

## РАЗРЯДНЫЕ ЛАМПЫ В ДЕМОНСТРАЦИОННОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Свешников В.К.<sup>1</sup>, Куренщиков А.В.<sup>1</sup>, Сенькина Т.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный педагогический институт им. М. Е. Евсевьева», Саранск, Россия (430007, Саранск, ул. Студенческая, 11а), e-mail: akur@inbox.ru

В статье рассматривается постановка демонстрационных экспериментов с применением разрядных ламп, многофункциональность которых позволила найти им широкое применение в технике демонстрационного эксперимента: 1) для изучения физических процессов, происходящих в газовом разряде и в ионных приборах; 2) в качестве основных элементов для изучения устройства ионных приборов и работы электрических цепей с ними, а также как источники излучений. Рассматриваются аспекты развития физического эксперимента по сложным и принципиально важным физическим явлениям и процессам с применением натриевых, люминесцентных, неоновых, ртутно-кварцевых ламп. Показано, что приоритетным направлением в разработке и постановке новых демонстрационных экспериментов в курсах физики, электронной техники, радиоэлектроники является расширение области использования разрядных ламп в качестве базовых элементов.

Ключевые слова: демонстрационный эксперимент, физический процесс, разрядная лампа, инертный газ, диффузия, натриевая лампа.

## THE DISCHARGE LAMP IN THE DEMONSTRATION EXPERIMENT

Sveshnikov V.K.<sup>1</sup>, Kurenschikov A.V.<sup>1</sup>, Senkina T.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mordovia State Pedagogical Institute n.a. M.E. Evseveva, Saransk, Russia (430007, Saransk, street Studencheskaya, 11a), e-mail: akur@inbox.ru

The article discusses the formulation of demonstration experiments with the use-it discharge lamps, whose versatility has allowed him to find wide application in technology demonstration experiment: 1) to study the physical processes occurring in the gas discharge and ion devices; 2) as a framework-elements for the study of ion unit of electrical appliances and tse-drink with them, as well as the radiation source. Aspects of the development of fi-cal experiment on complex and fundamentally important physical phenomena and processes using sodium, fluorescent, neon, mercury-quartz lamps. It is shown that a priority in the development and formulation of new demonstration experiments in physics courses, electronic engineering, radio electronics is to expand the use of discharge lamps as the basic elements.

Keywords: demonstration experiment, the physical process, discharge lamp, an inert gas, diffusion, sodium lamp.

Приоритетным направлением в разработке и постановке новых демонстрационных экспериментов в курсах физики, электронной техники, радиоэлектроники является расширение области использования разрядных ламп в качестве базовых элементов.

Актуальность использования разрядных ламп в технике демонстрационного эксперимента обусловлена: 1) разнообразием физических процессов, протекающих в объемах ламп, на электродах и в их оболочках; 2) разнообразием их функциональных возможностей; 3) характерным для данных ламп спектром излучения, позволяющим регистрировать процессы возбуждения и протекания в них газового разряда; 4) возможностью изменения параметров приборов под воздействием внешних электрических и магнитных полей; 5) возбуждением различных видов разряда; 6) компактностью по форме, эстетичностью в оформлении и удобством в эксплуатации; 7) не критичностью к выбору элементов схем; 8) сравнительно невысокой стоимостью ламп.

Дальнейшее развитие техники демонстрационного эксперимента требует обобщения и систематизации накопленного опыта в разработке и постановке новых демонстраций.

Работа посвящена постановке лекционных демонстраций с применением разрядных ламп. Рассматриваются аспекты развития физического эксперимента по сложным и принципиально важным физическим явлениям и процессам с применением натриевых, люминесцентных, неоновых, ртутно-кварцевых ламп.

### **Лампы низкого давления в демонстрационном эксперименте**

Отсутствие демонстраций по разделу «Электрический разряд в газах» из-за сложности их изготовления затрудняет усвоение студентами ряда явлений, в частности, диффузии и катафореза. В работе [18] описана установка, позволяющая демонстрировать разряд, возбуждаемый в аргоне и парах натрия, а также визуально наблюдать миграцию натрия в разрядной трубке под действием электрического поля и температуры. Универсальность установки достигается снабжением разрядной трубки натриевой лампы ДНаС-18 подогревателем. При комнатной температуре трубки разряд происходит в аргоне. В процессе нагрева трубки давление насыщенных паров натрия в разряде увеличивается, и голубое свечение аргона сменяется ярким желтым свечением разряда в парах натрия. При питании трубки постоянным током можно визуально наблюдать катодную область тлеющего разряда и явление катафореза.

Образование плазмы, обусловленное термоэлектронной эмиссией в люминесцентной лампе, рассматривается в [25]. При пропускании электрического тока через электрод вокруг последнего при определенной температуре возникает плазма, которая обуславливает свечение люминофора.

Люминесцентные лампы – это источники радиопомех, излучаемых в диапазонах длинных и средних волн. Поступая на вход радиоприемного устройства, они создают шумы, мешающие достоверному выделению полезного сигнала на их фоне. В [8] рассмотрены особенности генерации радиосигналов люминесцентными лампами. Приводится схема установки, позволяющей наблюдать на экране осциллографа форму сигнала радиопомехи и радиостанции на выходе приемного устройства, частотную зависимость уровня сигнала помехи, влияние сигнала радиопомехи на качество принимаемого сообщения, а также способы снижения уровня радиопомех.

При работе люминесцентных ламп на постоянном токе их анодный конец обедняется ртутью, что приводит к снижению светового потока ламп [6]. Вследствие образовавшейся разности концентраций возникает встречный диффузионный поток атомов ртути. Спустя некоторое время между диффузией нейтральных атомов и ионным током устанавливается динамическое равновесие. Наблюдение обеднения ртутию анодного конца лампы

осуществляется визуально по изменению светового потока, излучаемого лампой. При изменении полярности напряжения, прикладываемого к электродам лампы, наблюдается восстановление светового потока у анода.

Специфичность лекционного материала «Магнитные свойства плазмы», трудность его понимания студентами делают актуальной задачу совершенствования существующих демонстрационных экспериментов и постановку новых. В [7] предлагается демонстрация, в которой ослабление плазмой напряженности магнитного поля регистрируется по изменению напряжения на выходе двух индуктивно связанных катушек, внутри которых расположена люминесцентная лампа. Демонстрация проводится на частоте в диапазоне  $25 \div 35$  МГц.

Многообразие и сложность физико-химических процессов, протекающих в системе расплав соли натрия – твердый электролит – газовый разряд, практическая значимость метода электролитической дозировки натрия в технике [9, 24, 27] и перспективность его использования в физических исследованиях, трудность понимания теоретического материала студентами требует постановки новых демонстраций.

В отличие от [24] в [23] предлагается демонстрация нестационарной диффузии натрия из расплава его соли в двухэлектродные лампы – световые индикаторы тлеющего разряда.

Плотность  $j$  разрядного тока в лампе является возрастающей функцией времени  $t$  [22]

$$j = j_0 \left\{ 1 + \alpha n_0 / N_e \left[ 1 - \left( \frac{h}{2} - b_e E t \right) / 2\sqrt{\pi D t} \right] \right\}, \quad (1)$$

где  $j_0$  - начальная плотность тока;  $\alpha$  - степень ионизации атомов натрия;  $n_0$  - начальная концентрация атомов натрия;  $N_e$  - концентрация электронов;  $h$  - протяженность разрядного промежутка;  $b_e$  - подвижность электронов;  $E$  - напряженность электрического поля;  $D$  - коэффициент диффузии ионов натрия в инертном газе.

При  $t = 0.5h/b_e E$  – плотность тока принимает максимальное значение и наступает стационарный режим разряда. При изменении направления электрического поля на  $(-E)$ , положительные ионы натрия будут перемещаться из разряда через стекло обратно в расплав соли натрия. Демонстрационная установка состоит из нагревателя, ванночки с солью натрия, неоновой лампы и выпрямителя [9]. По изменению яркости и цветности излучения, генерируемого разрядом, визуально можно наблюдать массоперенос натрия в системе стекло – газовый разряд, как в случае ускоряющего, так и в случае тормозящего положительные ионы натрия электрических полей [5].

При постановке демонстраций по разделам «Распространение радиоволн», «Антенны» целесообразно использовать люминесцентные лампы. Их применение позволяет обеспечить наглядность, содержательность и эстетичность проводимых опытов. Наблюдение отражения радиоволн от ионизированных газов можно осуществлять с помощью люминесцентных ламп [4]. Для этого вблизи ламп располагают передающую и приемную антенны.

Передающая антенна подключается к генератору УКВ. Сигнал с приемной антенны поступает на гальванометр. При включении лампы наблюдается отклонение стрелки гальванометра, что свидетельствует о наличии сигнала, отраженного от ионизованного газа.

В дополнение к [4] нами разработана демонстрация по прохождению радиоволн в ионосфере [14, 15]. В качестве модели ионосферы в ней использован плазменный столб разряда люминесцентной лампы. Активная проводимость плазмы согласно [22] зависит от частоты радиосигнала для заданных условий разряда. При проведении демонстрации приемная и передающая антенны располагаются вдоль лампы. На выходе генератора устанавливается несущая частота  $25 \div 35$  МГц. При возбуждении разряда в лампе наблюдаем на экране осциллографа появление сигнала. Из сравнения амплитуд передаваемого сигнала, снимаемых соответственно с приемной и передающей антенн, убеждаемся в его ослаблении, обусловленном поглощением радиосигнала плазменным столбом разряда.

Демонстрация, посвященная исследованию характера распространения электромагнитных волн в системе с распределенными параметрами в длинной коаксиальной линии, описана в [4]. Применение разрядной лампы в [22] в отличие от [4] позволяет визуально, по изменению ее яркости, наблюдать затухание разряда.

Разрядную лампу с расположенными на ее поверхности электродами при слаботочном разряде в соответствии с [10] можно рассматривать как цепь с распределенными параметрами. В стационарном режиме слаботочного разряда на частоте  $f$  ток, потребляемый лампой, экспоненциально увеличивается с увеличением распределенной емкости  $C$ . Предложенная нами демонстрация позволяет визуально, по изменению светового потока, генерируемого плазмой, обусловленного изменением величины распределенной емкости, косвенно наблюдать утечку тока из плазменного столба.

Перспективным направлением в развитии антенных устройств для космической радиосвязи является разработка плазменных антенн. Активным элементом таких антенн могут служить образуемое при сгорании топлива пламя ракет, потоки заряженных частиц, выбрасываемых из сопел ионных реактивных двигателей, и др. В качестве модели такой антенны в [12] используется плазменный вибратор, изготовленный на базе люминесцентной лампы.

На поверхности люминесцентной лампы у катода закреплен внешний электрод, с которого снимается высокочастотный сигнал. Применение внешнего электрода позволяет исключить гальваническую связь между сетью и радиоприемником. Предложено исследование распределения температуры вдоль колбы люминесцентной лампы проводить датчиком сопротивления, использование которого вместо термодпары позволяет определить усредненную температуру локального сечения колбы [20]. Представленный метод изучения

температурного распределения на поверхности люминесцентной лампы можно использовать в качестве демонстрации в курсе физики и на факультативных занятиях при изучении источников света.

Модель натриевой лампы низкого давления [11] предлагается на базе использования двухэлектродных сигнальных индикаторов, в частности ТН-20, ТН-30 и других. Такая модель позволяет проводить отдельные исследовательские эксперименты, а также постановку демонстрационного эксперимента по физике газового разряда в учебном процессе. Сигнальный индикатор, наполненный инертным газом – неон, размещается внутри цилиндрического теплового экрана изготовленного из кварцевого стекла. Введение натрия в индикатор осуществляется электролитическим методом в стеклянную колбу из расплава нитрата натрия.

В работе [3] используется цилиндрический датчик для измерения температуры на поверхности цилиндрических тел. Использование в качестве рабочей жидкости глицерина позволяет измерить более высокие температуры, чем спиртовым датчиком аналогичной конструкции. Показано, что время нагрева датчика до установившейся температуры уменьшается с ростом температуры его внутренней стенки.

Возможность использования газоразрядных источников света низкого давления для постановки демонстрационных экспериментов обсуждается в работе [13].

### **Лампы высокого давления в демонстрационном эксперименте**

Высокоэффективные источники света, основанные на использовании разряда высокого давления, широко используются в технике освещения, фотохимии, растениеводстве и специальной технике. Отечественной промышленностью серийно выпускаются ртутно-кварцевые, натриевые и металлогалогенные лампы. Теоретические и прикладные вопросы, посвященные лампам высокого давления, достаточно подробно изложены в известных работах [1, 26].

В работе [2] описана демонстрация радиального распределения излучения спектральных линий, а также яркости в разряде металлогалогенных ламп. Исходя из предположения о термодинамическом равновесии плазмы при высоком давлении, дано теоретическое обоснование наблюдаемых явлений. Приводится схема установки. В ней увеличенное изображение дуги проектируется на экран, расположенный в плоскости входной щели монохроматора. На его входную щель последовательно проектируются участки дуги вдоль радиуса разрядной трубки. Сила излучения спектральных линий регистрируется фотоэлементом.

Исследование явления катафореза в натриевых лампах высокого давления на постоянном токе представлено в работах [16, 17]. В работах используются лампы типа

ДНАТ-150. Приведена принципиальная схема установки, которая может быть использована для постановки демонстрационного эксперимента. Результаты исследований могут быть использованы при постановке демонстрации по наблюдению явлений катафореза в курсах физики, источниках света, электронной техники.

В работе [18] рассматривается метод определения отношения заряда иона натрия к его массе с использованием натриевой лампы высокого давления. Метод основывается на исследовании движения ионов натрия, эммитируемых поверхностью разрядной трубки в вакуумную колбу лампы в однородном электрическом и магнитном полях. Предложенный метод можно использовать в основе разработки демонстрации.

Демонстрация дрейфа ионов натрия в системе «разрядная трубка – внешний электрод» натриевой лампы высокого давления предложена в работе [19]. Величина тока для заданной мощности разряда определяется величиной прикладываемого потенциала к внешнему электроду. На внешний электрод, расположенный на лампе, прикладывается отрицательный потенциал относительно электрода лампы.

В работе [21] предлагается демонстрация определения коэффициента диффузии натрия через оболочки разрядных трубок. В процессе разряда в натриевых лампах высокого давления, при определенных условиях, эмиссия натрия с оболочки разрядной трубки носит ионный характер. Этот факт позволяет по величине ионного тока с разрядной трубки судить о величине коэффициента диффузии натрия через ее оболочку.

### **Заключение**

Многофункциональность разрядных ламп позволила найти им широкое применение в технике учебного эксперимента: 1) для изучения физических процессов, происходящих в газовом разряде и в ионных приборах; 2) в качестве основных элементов для изучения устройства ионных приборов и работы электрических цепей с ними, а также как источники излучений; 3) в качестве вспомогательных средств для регистрации малых токов и электрических сигналов.

Несмотря на прогресс, достигнутый в развитии ламп низкого давления и применении их в технике эксперимента, имеется ряд недостаточно изученных вопросов теоретического плана. Среди них: роль экзотермической эмиссии в формировании разряда; влияние магнитного поля на плазменный столб разряда; особенности работы ламп в высокочастотном диапазоне.

Исследование поставленных вопросов позволит создать новые демонстрационные эксперименты по физике: 1) газоразрядный источник радиочастотных колебаний; 2) модель магнито-гидродинамического генератора; 3) электронный и ионный резонанс; 4) детекторные свойства плазмы и др.

Несмотря на разнообразие физических процессов и явлений, протекающих в лампах высокого давления, они недостаточно используются в демонстрационном эксперименте. В отличие от ламп низкого давления в лампах высокого давления наблюдается: 1) контрагирование разряда в разрядной трубке; 2) поверхностная ионизация атомов металлов на электродах; 3) диффузионная утечка натрия из объема натриевых ламп; 4) эмиссия заряженных частиц с оболочек разрядных трубок.

Эти и другие особенности разряда высокого давления в лампах открывают возможность постановки новых демонстрационных экспериментов, например: 1) газоразрядный источник ионов натрия; 2) диффузия натрия через оболочки разрядных трубок; 3) особенности разряда высокого давления.

Реализация в учебном процессе демонстрационных экспериментов с использованием разрядных ламп будет способствовать активизации процесса усвоения теоретического материала студентами, развитию их творческого мышления, стимулировать развитие у них новых подходов к созданию приборов и устройств современной техники.

### Список литературы

1. Гуторов М. М. Основы светотехники и источники света. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 384 с.
2. Кокинов А. М. Демонстрация радиального распределения излучения в разряде высокого давления // Прикладные вопросы физики. Техника эксперимента. – Саранск: МГПИ, 1996. – С. 101-106.
3. Королев В. И., Свешников В. К., Разинов А. В. Датчик для измерения температуры на поверхности цилиндрических тел // Проблемы учебного физического эксперимента. – Вып. 16. – Глазов: ГГПИ, 2002. – 107 с.
4. Малов И. Н., Полянина Г. Д., Козлова А. Н. Лекционные демонстрации по курсу радиотехники. – М.: МГПИ, 1984. – 122 с.
5. Свешников В. К., Сенькина Т. А. Постановка демонстрации «Электролитический перенос и диффузия натрия в системе стекло-газовый разряд» // Учебный эксперимент в образовании : научно-методический журнал. – 2015. – № 1. – С. 81-86.
6. Свешников В. К. Демонстрационный эксперимент с использованием газоразрядных ламп низкого давления. – Саранск, 1991. – 32 с.
7. Свешников В. К. Демонстрация диамагнетизма плазмы // Известия вузов. Физика. – 1991. – № 11. – С. 121-123.

8. Свешников В. К. Демонстрация излучения радиопомех люминесцентными лампами // Известия высших учебных заведений. – Сер. Физика. – 1993. – № 11. – 106 с.
9. Свешников В. К. К вопросу электролитической дозировки натрием ионных приборов // Электронная обработка материалов. – 1993. – № 1. – С. 30-33.
10. Свешников В. К. Метод расчета напряжения зажигания разряда в разрядных трубках // Электронная техника. – Сер. 4. – Электровакуумные и газоразрядные приборы. – 1985. – Вып. 2. – С. 55-56.
11. Свешников В. К. Модель натриевой лампы низкого давления // Фундаментальные и прикладные проблемы физики: тезисы докл. III Международной научно-технической конференции (Саранск, 6-8 июня 2001 г.). – Саранск: Мордов. гос. пед. ин-т, 2001. – С. 118.
12. Свешников В. К. Модель плазменной антенны // Учебный эксперимент в образовании : научно-методический журнал. – 2013. – № 2. – С. 11-14.
13. Свешников В. К. Перспективы использования источников света в постановке экспериментов по физике // Фундаментальные и прикладные проблемы физики: тезисы докл. VII Международной научно-технической конференции (Саранск, 28-30 мая 2012 г.). – Саранск: Мордов. гос. пед. ин-т, 2012. – С. 158-160.
14. Свешников В. К. Установка для демонстрации прохождения радиоволн в ионосфере // Известия вузов. Физика. – 1991. – № 7. – С. 112-113.
15. Свешников В. К., Базаркин А. А. Прохождение волн в ионосфере // Физика в школе и вузе: международный сборник научных статей. – Вып. 16. – С.-Пб.: Изд. РГПУ им. А.И. Герцена, 2014. – С. 89-92.
16. Свешников В. К., Васильченко В. Г. Исследование явления катафореза в натриевых лампах высокого давления на постоянном токе // Учебный эксперимент в образовании : научно-методический журнал. – 2011. – № 2. – С. 76-81.
17. Свешников В. К., Васильченко В. Г. Метод определения удельного заряда иона натрия // Учебный эксперимент в образовании : научно-методический журнал. – 2012 – №1. – С. 84-86.
18. Свешников В. К., Гамаюнов Н. Д. Установка для демонстрации разряда в парах натрия // Изв. вузов. Физика. – 1978. – № 11. – 155 с.
19. Свешников В. К., Камодин А. Н. Влияние электрического поля и структуры оболочки разрядной трубки на спад световой отдачи натриевой лампы высокого давления // Учебный эксперимент в образовании : научно-методический журнал. – 2011. – №1. – С. 61-67.
20. Свешников В. К., Куплинов В. Н., Королев В. И. Исследование распределения температуры по поверхности люминесцентной лампы // Проблемы учебного физического эксперимента. – Вып. 10. – Глазов: ГГПИ, 2000. – 147 с.



21. Свешников В. К., Куренчиков А. В. Экспресс-метод определения коэффициента диффузии натрия через оболочки разрядных трубок // Современные проблемы науки и образования – 2014. – № 6; URL: [www.science-education.ru/120-15593](http://www.science-education.ru/120-15593) (дата обращения: 10.10.2015).
22. Свешников В. К., Свешникова Н. М. Разрядная трубка в демонстрации «Цепь с распределенными параметрами» // Известия вузов. Физика. – 1990. – № 10. – 128 с.
23. Свешников В. К., Свешникова Н. М. Демонстрация диффузии натрия в системе стекло-газовый разряд // Известия вузов. Физика. – 1992. – № 5. – С. 98-102.
24. Стронг Д. Техника физического эксперимента. – Л.: Лениздат, 1948. – 662 с.
25. Тараненко В. И. Образование плазмы термоэлектронной эмиссией // Физика в школе. – 1989. – № 2. – 117 с.
26. Уэймаус Д. Газоразрядные лампы. – М.: Энергия, 1977. – 343 с.
27. Шиндин М. А. Нанесение натриевого отражающего покрытия на колбы ламп накаливания // Светотехника. – 1973. – № 5. – С. 12-14.

**Рецензенты:**

Шабанов Г.И., д.п.н, профессор кафедры информатики и вычислительной техники МордГПИ им. М. Е. Евсевьева, г. Саранск;

Кокинов А.М., д.т.н., профессор кафедры светотехники НИ МГУ им. Н. П. Огарева, г. Саранск.