

УДК 378.14:537.531:53.05:53.06

Ткачева Татьяна Михайловна, канд. физ.-мат. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, tmtkach@rambler.ru

Косарев Иван Юрьевич, студент,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, cosarew.iwan@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ

Аннотация. Основанием для постановки задачи является широкое распространение использования СВЧ-излучения и в быту, и в промышленности. Изучены теоретические основы получения и практического использования СВЧ-излучения. По выбранной схеме произведена практическая реализация устройства для получения СВЧ-излучения. Проработаны правила техники безопасности при работе с СВЧ-излучением. Объектами исследования выбраны вода, электролюминесцентная лампа и полупроводниковый радиоприемник. Установлена зависимость времени закипания воды от расстояния до источника СВЧ-излучения. Показана возможность горения электролюминесцентной лампы в условиях СВЧ-излучения и найдена зависимость яркости горения от расстояния до источника СВЧ-излучения. Показано, что в результате воздействия СВЧ-излучения на полупроводниковый радиоприемник, его работа ухудшается или прекращается (вплоть до полного разрушения) в зависимости от расстояния до источника СВЧ-излучения.

Ключевые слова: СВЧ-излучение; вода; люминесцентная лампа; радиоприемник; зависимость от расстояния до источника СВЧ-излучения.

Tkacheva Tatiana M., Ph. D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, tmtkach@rambler.ru

Kosarev Ivan Yu., student,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, cosarew.iwan@yandex.ru

A STUDY OF MICROWAVE RADIATION

Abstract. The research was conducted within project work of students in the course of physics studying. The basis for the problem definition is the widespread use of microwave (a very high frequency) radiation both in everyday life, and in the industry. Theoretical bases of receiving and practical use of microwave radiation are studied. According the selected scheme a device for receiving microwave radiation is made. Rules of safety during work under microwave radiation are studied. Water, electroluminescent lamp and semiconductor radio receiver are selected as the objects of study. The dependence of the boiling time of water on the distance to the source of microwave radiation is established. The possibility of burning of the electro luminescent lamp in the conditions of microwave radiation is shown and the dependence of burning brightness on the distance to a microwave radiation source is found. It is shown that as a result of the influence of microwave radiation on a semiconductor radio receiver, its operation deteriorates or stops (up to complete destruction) depending on the distance to the source of microwave radiation.

Key words: microwave radiation; water; the luminescent lamp; the radio receiver; dependence on distance to a microwave radiation source.

Введение

Микроволновое или СВЧ-излучение и его применение известно, по крайней мере, начиная со второй половины XX века. В настоящее время СВЧ-излучение используется повсеместно. Примерами такого использования могут служить не только приборы и установки, например, микроволновые печи [1, 2], но и процессы исследования возможностей добычи нефти в труднодоступных местах [3]. Кроме того, СВЧ-излучение используют для разного рода исследований свойств веществ, например, воды [4, 5] или полупроводниковых приборов [6]. Обязательно также изучение воздействия СВЧ-излучения на биологические объекты [7, 8].

Для проведения исследований с использованием высокого напряжения необходимо познакомиться и обязательно выполнять правила техники безопасности: при работе надевать резиновые перчатки и резиновый коврик, а также эксперимент следует производить на достаточном расстоянии от СВЧ-антенны и за защитным экраном.

Изучение физики в техническом университете в соответствии с рекомендациями ФГОС ВО включает в себя студенческую проектную деятельность. Отметим, что проектная деятельность студентов МАДИ, развиваемая кафедрой физики [9], является наиболее эффективной педагогической технологией изучения не только теоретической части раздела физики, но и позволяет выполнить практические работы, исследовательскую часть проекта, сделать выводы. Наконец, по проекту студенты готовят доклады на студенческую конференцию [10] и учатся писать научные статьи. Представленное исследование представляет собой один из таких проектов.

Целью работы является исследование физического явления «СВЧ-излучение». Для достижения этой цели поставлены задачи: собрать СВЧ-излучатель; провести исследование влияния СВЧ-излучения на свойства воды, и на приборы – люминесцентную лампу и полупроводниковый радиоприемник.

Материалы и методы исследования

Для проведения исследования необходимы следующие компоненты: высоковольтный трансформатор; магнетрон; высоковольтный диод; конденсатор, емкостью 4 мкФ; антенна для фокусировки излучения; пирометр или термометр; стеклянная колба для воды; люминесцентные лампы; полупроводниковый радиоприемник.

Для проведения исследования собрана установка в соответствии со схемой СВЧ-излучателя, представленной на рис. 1.

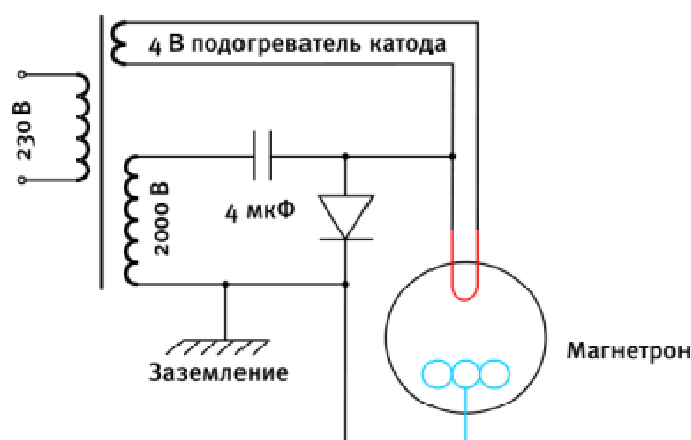


Рис. 1. Схема СВЧ-излучателя

На рис. 2 приведены фотографии практической реализации данной схемы.

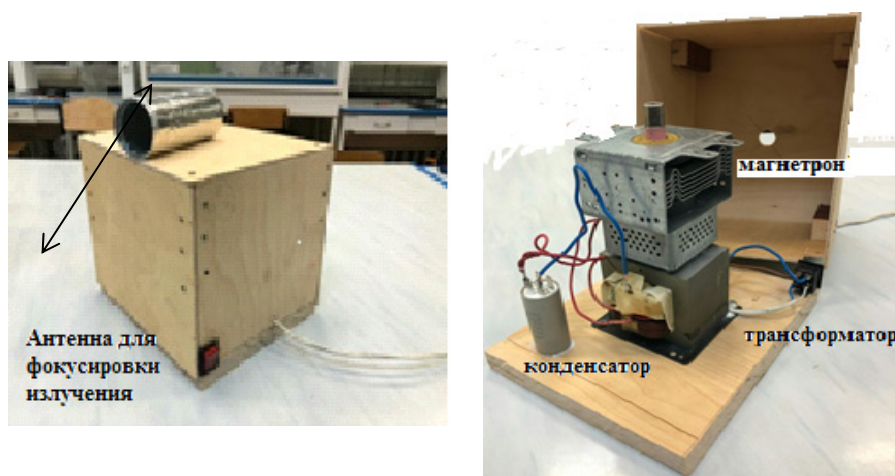


Рис. 2. Практическая реализация СВЧ-излучателя

В исследовании использовалось СВЧ-излучение мощностью 800 Вт и частотой 2450 МГц. При нагревании катода магнетрона из него вылетают электроны и в результате подведения электрического напряжения к системе катод-анод летят к аноду перпендикулярно оси магнетрона. Катод и анод представляют собой цилиндры разного диаметра: катод находится в центре и имеет меньший по сравнению с анодом диаметр. Кольцевые постоянные магниты, расположенные у анода, создают постоянное магнитное поле, которое заставляет электроны покидать прямолинейную траекторию и начать вращаться вокруг катода. Вращение вызывает электромагнитную волну, которая отнимает у электронов энергию при возникновении резонанса в системе «резонаторы анода – электроны». При резонансе фазовая скорость этой электромагнитной волны совпадает со скоростью вращения электронов вокруг катода. Возникшие в результате микроволны магнетрона выводятся из него благодаря волноводу и антенне.

Результаты исследования

1. Влияние СВЧ-излучения на воду в прозрачной колбе

Воду в прозрачной колбе объемом 100 мл ставили на разном расстоянии от магнетрона и фиксировали время, требуемое для закипания воды. Использовали визуальную информацию и секундомер с точностью измерения $\pm 0,01$ с. Результаты представлены в табл. 1 и на рис. 3.

Таблица 1

Изменение времени закипания воды при изменении расстояния до магнетрона

Расстояние до магнетрона, см	0	50	100	150	200
Время закипания воды, с	25,74	30,18	36,35	39,98	48,42

Вода представляет собой полярную молекулу с водородными связями (рис. 4).

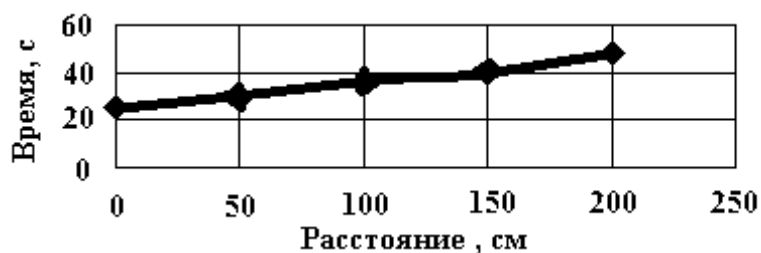


Рис. 3. Зависимость времени закипания воды от расстояния до магнетрона

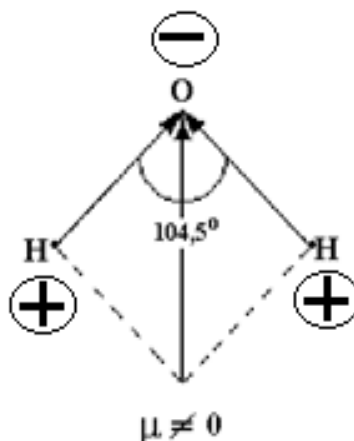


Рис. 4. Схема полярной молекулы воды – электрического диполя

Положительные и отрицательный заряды образуют электрический диполь, который создает собственное электрическое поле вокруг себя. Этот диполь ориентируется по силовым линиям электрического поля, создаваемого в магнетроне. Так как электромагнитное поле в магнетроне – переменное, то ориентирование (дипольный сдвиг) происходит также переменным образом, то есть молекулы все время поворачиваются на 180 градусов (примерно 6 миллиардов раз за 1 секунду), нагреваясь от превращения механической энергии в тепловую.

В результате дипольного сдвига молекул воды под воздействием СВЧ-излучения вода вскипает. Большинство продуктов имеют в своем составе молекулы воды. Именно дипольный сдвиг молекул воды и является принципом действия микроволновки.

Для обеспечения безопасности при использовании печей в быту в России действуют санитарные нормы для условий непрофессионального

облучения. Плотность потока энергии не должна превышать 10 мкВт/см^2 на расстоянии 50 см от любой точки корпуса печи при нагреве 1 л воды. Производители микроволновок тестируют свою продукцию и гарантируют безопасность ее функционирования.

2. Влияние СВЧ-излучения на люминесцентную лампу

Люминесцентная лампа представляет собой газоразрядную лампу, внутри которой находится инертный газ с парами ртути. Между электродами лампы возникает дуговой разряд, под действием которого атомы ртути испускают ультрафиолетовое излучение [11]. Это излучение, попадая на люминофор, которым покрыто внутреннее пространство лампы, в свою очередь, вызывает излучение в видимой области спектра. Наиболее часто в качестве такого люминофора используют галофосфаты кальция и ортофосфаты кальция-цинка.

Исследуемую люминесцентную лампу ставили на разном расстоянии от антенны СВЧ-излучателя. Яркость горения лампы оценивали по шкале от 1 до 10, где 1 – минимальная яркость, полученная в ходе эксперимента, а 10, соответственно, максимальная (табл. 2, рис. 5). Температура лампы после окончания опыта измеряли пирометром. Эта температура может быть указателем температуры горения в момент нахождения около магнетрона. Чем больше температура горения, тем больше мощность и световой поток. В эксперименте зажигание лампы происходило за счет создания электромагнитного излучения сверхвысокой частоты.

Таблица 2

Изменение параметров лампы при изменении расстояния до магнетрона

Расстояние до магнетрона, см	0	50	100	150	200
Температура лампы после окончания опыта °С	80,65	63,78	74,29	56,89	43,78
Яркость горения лампы (усл. ед.)	10	10	8	7	3

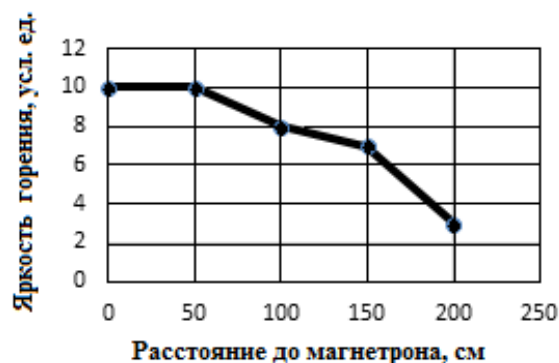


Рис. 5. Зависимость яркости горения лампы от расстояния до магнетрона

3. Влияние СВЧ-излучения на электроприборы

Обзор и результаты экспериментов и причины отказа полупроводниковых приборов под воздействием СВЧ-излучения приведены в [6] и, сделан вывод о том, что «СВЧ излучение осуществляет необратимый вывод из строя полупроводниковых приборов». Эксперимент настоящей работы имел наглядный характер. Положенный на расстоянии 3 м от СВЧ-антенны полупроводниковый радиоприемник практически сразу перестал функционировать, но при выключении антенны возобновил работу. После того, как полупроводниковый радиоприемник был помещен вплотную к антенне на короткое время, он прекратил работу и после выключения СВЧ-излучения этот радиоприемник восстановлению не подлежал.

Выводы

1. Высокочастотное электромагнитное излучение имеет высокий потенциал для изучения и использования. Уже полвека имеют широкое распространение бытовые приборы с использованием СВЧ-излучения (микроволновки).

2. Дипольный сдвиг молекулы воды под воздействием СВЧ-излучения является причиной и основой разогрева продуктов в микроволновке.

3. Горение лампы в СВЧ-излучении на расстоянии от антенны позволяет считать, что данный способ передачи энергии на расстояние может стать одним из перспективных в обозримом будущем.

Для России, огромной страны, куда зачастую затруднительно провести электроэнергию, мощные СВЧ-излучатели и антенны могут стать из фантазии реальностью.

4. Опасность СВЧ-излучения для живых организмов может быть использована для дезинфекции или уничтожения паразитов.

Список литературы

1. Латыш, Е. Микроволновка в роли бабайки смеяться разрешается. – URL: <https://mplast.by/novosti/2016-02-28-mikrovolnovka-v-rol-i-babayki-smeyatsya-razreshaetsya/> (дата обращения: 19.09.2018).
2. Микроволновые печи и безопасность их эксплуатации / В.П. Иваненко, А.Ф. Мусаев, В.В. Кузьмин, А.Б. Добряков, Р.А. Азаев, Н.А. Зуев // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2007. – № 1. – С. 53–56.
3. Усманова, Л.З. Использование эффекта дипольного сдвига для нагрева водосодержащих скважинных флюидов / Л.З. Усманова, А.А. Галимова, М.С. Ашин // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 12-5. – С. 960–963.
4. Журба, М.Г. Активация биофлокуляционных процессов водоподготовки в постоянном магнитном поле / М.Г. Журба, А.Н. Квартенко // Вода: химия и экология. – 2009. – № 3. – С. 20–27.
5. Electric Dipole Moments of Water Clusters from a Beam Deflection Measurement / R. Moro, R. Rabinovitch, C. Xia, V. Kresin // Physical Review Letters. – 2006. – Vol. 97, no. 12. – P. 123401.
6. Экспериментальные исследования воздействия импульсного СВЧ излучения на материалы / Н.С. Вернигоров, А.П. Саркисян, А.С. Сулакшин, Ю.П. Шаркеев // ИНФОРМОСТ «Радиоэлектроника и Телекоммуникации»-24. – 2002. – № 6. – С. 51–56.
7. Никулин, Р.Н. Исследование воздействия СВЧ-излучения низкой интенсивности на биологические объекты / Р.Н. Никулин // III Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь» – ИРЭ РАН, 26-30 октября 2009 г.
8. Environmental Health Criteria 16 (1981): Radiofrequency and Microwaves WHO. – Geneva, Switzerland. – URL: https://www.who.int/peh-emf/research/health_risk_assess/en/index2.html (дата обращения: 18.09.2018).
9. Ткачева, Т.М. Индивидуализация учебного процесса в техническом университете / Т.М. Ткачева, Г.Ю. Тимофеева // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2018 – № 2 (16). – С. 11.
10. Смык, А.Ф. История науки и техники как предмет исследовательской деятельности студентов младших курсов технического университета/ А.Ф. Смык, Ю.А. Белкова, Л.В. Спиридонова // Вестник МАДИ. – 2016. – № 2 (45). – С. 3–10.

11. Афанасьева, Е.И. Источники света и пускорегулирующая аппаратура: учебник для техникумов / Е.И. Афанасьева, В.М. Скобелев. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 272 с.

References

1. URL: <https://mplast.by/novosti/2016-02-28-mikrovolnovka-v-rol-i-babayki-smeyatsya-razreshaetsya/>
2. Ivanenko V.P., Musaev A.F., Kuzmin V.V., Dobryakov A.B., Azaev R.A., Zuev N.A. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO, Seriya, Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv*, 2007, no. 1, pp. 53–56.
3. Usmanova L.Z., Galimova A.A. *Fundamentalnye issledovaniya*, 2015, no. 12-5, pp. 960–963.
4. Zhurba M.G., Kvartenko A.N. *Voda: himiya i ekologiya*, 2009, no. 3, pp. 20–27.
5. Moro R., Rabinovitch R., Xia C., Kresin V. Electric Dipole Moments of Water Clusters from a Beam Deflection Measurement, *Physical Review Letters*, 2006, vol. 97, no. 12, p. 123401.
6. Vernigorov N.S., Sarkisian A.P., Sulakshin A.S., Shakreev Yu.P. *INFORMOST “Radioelektronika i Telekomunikatsii”-24*, 2002, no. 6, pp. 51–56.
7. Nikulin R.N. *III Vserossiiskaya konferentsiya “Radiolokatsiya i Radiosvyaz”*, IRE RAN, 2009.
8. URL: https://www.who.int/peh-emf/research/health_risk_assess/en/index2.html
9. Tkacheva T.M., Timofeeva G.Yu. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*, 2018, no. 2 (16), p. 11.
10. Smyk A.F., Belkova Yu.A., Spiridonova L.V. *Vestnik MADI*, 2016, no. 2 (45), pp. 3–10.
11. Afanas'eva E.I., Skobelev V.M. *Istochniki sveta i puskoreguliruyushchaya apparatura* (Light sources and start-control equipment), Moscow, Energoatomizdat, 1986, 272 p.