 32–38 $^{\circ}\text{C}$. При этом интенсивности в максимуме увеличиваются примерно в 2 раза.

В противоположность этому интенсивность как отдельных линий, так и суммарная интенсивность видимой части спектра при увеличении температуры оторстка монотонно возрастает.

Сравнение поведения интенсивности света от температуры оторстка для исследованных ламп накачки в режиме 1 и 2-го рода позволяет за-

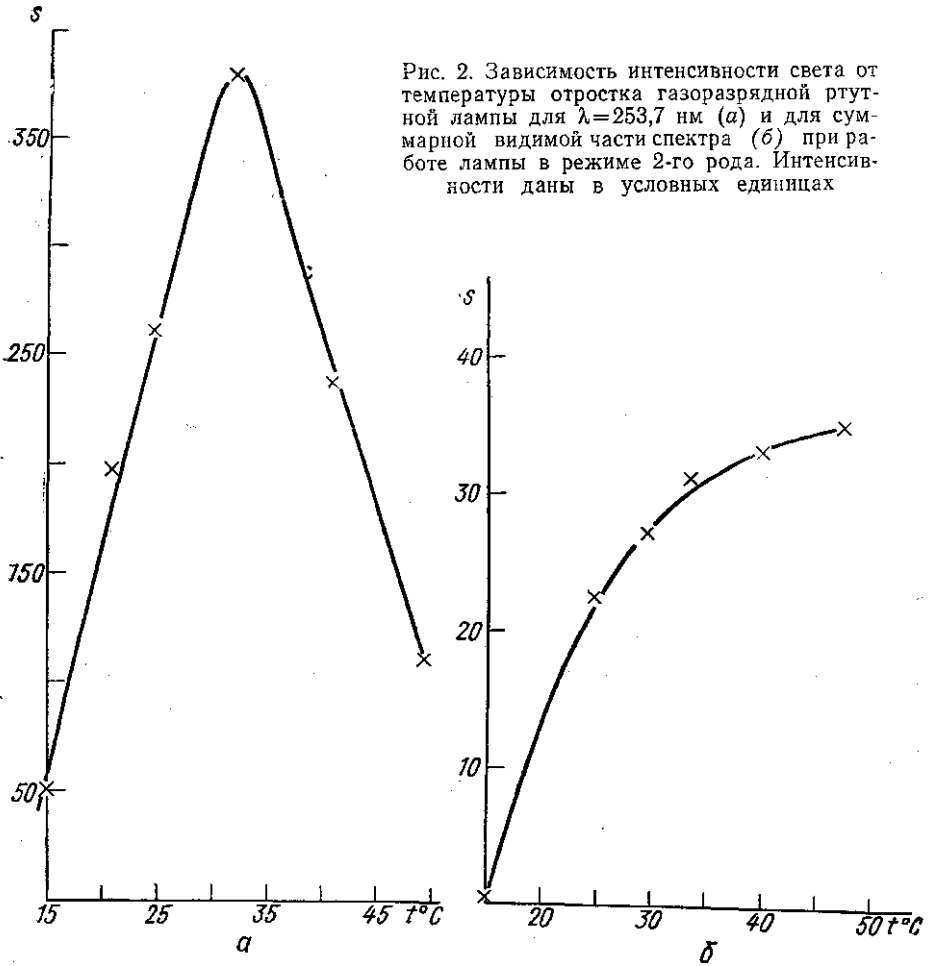


Рис. 2. Зависимость интенсивности света от температуры оторстка газоразрядной ртутной лампы для $\lambda = 253,7 \text{ nm}$ (а) и для суммарной видимой части спектра (б) при работе лампы в режиме 2-го рода. Интенсивности даны в условных единицах

ключить следующее. Для длины волны $253,7 \text{ nm}$ в режиме 1-го рода максимальная стабилизация интенсивности света путем термостабилизации оторстка будет достигаться при температуре $30 \div 35^{\circ}\text{C}$, где видимая часть спектра имеет пологую характеристику. При работе в режиме 2-го рода стабилизация интенсивности света должна осуществляться при температуре $32 \div 38^{\circ}\text{C}$, где интенсивность ультрафиолетовой части спектра имеет максимум.

На интенсивность света, излучаемого ртутной лампой, помимо температуры оторстка серьезное влияние оказывает мощность, подводимая от ВЧ-генератора для возбуждения разряда. В связи с этим проводилась работа по стабилизации интенсивности светового потока газоразрядной лампы путем подстройки выходного напряжения генератора. Управляющим сигналом в такой схеме служит величина тока регистрирующего ФЭУ, находящегося в линейном режиме.

Первоначально предполагалось стабилизировать световой поток лампы, проводя регистрацию света в видимой части спектра излучения, так как для этого диапазона существует хорошо разработанная аппаратура (оптические элементы, фотоприемники, фильтры и т. д.). Однако в процессе эксперимента оказалось, что в соответствии с предположением, высказанным в работе [9], интенсивности разных участков спектра изменяются по-разному.

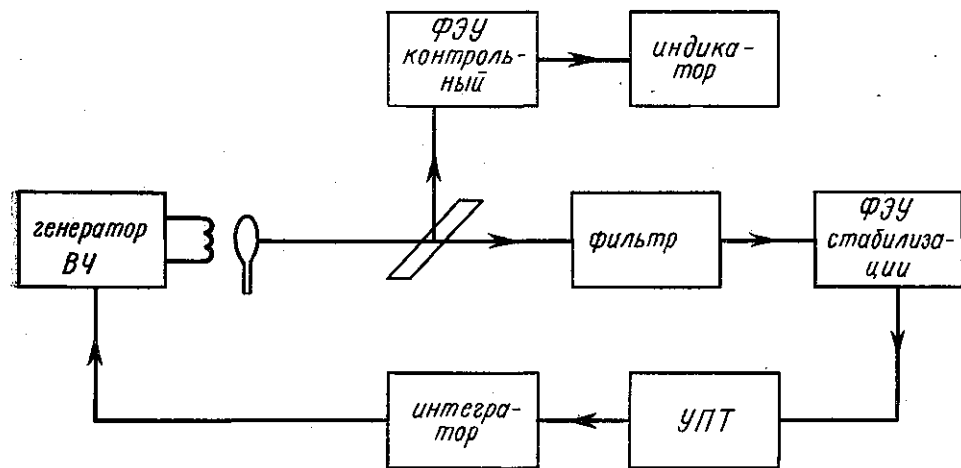


Рис. 3. Блок-схема установки для стабилизации интенсивности света газоразрядной ртутной лампы

Так, если в канале стабилизации и в канале контроля используются различные ФЭУ (ФЭУ-71 и ФЭУ-57) и поставлены соответствующие фильтры, то при изменении выходного напряжения генератора и переходе лампы из режима разряда 1-го рода во 2-й род соотношение интенсивностей на длинах волн 253,7 и 546,1 нм изменяется в несколько раз. Поэтому важно стабилизировать интенсивность света на участке спектра, необходимом для работы.

На рис. 3 дана блок-схема стабилизации интенсивности света на длине волны 253,7 нм. Свет от газоразрядной ртутной лампы, возбуждаемой ВЧ-генератором, делится пополам на полупрозрачном зеркале. Один пучок света попадает на ФЭУ стабилизации (ФЭУ-57), другой пучок индицируется на контрольный ФЭУ (ФЭУ-57 или ФЭУ-71) или используется как рабочий луч для наблюдения сигналов ЯМР.

Сигнал ошибки с ФЭУ-стабилизации через соответствующую цепь обратной связи (фотокомпенсационный усилитель Ф 116/2 и интегратор) используется для автоматической регулировки выходного напряжения ВЧ-генератора. В качестве интегратора используется сервомотор, вал которого соединен с потенциометром в цепи регулировки анодного питания генераторной лампы.

Перед ФЭУ стабилизации помещается фильтр, состоящий из поляризационного фильтра на длине волны 253,7 нм (шириной 3 нм) и хлорного фильтра (кварцевой кюветы длиной 120 мм, заполненной хлором при давлении 1 атм). Этим обеспечивается полное поглощение света в диапазоне от ближнего инфракрасного до линии 253,7 нм.

Путем подбора и согласования элементов с помощью описанной схемы была застabilизирована интенсивность света при работе лампы накачки в режимах I и 2-го рода. При использовании схемы стабилизации интенсивности света температуру лампы накачки и ее отростка можно не стабилизировать.

Эксперименты показали, что при изменении температуры отростка от 21 до 52°C показания контрольного ФЭУ-57 (регистрирующего интенсивность света на длине волны 253,7 нм) в течение двух часов сохраняются постоянными с точностью до 1% при условии достаточного прогрева ФЭУ и питания обоих ФЭУ-57 (контрольного и стабилизирующего) от одного источника.

В случае использования в качестве контрольного ФЭУ-71 при тех же условиях суммарная интенсивность светового потока на контрольном ФЭУ изменялась на 3%. При этом интенсивность отдельных линий видимого диапазона спектра излучения менялась на 50%.

Необходимо отметить, что при работе стабилизатора измерялось относительное изменение интенсивности света. Воспроизводимость абсолютного значения интенсивности светового потока газоразрядной ртутной лампы в описанном стабилизаторе зависит от характеристик ФЭУ-57 и специально в данной работе не исследовалась.

Авторы признательны А. Ф. Александрову, А. А. Кузовникову, А. А. Рухадзе и Г. С. Солнцеву за обсуждение полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cohen Tannoudji C., Kastler A. «Prog. Opt.», vol. V North Holland Publ. Co. 1965.
2. Григорянц В. В., Жаботинский М. Е., Золин В. Ф. Квантовые стандарты частоты. М., 1968.
3. Померанцев Н. М., Рыжков В. М., Скродцкий Г. В. Физические основы квантовой магнитометрии. М., 1972.
4. Bell W. E., Blum A. L. «Rev. Sci. Instr.», 1961, 32, N 6, 588.
5. Вагнер Г. В. ЖТФ, 1959, 29, 10, 1263.
6. Бочкова О. П., Разумовская Л. П. «Оптика и спектроскопия», 1960, 9, 2, 271.
7. Отчеты УПИ №№ 70 039 110 и 73 034 275. Свердловск, 1971; 1974.
8. Зайдель А. Н., Прокофьев В. К., Райский С. М. Таблицы спектральных линий. М.—Л., 1952.
9. Широков В. И. «Изв. АН СССР. Сер. физ.», 1956, 20, 605.

Поступила в редакцию
10.11 1977 г.
НИИЯФ