

ДЕМОНСТРАЦИЯ ЗАКОНА КИРХГОФА ДЛЯ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В КУРСЕ АТОМНОЙ ФИЗИКИ ВУЗА

1. Подробное изучение экспериментальных и теоретических законов теплового (температурного) излучения играет важную роль в вузовском курсе физики для физико–математических, химических, биологических и технических специальностей. Теория температурного излучения Планка сыграла историческую роль в развитии физики начала XX века, а именно в ней впервые возникли квантовые представления, которые в дальнейшем развились в стройную, всеохватывающую теорию микропроцессов – современную квантовую механику и квантовую теорию поля. Тепловым излучением называется излучение, вызванное нагреванием тел. Оно существует при любых температурах отличных от 0 К и имеет непрерывный спектр. Вследствие того, что интенсивность температурного излучения увеличивается с возрастанием температуры тела, оно является единственным видом излучения, которое может находиться в равновесии с излучающими телами [1–5]. Равновесному (термодинамическому) излучению свойственны определенные закономерности, в частности закон, который был установлен в 1859 г. известным немецким физиком Г. Кирхгофом и носит его имя. Этот закон является точным количественным обобщением правила, эмпирически установленного П. Прево ранее.

Введем спектральную излучательную способность тела $E(w, T)$ – мощность теплового излучения с единичной поверхности тела в единичном спектральном интервале $(w, w + \Delta w)$, при данной температуре T , и спектральную поглощательную способность тела $A(w, T)$, которая показывает долю энергии излучения данной частоты, поглощаемую телом, при данной температуре T . Для абсолютно черного тела (АЧТ) $A \equiv 1$ при любых частотах излучения и температурах. Спектральную излучательную способность АЧТ обозначим через $e(w, T)$. Кирхгоф, поместив два тела, одно из которых АЧТ, в замкнутую адиабатическую оболочку с абсолютно отражающими внутренними стенками, теоретически на основе законов равновес-

ной термодинамики получил:
$$\frac{E(w, T)}{A(w, T)} = e(w, T) \quad (1),$$
 где $e(w, T)$ является универсальной

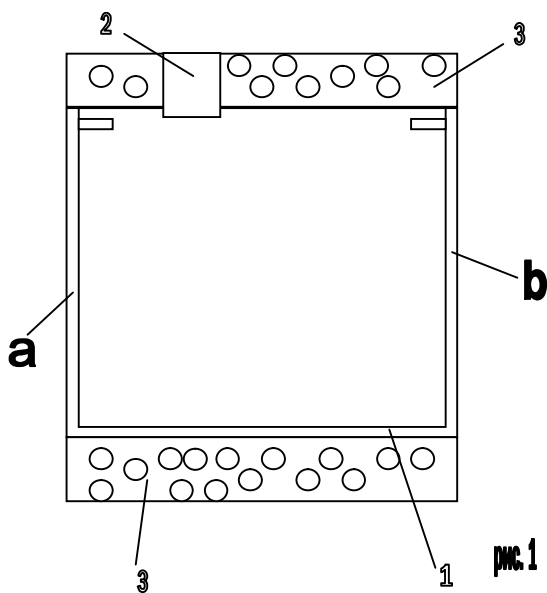
функцией частоты и температуры. Из данного закона вытекает чрезвычайно важное следствие: всякое тело при данной температуре имеет излучательную способность тем больше, чем больше его поглощательная способность ($E(w, T) = e(w, T) \cdot A(w, T)$). Так как величина $A(w, T)$ не может быть больше единицы, то при одной и той же температуре абсолютно черное тело обладает наибольшей излучательной способностью. Также из закона Кирхгофа следует, что всякое тело при данной температуре излучает преимущественно лучи таких длин волн, которые оно при той же температуре сильнее всего поглощает [3].

Нами предложена лекционная демонстрация закона Кирхгофа при помощи так называемого кубика Лесли [4].

ЛЕСЛИ Джон (Leslie John) (16.IV.1766 - 3.XI.1832) — шотландский физик-экспериментатор и математик, член Лондонского королевского общества (1807). Родился в Ларго. Учился в университете Сент-Андрюса и в Эдинбургском университете. Затем занимался литературными работами и переводами в Лондоне. С 1804 - профессор математики, а с 1819 -

физики Эдинбургского университета. Физические работы посвящены теплоте и молекулярной физике. Изобрел дифференциальный термометр и так называемый кубик Лесли, которые использовал для изучения тепловой радиации. Положил начало количественному исследованию лучеиспускательной и поглощательной способностей тел. Получил относительные значения лучеиспускательной способности различных тел (по отношению к саже), подтвердил положение П. Прево, что сильно излучающие тела имеют соответственно и большую поглощательную способность, и наоборот; доказал зависимость лучеиспускания от направления (1804). Изучал количество тепла, получаемое земной поверхностью от Солнца. Проверил формулу Лапласа для капиллярного давления. Предложил метод получения искусственно-го льда (1817). Построил гигрометр, фотометр.

2. Нами изготовлен демонстрационный прибор, так называемый “Кубик Лесли” (рис. 1). Демонстрационный прибор представляет собой металлический куб $20 \times 20 \times 20$ см (калориметр) (1), из листовой стали толщиной 1,2 мм. Сосуд снабжен металлической крышкой с пенопластовым покрытием (3) толщиной 3 см, с отверстием для термометра (2). Калориметр ставится на пенопластовый термоизолятор (3) толщиной 2 см. Стенка **a** кубика представляет собой металлическое зеркало ($A(w, T) \ll 1$), причем зеркальная поверхность приготовлена путем длительной последовательной шлифовки шлифовальной бумагой, а затем отполирована войлоком и пастой “ГОИ”. Противоположная стенка кубика **b** представляет собой зачерненную поверхность с $A(w, T) \approx 1$ (модель абсолютно черного тела). При помощи пульверизатора на стенку нанесен равномерный жидкий слой, толщиной 0,5 мм, следующего состава: грунтовка по металлу однокомпонентная и древесная сажа в равных долях.



Нами установлено, что полное отвердевание слоя **b** требует 24 часа. Демонстрация данного закона, из которого следует, что при достижении термодинамического равновесия теплового излучения с излучающими поверхностями интенсивность излучения стенки **b** должна быть значительно больше интенсивности излучения стенки **a**. Предварительно нагрев приблизительно 6 литров воды до температуры 363K (T_0), вливают ее в кубик и закрывают крышкой. Для установления интервала времени, в течение которого приблизительно наступает термодинамическое равновесие, нами была исследовано изменение температуры воды в процессе остывания от времени, которое подчиняется теоретической зависимости

$$T - T_K = (T_0 - T_K)e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (2),$$

где T_0 - начальная температура воды в кубике, T_K - температура воздуха в помещении, T - температура воды в кубике в данный момент времени, t - время в сек, τ - постоянная, характеризующая процесс остывания данной системы.

Оказалось, что приблизительно через 100 минут резкий экспоненциальный спад функции $y = (T - T_K)$ прекращается, что свидетельствует о постепенном наступлении термоди-

намического равновесия между излучением и излучающей системой. В качестве приемников излучения мы использовали два термостолбика, вплотную придвинутых к стенкам **a** и **b**. Возникающие ЭДС термостолбиков измерялись при помощи микровольтнаноамперметров Ф136 со световыми индикаторами.

Результаты эксперимента действительно показали, что интенсивность излучения, идущего от стенки **b**, в 15 раз превосходит интенсивность излучения, идущего от стенки **a** ($U_b = 6mV$, $U_a = 0,4mV$).

На наш взгляд, данная демонстрация, которая была апробирована на лекции, посвященной излучению абсолютно черного тела в курсе квантовой физики, убедительно показывает справедливость закона Кирхгофа.

Авторы выражают благодарность Андрееву М. Г. за техническую помощь при изготовлении демонстрационного прибора.

Литература

1. Э. В. Шпольский. Атомная физика. т. 1. – Москва: Изд-во “Высшая школа”, 1987.
2. Р. В. Поль. Оптика и атомная физика. – Москва: Изд-во “Наука”, 1966.
3. Д. В. Сивухин. Общий курс физики. Оптика. – Москва: Изд-во “Наука”, 1980.
4. М. И. Корсунский. Оптика. Строение атома. Атомное ядро. – Москва: Изд-во “Наука”, 1960.
5. Ю. Б. Румер, М. Ш. Рывкин. Термодинамика. Статистическая физика и кинетика. – Москва: Изд-во “Наука”, 1977.