

**КВАНТОВАЯ ПРИРОДА
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ**

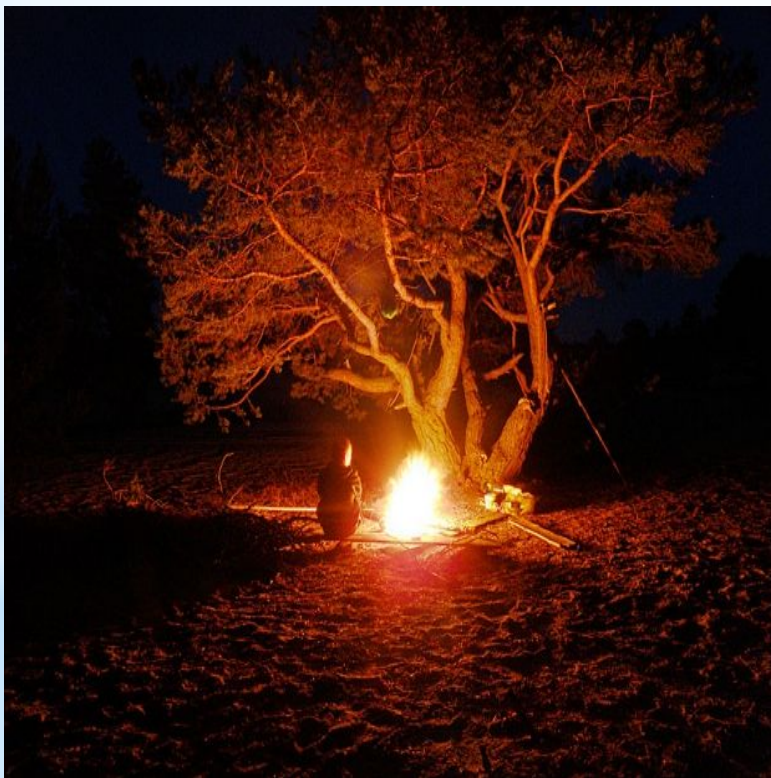
Лекция 1

СОДЕРЖАНИЕ

- **ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ .ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**
- **МОДЕЛЬ АБСОЛЮТНО ЧЕРНОГО ТЕЛА**
- **ЗАКОНЫ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**
 - Закон Кирхгофа
 - Закон Стефана-Больцмана
 - Закон Вина
- **ФОРМУЛА РЭЛЕЯ-ДЖИНСА**
- **КВАНТОВАЯ ГИПОТЕЗА и формула ПЛАНКА**

ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ



- Тела, нагретые до достаточно высоких температур, светятся.
- Свечение тел – *тепловое излучение*.
- Совершается за счет энергии теплового движения атомов и молекул
- Свойственно телам при любой температуре, кроме температуры равной абсолютному нулю (0 К).
- Имеет сплошной спектр частот, максимум которой зависит от температуры. При высоких температурах излучаются короткие (видимые и ультрафиолетовые) электромагнитные волны, при низких – преимущественно длинные (инфракрасные)

Поток энергии Φ_{ε} , испускаемый единицей поверхности излучающего тела в единицу времени во всех направлениях называется энергетической светимостью тела (R_{ε}). $[R_{\varepsilon}] = \text{Вт/м}^2$

$$R_{\varepsilon} = \Phi_{\varepsilon} / S$$

Количественной характеристикой теплового излучения служит **спектральная плотность энергетической светимости (излучательности) тела** – мощность излучения с единицы площади поверхности тела в интервале частот единичной ширины:

$$R_{\nu, T} = \frac{dW_{\nu, \nu+d\nu}^{\text{изл}}}{d\nu},$$

- $dW_{\nu, \nu+d\nu}^{\text{изл}}$ — энергия электромагнитного излучения, испускаемого за единицу времени (мощность излучения) с единицы площади поверхности тела в интервале частот от ν до $\nu + d\nu$.
- Единица спектральной плотности энергетической светимости — джоуль на метр в квадрате в секунду (Дж/(м²·с)).

Записанную формулу можно представить в виде функции длины волны:

$$dW_{\nu, \nu+d\nu}^{\text{изл}} = R_{\nu, T} d\nu = R_{\lambda, T} d\lambda.$$

Так как $c = \lambda \nu$, то

$$R_{\nu, T} = R_{\lambda, T} \frac{\lambda^2}{c}.$$

Зная спектральную плотность энергетической светимости, можно вычислить интегральную энергетическую светимость), просуммировав по всем частотам:

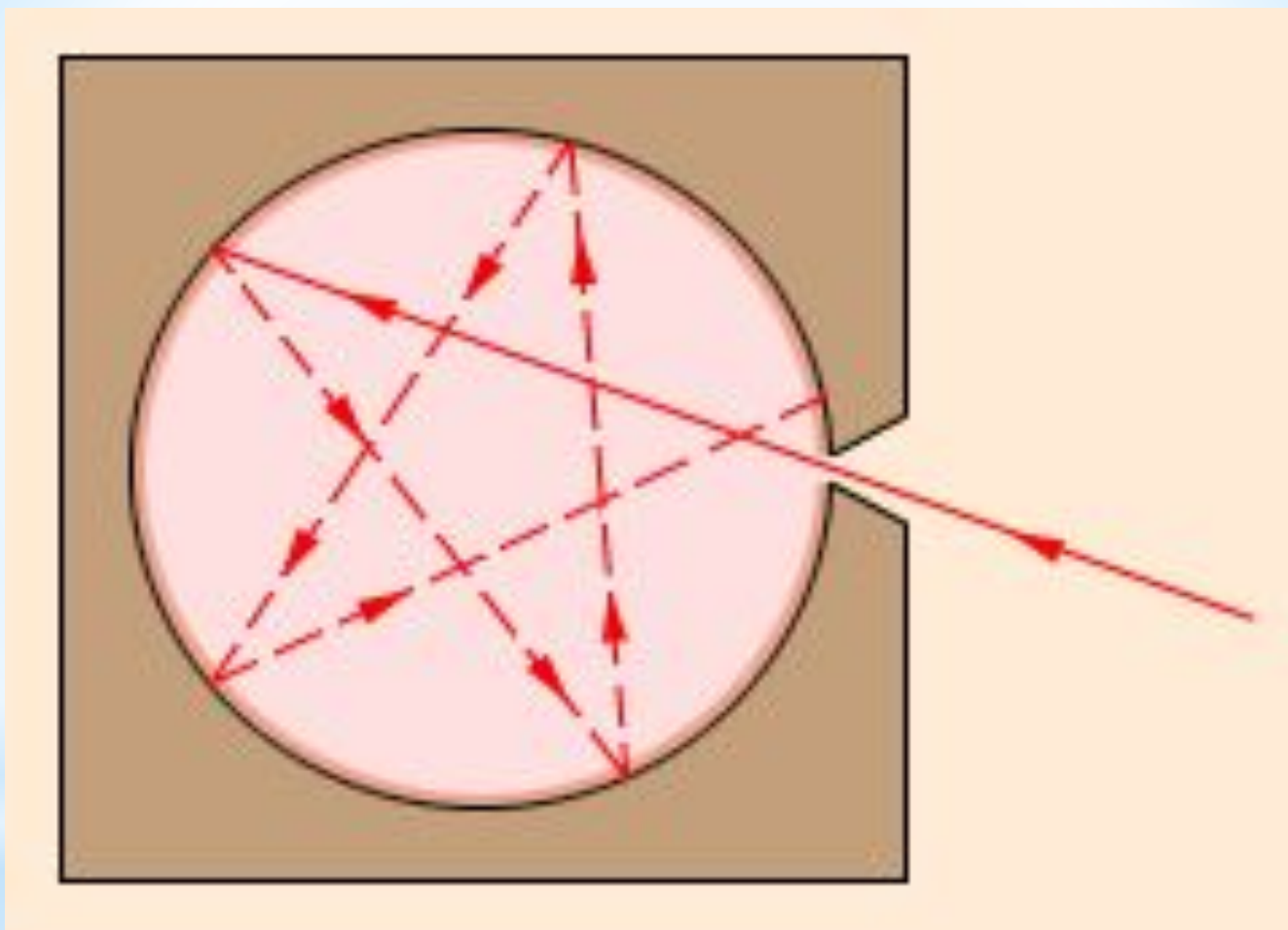
$$R_T = \int_0^{\infty} R_{\nu,T} d\nu.$$

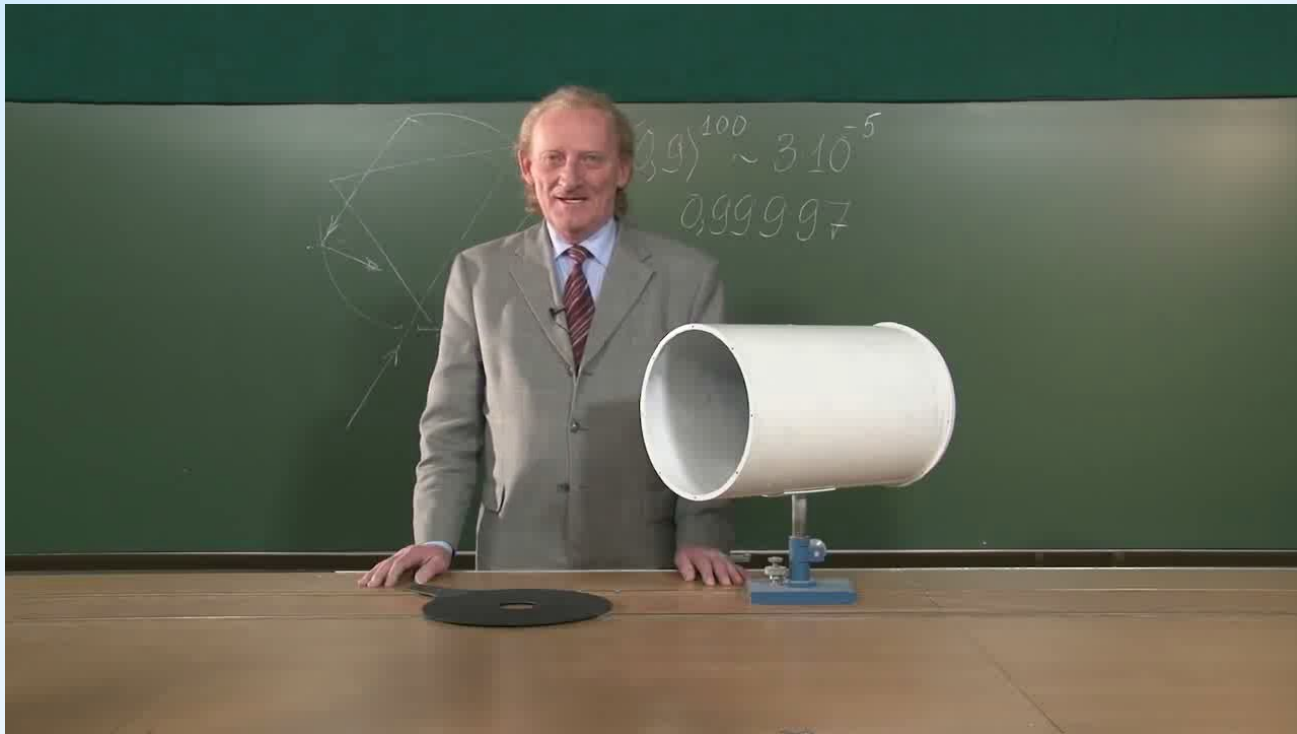
Способность тел поглощать падающее на них излучение характеризуется **спектральной поглощательной способностью**, показывающей, какая доля энергии, приносимой за единицу времени на единицу площади поверхности тела падающими на нее электромагнитными волнами с частотами от ν до $\nu + d\nu$, поглощается телом.

$$A_{\nu,T} = \frac{dW_{\nu,\nu+d\nu}^{погл}}{dW_{\nu,\nu+d\nu}},$$

Величины $R_{\nu,T}$ и $A_{\nu,T}$ зависят от природы тела, его термодинамической температуры и при этом различаются для излучений с различными частотами

МОДЕЛЬ АБСОЛЮТНО ЧЕРНОГО ТЕЛА





Законы теплового излучения

Закон Кирхгофа

$$\frac{R_{\nu,T}}{A_{\nu,T}} = r_{\nu,T}.$$

Для черного тела $A_{\nu,T} = 1$, поэтому из закона Кирхгофа вытекает, что для черного тела

$$R_{\nu,T} = r_{\nu,T}.$$

Таким образом, универсальная функция Кирхгофа $r_{\nu,T}$ есть спектральная плотность энергетической светимости черного тела.

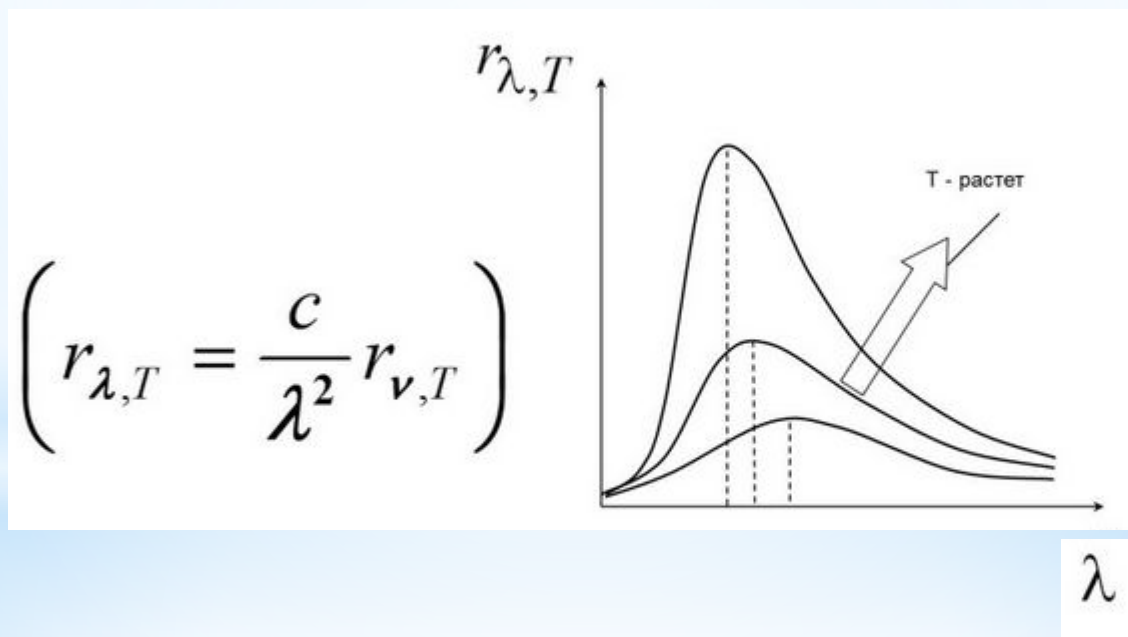
Излучение, которое закону Кирхгофа не подчиняется, не является тепловым.

Закон Стефана-Больцмана

$$R_e = \sigma T^4,$$

σ — постоянная Стефана, равная $5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴).

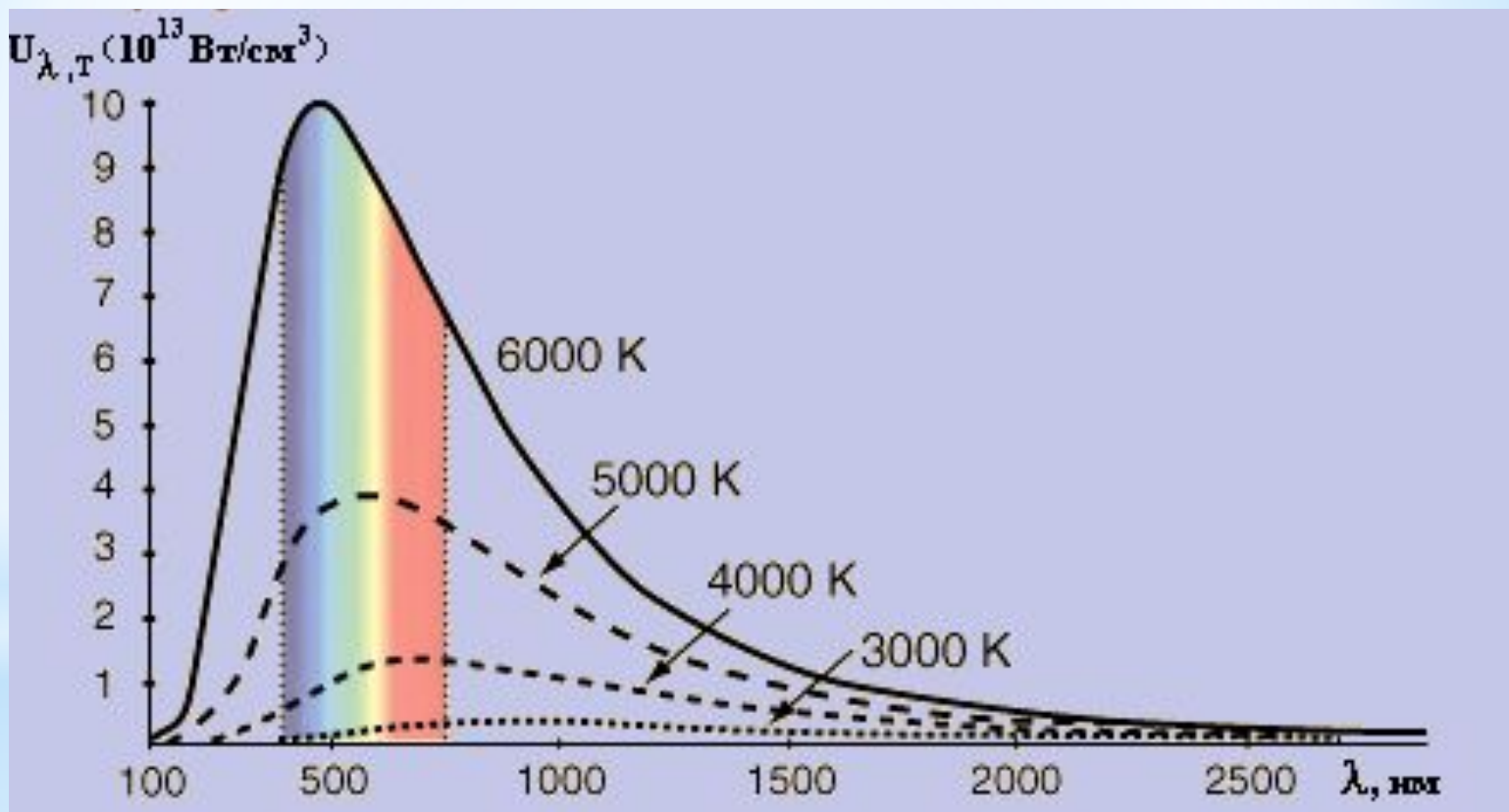
СПЕКТРАЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ ЭНЕГЕТИЧЕСКОЙ СВИТИМОСТИ АБСОЛЮТНО ЧЕРНОГО ТЕЛА



Закон смещения Вина

$$\lambda_{\max} = b/T, \quad \frac{\nu_{\max}}{T} = c/b$$

b — постоянная Вина: ее экспериментальное значение равно $2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$.



Формула Рэля-Джинса

Задача о спектральной плотности энергии теплового излучения является основной в теории излучения.

Строгое решение этой задачи дали

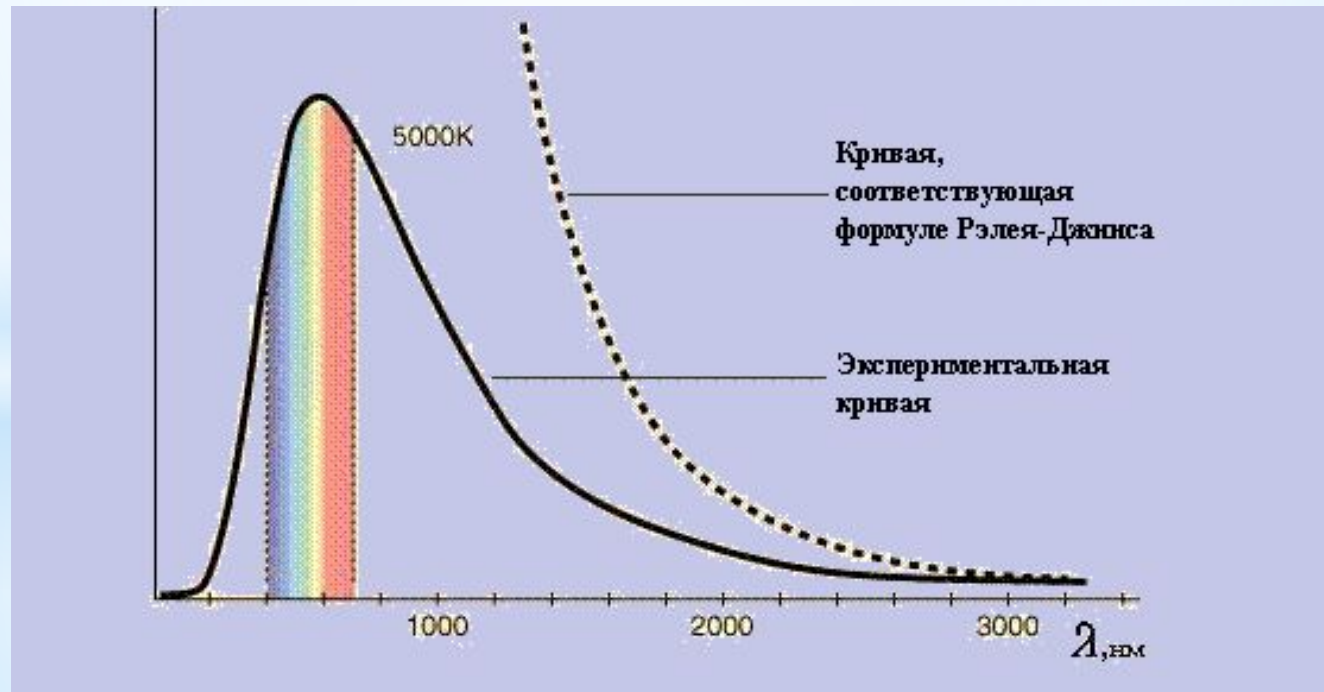
Рэлей (Стретт) Джон Уильям и Джинс Джеймс Хопвуд



Которые исходя из представлений классической физики о равномерном распределении энергии по степеням свободы получили выражение для спектральной плотности энергетической светимости черного тела

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \langle \varepsilon \rangle = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT,$$

где $\langle \varepsilon \rangle = kT$ — средняя энергия осциллятора с собственной частотой ν



Вычисленная энергетическая светимость абсолютно черного тела

$$R_e = \int_0^{\infty} r_{\nu, T} d\nu = \frac{2\pi kT}{c^2} \int_0^{\infty} \nu^2 d\nu = \infty,$$

В то время как по закону Стефана-Больцмана она пропорциональна четвертой степени температуры.

Этот результат получил название **«ультрафиолетовой катастрофы»**, так как с точки зрения классической физики вывод Рэля-Джинса был сделан безупречно



ν

Квантовая гипотеза и формула Планка

$$\varepsilon_0 = h\nu = hc/\lambda,$$

$h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Дж·с — постоянная Планка.

Так как излучение испускается порциями, то энергия осциллятора может принимать лишь определенные дискретные значения, кратные целому числу элементарных порций энергий

$$\varepsilon = nh\nu$$

$$(n = 0, 1, 2, \dots).$$

Исходя из гипотезы о квантах света, М. Планк предложил формулу для спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела

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

Эта формула точно согласуется с экспериментальными данными во всем интервале частот от 0 до ∞ и температур. Из формулы М. Планка вытекают законы Стефана-Больцмана и Вина.

Формула Планка является полным решением основной задачи теплового излучения, поставленной Кирхгофом.

Работы М. Планка положили начало атомистической теории излучения, которая переросла затем в квантовую теорию.

Кванты излучения различной частоты обладают различными энергиями.

Квант электромагнитного излучения, относящийся к оптическому диапазону спектра, называется **фотоном**.

Теоретический вывод формулы Макс Планк изложил 14 декабря 1900 года на заседании Немецкого физического общества.



Открытие постоянной Планка и связанной с ней идеи квантования ознаменовало рождение

КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ

*** 1. Длина волны (λ), соответствующая максимуму спектральной плотности излучательности (энергетической светимости) абсолютно черного тела (T), уменьшилась в 4 раза. Как при этом изменилась температура тела?**

- * 1. Увеличилась в 2 раза**
- * 2. Уменьшилась в 2 раза**
- * 3. Уменьшилась в 4 раза**
- * 4. Увеличилась в 4 раза**

***2. Модели излучающих и поглощающих тел:**

*

- *1. материальная точка и абсолютно черное тело
- *2. серое тело и абсолютно черное тело
- *3. абсолютно твердое тело и абсолютно белое тело
- *4. абсолютно твердое тело и упругое тело

*** 3. Закон Кирхгофа для теплового излучения:**

*

* 1. $R = T$

* 2. $(r) = b T$

* 3. $R =$

* 4. $= f(, T)$

*** 4. Мощность излучения шара радиусом 10 см при некоторой температуре равна 1 кВт. Определить эту температуру (в К), считая шар серым телом с коэффициентом поглощения 0,25. ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴)).**

*

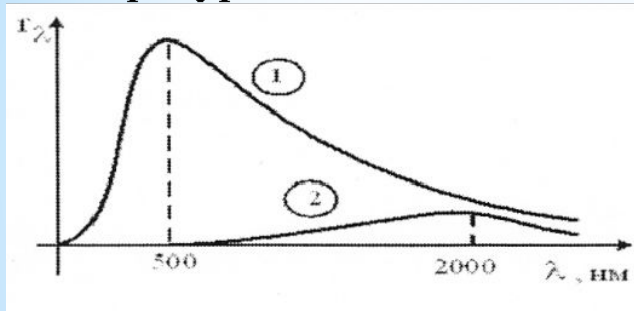
* 1. 500

* 2. 866

* 3. 355

* 4. 725

5. На рисунке показаны зависимости спектральной плотности излучательности (энергетической светимости) абсолютно черного тела от длины волны при разных температурах.



Если длина волны, соответствующая максимуму излучения, уменьшилась в 4 раза, то температура абсолютно черного тела:

1. увеличилась в 2 раза
2. уменьшилась в 4 раза
3. уменьшилась в 2 раза
4. увеличилась в 4 раза

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА И ИНТЕРНЕТ - РЕСУРСЫ

1. Иродов И.Е. Квантовая физика. Основные законы: Учебное пособие для вузов.- М.: Лаборатория базовых знаний, 2001 – 272 с.
2. Джанколи Д. Физика .- М.: Мир, 1998, т.2. - 667 с.
3.
<http://www.docme.ru/doc/518803/kvantovaya-priroda-izlucheniya>
4. <http://intra.kspu.karelia.ru/~theorph/Тепловое%20Izluch.htm>