

АКТИВИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ПО ФИЗИКЕ ПУТЁМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.

Синяков Г.Н., Храмович Е.М., Тараканов А.Н

ИИТ БГУИР, Минск, Беларусь, МГВРК, Минск, Беларусь, G.Sinyakov@mail.ru

Компьютерные технологии в настоящее время становятся неотъемлемой частью целостного образовательного процесса. Они позволяют значительно повысить эффективность усвоения материала, способствуют увеличению интереса студентов к предмету.

Использование компьютерных программ в учебном процессе дает возможность студенту глубже осмыслить физическое явление, проанализировать течение физического процесса при изменении параметров, наглядно убедиться в справедливости физических законов.

В решении задач активизации процесса обучения преподаватель может эффективно использовать сетевые возможности.

Тема «Тепловое излучение» является важнейшим звеном в разделе «Квантовая физика». Тепловое излучение, являясь самым распространенным в природе, свойственно всем телам при температуре выше абсолютного нуля. Исследование теплового излучения сыграло важную роль в создании квантовой теории света.

Как известно [1,2], М. Планк построил теорию теплового излучения и вывел закон распределения спектральной плотности энергии излучения для черного тела. Формула Планка для спектральной плотности энергетической светимости $r_{\nu,T}$ в шкале частот имеет вид:

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi \cdot h \cdot \nu^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (1)$$

Наряду с величиной $r_{\nu,T}$ спектральную плотность энергетической светимости характеризуют также величиной $r_{\lambda,T}$, показывающей распределение энергии излучения по длинам волн и выражаемой формулой:

$$r_{\lambda,T} = \frac{2\pi \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{kT\lambda}} - 1} \quad (2).$$

В формулах (1-2) применены следующие обозначения: c – скорость света, k – постоянная Больцмана, T – термодинамическая температура излучающего абсолютно черного тела, ν – частота излучения, λ – длина волны излучения, h – постоянная Планка.

Эмпирические законы излучения черного тела могут быть выведены из формул (1), (2).

Закон Стефана-Больцмана.

Энергетическая светимость R_e черного тела пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры T :

$$R_e = \sigma T^4 \quad (3)$$

где σ – постоянная Стефана Больцмана.

Законы смещения Вина:

1. Длина волны λ_{\max} , на которую приходится максимум в спектре излучения черного тела, обратно пропорциональна температуре T

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} \quad (4)$$

В формуле (4) постоянная первого закона Вина $b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$.

2. Максимальное значение $r_{\lambda_{\max}}$ излучательной способности, т.е. спектральной плотности энергетической светимости, возрастает пропорционально пятой степени термодинамической температуры

$$r_{\lambda_{\max}} = C \cdot T^5 \quad (5)$$

где $C = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ Вт}/(\text{м}^3 \text{К}^5)$ – постоянная второго закона Вина.

Закон Рэлея–Джинса.

Исходя из представлений статистической физики о равномерном распределении энергии по степеням свободы, Рэлей и Джинс получили формулу для спектральной плотности энергетической светимости черного тела в шкале частот

$$r_{\nu, T} = \frac{2\pi \cdot \nu^2}{c^2} kT \quad (6)$$

Эта формула согласуется с экспериментом только для малых частот и высоких температур.

Из формул М. Планка (1,2) получаются как внешняя форма законов (3-6), так и входящие в них фундаментальные физические постоянные σ , b , C .

Тема представляется достаточно сложной для студентов. Для более полного и глубокого осмысления темы мы разработали задание с использованием компьютерного расчёта спектральных характеристик чёрного тела [3,4]. Студентам предлагается с помощью расчётов убедиться в справедливости законов теплового излучения, получить на экране монитора персонального компьютера графики зависимости $r_{\lambda, T}$ от длины волны λ для различных абсолютных температур T и графики $r_{\nu, T}$ от частоты ν для различных температур T , а также исследовать динамику изменения графиков при изменении расчётных параметров. Это можно сделать с помощью компьютерной программы на основе заложенной в неё формулы Планка (1,2). Для расчетов использовалась математическая система РТС MathCad 14 [5]. Данная система достаточно проста как в освоении, так и в использовании. Она является удобным и наглядным средством описания алгоритмов решения математических задач.

На адрес своей электронной почты каждый студент получает вариант задания с индивидуальным набором параметров.

Задания включали в себя следующие пункты:

Проверка закона смещения Вина.

На экране монитора персонального компьютера было необходимо получить график спектральной плотности энергетической светимости $r_{\lambda, T}$ в зависимости от длины волны λ для фиксированной температуры T (рисунок 1). По графику определяется длина волны λ_{\max} , на которую приходится максимум в спектре излучения черного тела и максимальная спектральная плотность энергетической светимости $r_{\lambda_{\max}}$ для нескольких температур в интервале, указанном каждому студенту. Затем нужно построить графики зависимости:

а) длины волны λ_{\max} , на которую приходится максимум в спектре излучения абсолютно черного тела, от величины обратной термодинамической температуре $1/T$;

б) максимальной спектральной плотности энергетической светимости $r_{\lambda_{\max}}$ от температуры в пятой степени T^5 .

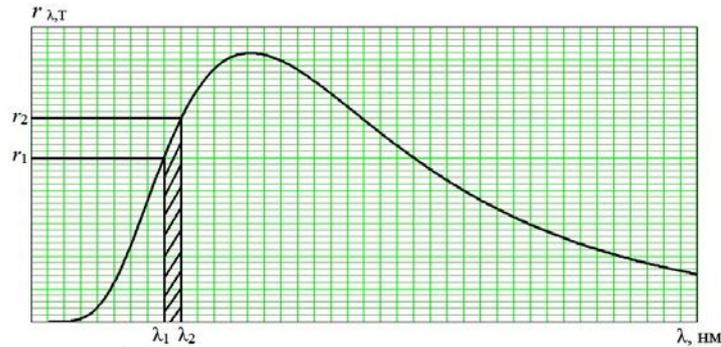


Рисунок 1- Зависимость спектральной плотности излучения от длины волны.

Из графиков необходимо определить постоянную первого закона b и постоянную второго закона Вина C . Рассчитав постоянные b и C и сравнив их с теоретическими значениями, легко убедиться в справедливости выполнения законов смещения Вина.

Расчет энергетической светимости и проверка закона Стефана-Больцмана.

В этом задании вначале по формуле Стефана-Больцмана с помощью калькулятора рассчитывалась энергетическая светимость черного тела R_e для исходной температуры в соответствии с вариантом. С другой стороны, энергетическая светимость R_e характеризует интенсивность суммарного излучения абсолютно черного тела (излучение во всем спектральном диапазоне) и может быть вычислена интегрированием выражения $(r_{\lambda,T} d\lambda)$ по всем длинам волн:

$$R_e = \int_0^{\infty} r_{\lambda,T} d\lambda$$

Проводился компьютерный расчет энергетической светимости с помощью интегралов. Результаты расчётов двумя способами сопоставлялись.

Определение излучательной способности в узком спектральном интервале.

Из графика для заданной температуры (Рисунок 1) определялась излучательная способность тела $(r_{\lambda,T} d\lambda)$ в определённом интервале длин волн. Приближенно можно считать, что в узком спектральном интервале спектральная плотность энергетической светимости $r_{\lambda,T}$ линейно зависит от длины волны λ . Поэтому излучательная способность в узком спектральном интервале $(r_{\lambda,T} d\lambda)$ приближенно численно равна площади трапеции, ограниченной значениями λ_1, λ_2 и r_1, r_2 (см. рисунок 1).

Вначале необходимо рассчитать площадь трапеции с помощью калькулятора. Затем провести компьютерный расчёт в этом же интервале длин волн с помощью определенного интеграла $\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} r_{\lambda,T} d\lambda$. Прodelать аналогичные расчеты в узком спектральном интервале частот ν_1 и ν_2 , соответствующих длинам волн λ_1 и λ_2 , используя график зависимости спектральной плотности энергетической светимости черного тела $r_{\nu,T}$ от частоты ν (рисунок 2) и определенный интеграл $\int_{\nu_1}^{\nu_2} r_{\nu,T} d\nu$. Провести анализ полученных результатов и сделать вывод об излучательной способности черного тела в узком спектральном интервале.

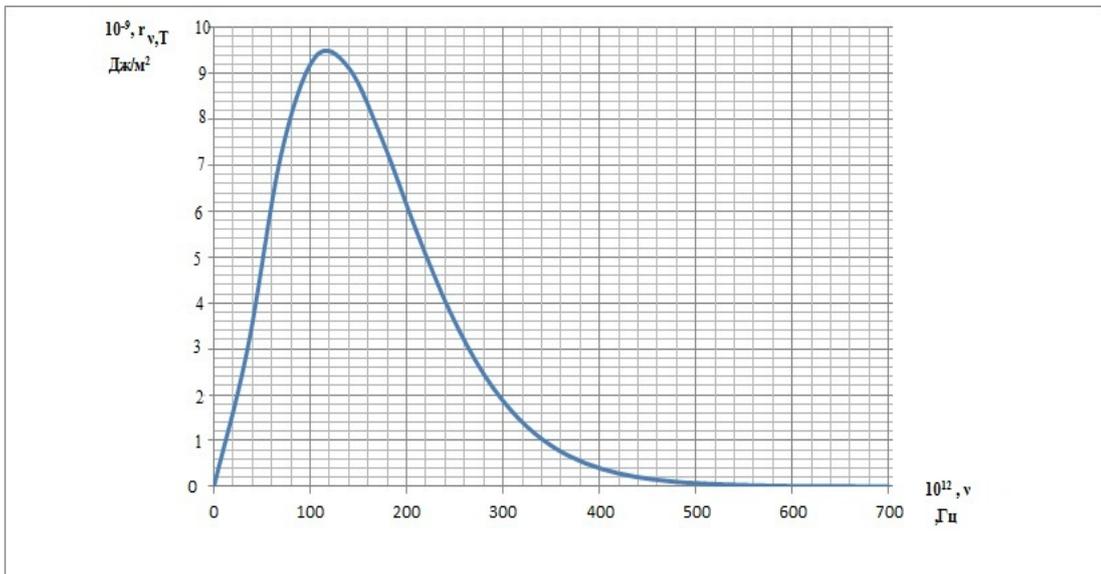


Рисунок 2 - Зависимость спектральной плотности излучения от частоты, рассчитанной по формуле Планка.

Сопоставление результатов расчетов по формулам Планка и Рэля-Джинса.

В задании необходимо определить спектральную плотность излучательной способности для одной и той же частоты из графиков, построенных по формулам Планка (1), используя рисунок 2, и Рэля-Джинса (2), используя рисунок 3, для исходной температуры в соответствии с вариантом.

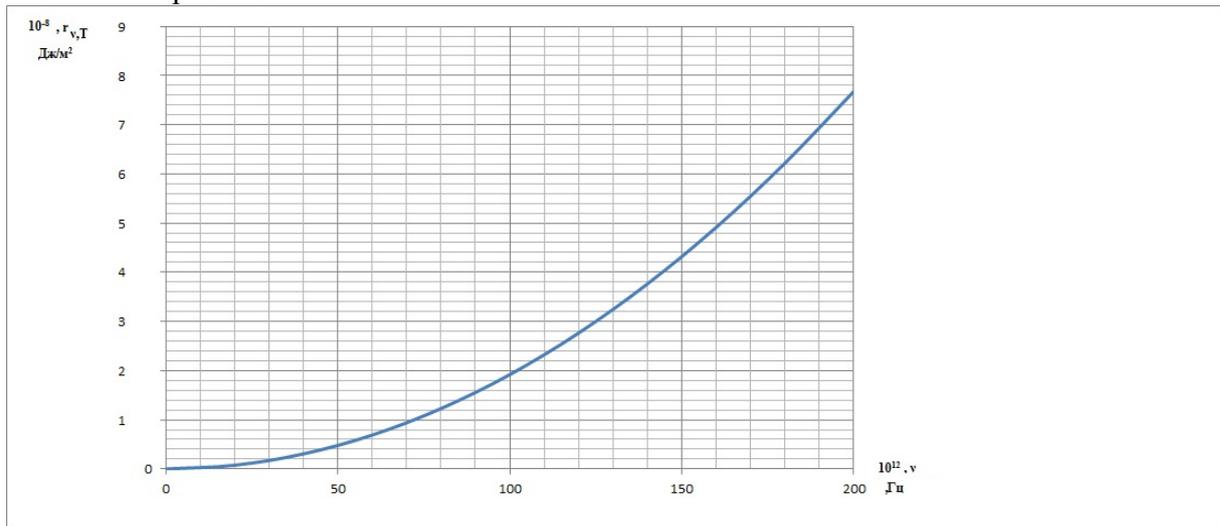


Рисунок 3 - Зависимость спектральной плотности излучения от частоты, рассчитанная по формуле Рэля-Джинса.

Определить разницу в спектральной излучательной способности Δr . Прodelать это для различных частот ν (6-7 значений). Построить график Δr от ν . Для иллюстрации график зависимости расхождения Δr от частоты ν для одного из вариантов приведен на рисунке 4. По графику необходимо проанализировать характер зависимости расхождения Δr от частоты ν .

В заключительной части работы студенты должны ответить на контрольные вопросы и сделать выводы по результатам работы.

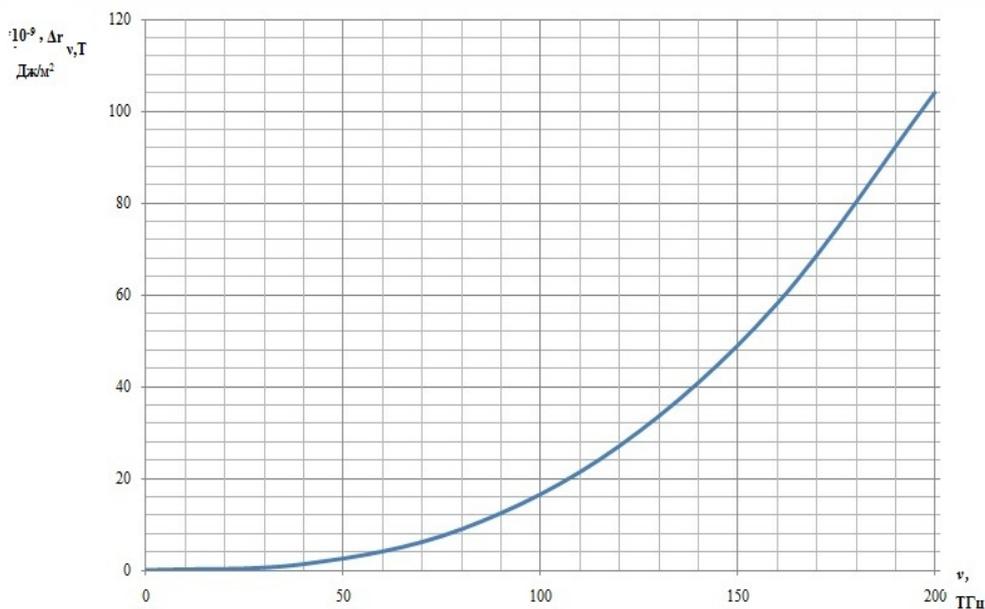


Рисунок 4 - График зависимости расхождения $\Delta\gamma$ от частоты ν .

Результаты апробации работы в ИИТ БГУИР на факультете компьютерных технологий и МГВРК на отделениях электроники и программирования показали её высокую эффективность. Оставшись «один на один» с заданием, студент должен мобилизовать все свои знания и умения для того, чтобы осознать цель, применить творчество, произвести необходимые выкладки, проверить их правильность, ответить на вопросы, сделать выводы. Следует подчеркнуть, что навыки профессиональной мыслительной деятельности формируются в ходе самостоятельной работы учащихся. Однако положительный эффект достигается лишь тогда, когда студенты достаточно подготовлены к самостоятельной работе, когда весь предыдущий их опыт делает работу посильной как по содержанию, так и по степени сложности заданий. Этот опыт накапливается в ходе аудиторной работы, направляемой и контролируемой преподавателем.

Литература

1. Дмитриева В.Ф., Прокофьев В.Л. Основы физики: учеб. пособие. М., 2003.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. М., 2002.
3. Г.Н.Синяков, А. И. Болсун. Овладение навыками расчетов спектральных характеристик теплового излучения на физическом практикуме. Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы радиоэлектроники: научные исследования, подготовка кадров». МГВРК, Минск, 2-3 июня 2005, т. 3, с 189-194.
4. Г.Н.Синяков, Е.М. Храмович. Компьютерный расчет спектроскопических характеристик теплового излучения. Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Инженерно-педагогическое образование: проблемы и пути развития». МГВРК, Минск, 16-17 мая 2013, т.2, с.23-25.
5. <http://rutracker.org/forum/viewtopic.php?t=3530250>

