Сегодня: *

Краткий курс лекций по физике

Кузнецов Сергей Иванович
доцент к. ОФ ЕНМФ ТПУ

900igr.net

x

Тема 1. КВАНТОВАЯ ПРИРОДА ИЗЛУЧЕНИЯ

1.1. Тепловое излучение и люминесценция

1.2. Закон Кирхгофа

1.3. Закон Стефана-Больцмана

1.4. Закон смещения Вина

1.5. Формула Рэлея-Джинса

1.6. Теория Планка

1.1. Люминесценция и тепловое излучение

Тепловое излучение – ***электромагнитное излучение, испускаемое веществом возникающее за счет его внутренней энергии.***

Все другие виды свечения (излучения света), возбуждаемые за счет любого другого вида энергии, кроме теплового, называются ***люминесценцией***:

хемилюминесценция

электролюминесценция

фотолюминесценция

Опыт показывает, что единственным видом излучения, которое может находиться в равновесии с излучающими телами, является тепловое излучение.

1.2. Закон Кирхгофа

Поток энергии**, **испускаемый единицей поверхности излучающего тела в единицу времени во всех направлениях ***называется энергетической светимостью тела (R)***

$[R] = \text{Вт/м}^2$.

$$dR_{\omega,T} = r_{\omega,T} d\omega \qquad (1.2.1)$$

$r_{\omega,T}$ ***-спектральная плотность*** энергетической светимости или ***лучеиспускательная способность тела.***

Таким образом, $r_{\omega,T}$ - есть функция ω и T соответственно и $R_{\omega,T} = f(\omega, T)$; $[r_{\omega,T}] = \text{Дж/м}^2$

x

Энергетическая светимость:

$$R_T = \int_0^\infty dR_{\omega,T} = \int_0^\infty r_{\omega,T} d\omega \qquad (1.2.2)$$

или

$$R_T = \int_0^\infty r_\lambda d\lambda$$

$$\alpha_{\omega,T} = \frac{d\Phi'_\omega}{d\Phi_\omega} \quad \frac{погл.}{пад.}$$

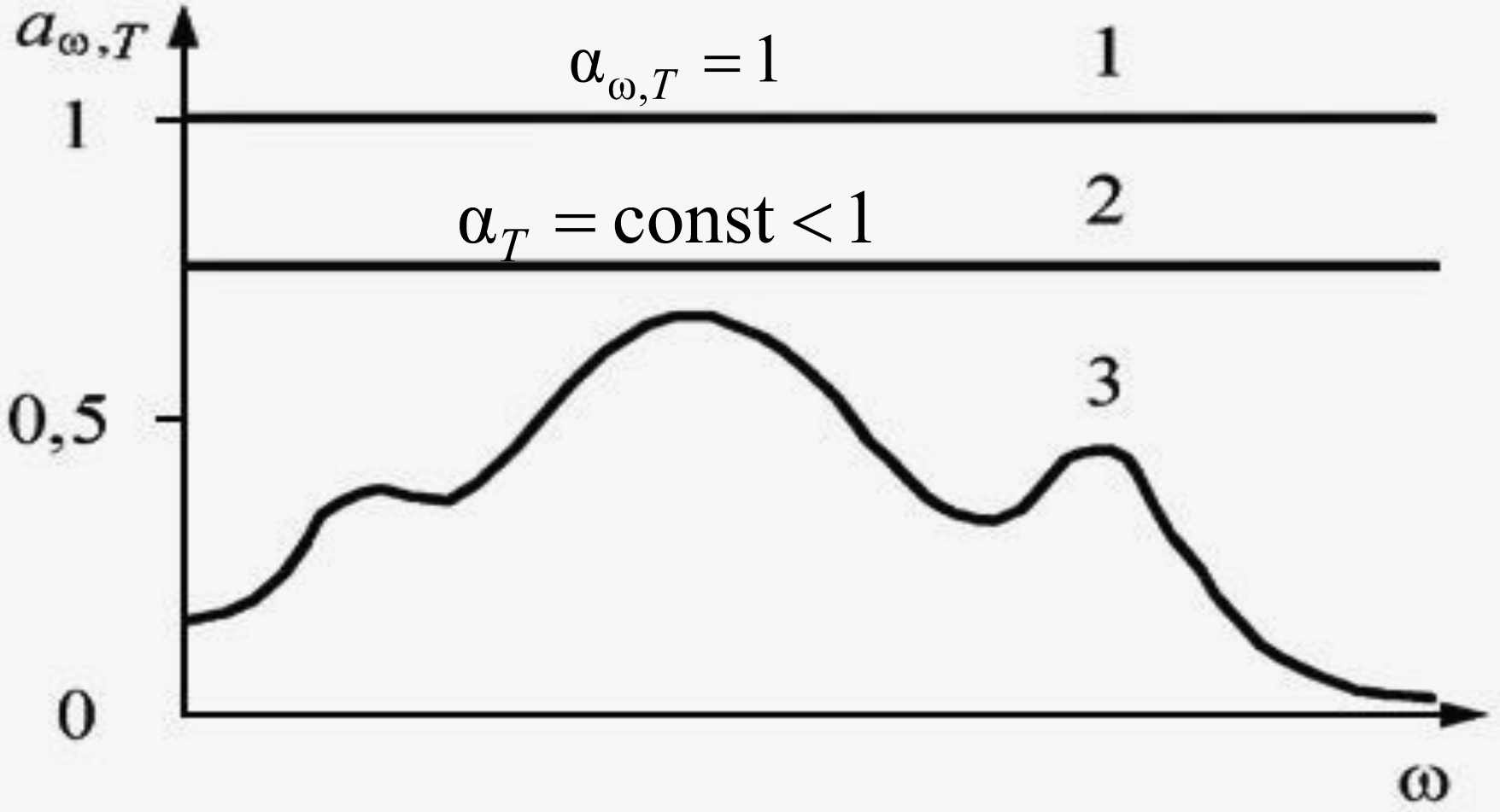
поглощательная способность тела.

Для тела, полностью поглощающего излучения всех частот $\alpha_{\omega,T} = 1$

$\alpha_{\omega,T} = 1$ ***- абсолютно черное тело.***

$\alpha_T = \text{const}$ ***и меньше единицы - серое тело.***

Реальное тело всегда отражает часть энергии падающего на него излучения

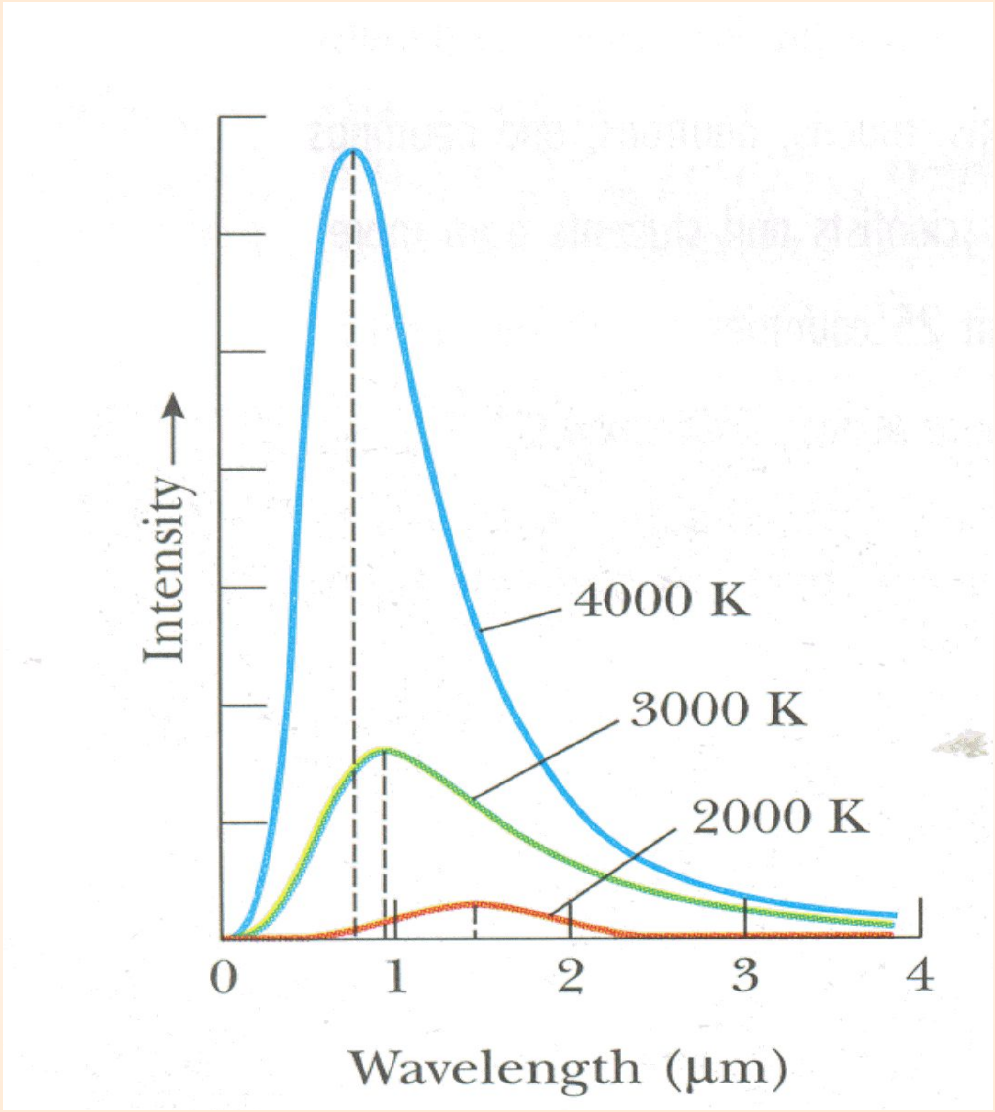


Спектральная поглощательная способность тела:

1 − абсолютно черное тело; 2 − серое тело;

3 − реальное тело

Спектры излучения



Излучение абсолютно черного тела. Непрерывный спектр.

Типы спектров:
непрерывные

Основная проблема – понять наблюдаемое распределение излучения испускаемого черным тел по длинам волн.

x

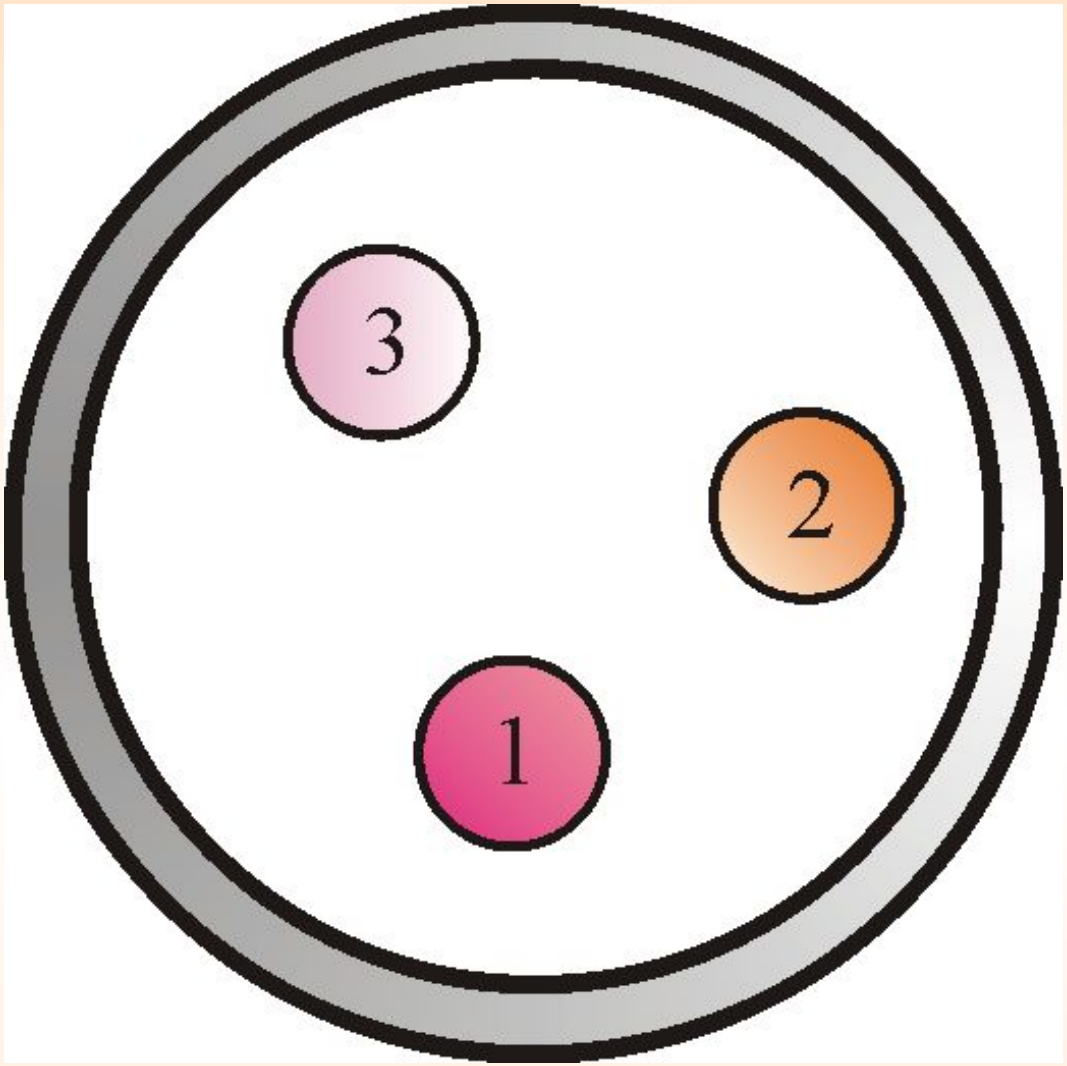


Рисунок 1.1

Такая система через некоторое время придет в состояние теплового равновесия

Кирхгоф Густав Роберт (1824 – 1887) – немецкий физик. Работы посвящены электричеству, механике, гидродинамике, математической физике, оптике, гидродинамике.

Построил общую теорию движению тока в проводниках. Развил строгую теорию дифракции. Установил один из основных законов теплового излучения, согласно которому отношение испускательной способности тела к поглощательной не зависит от природы излучающего тела (закон Кирхгофа).

Густав Кирхгоф в 1856 году сформулировал закон (он же в 1862 году ***предложил модель абсолютно черного тела***).

x

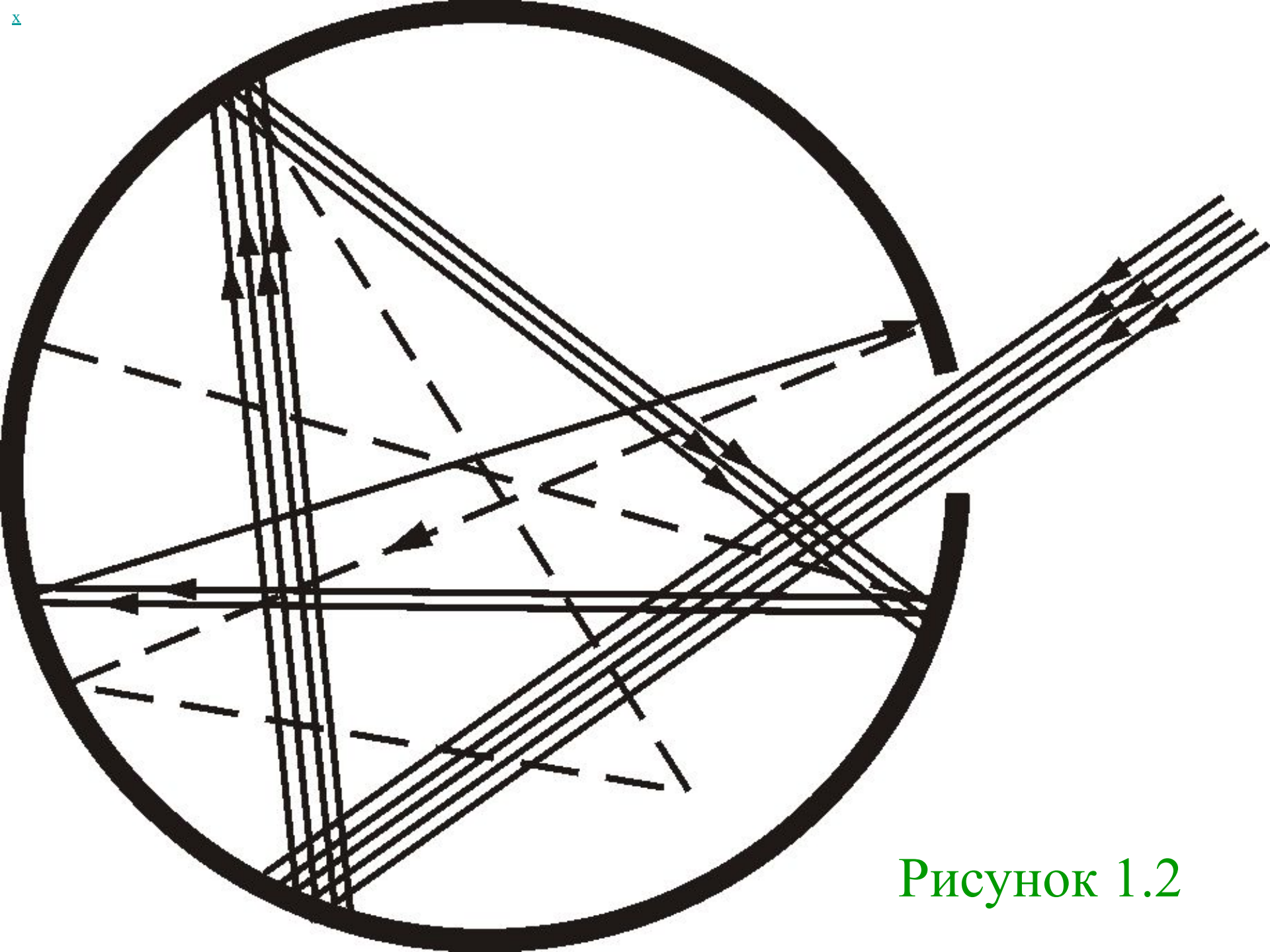


Рисунок 1.2

x

Отношение испускательной к поглощательной способности не зависит от природы тела, оно является для всех тел одной и той же универсальной функцией частоты и температуры:

$$\frac{r_{\omega,T}}{\alpha_{\omega,T}} = f(\omega, T) \qquad (1.2.3)$$

– ***универсальная функция Кирхгофа***

Сажа или платиновая чернь имеют поглощающую способность $\alpha_{\omega,T} \approx 1$

Разлагая это излучение в спектр можно найти экспериментальный вид функции $f(\omega, T)$

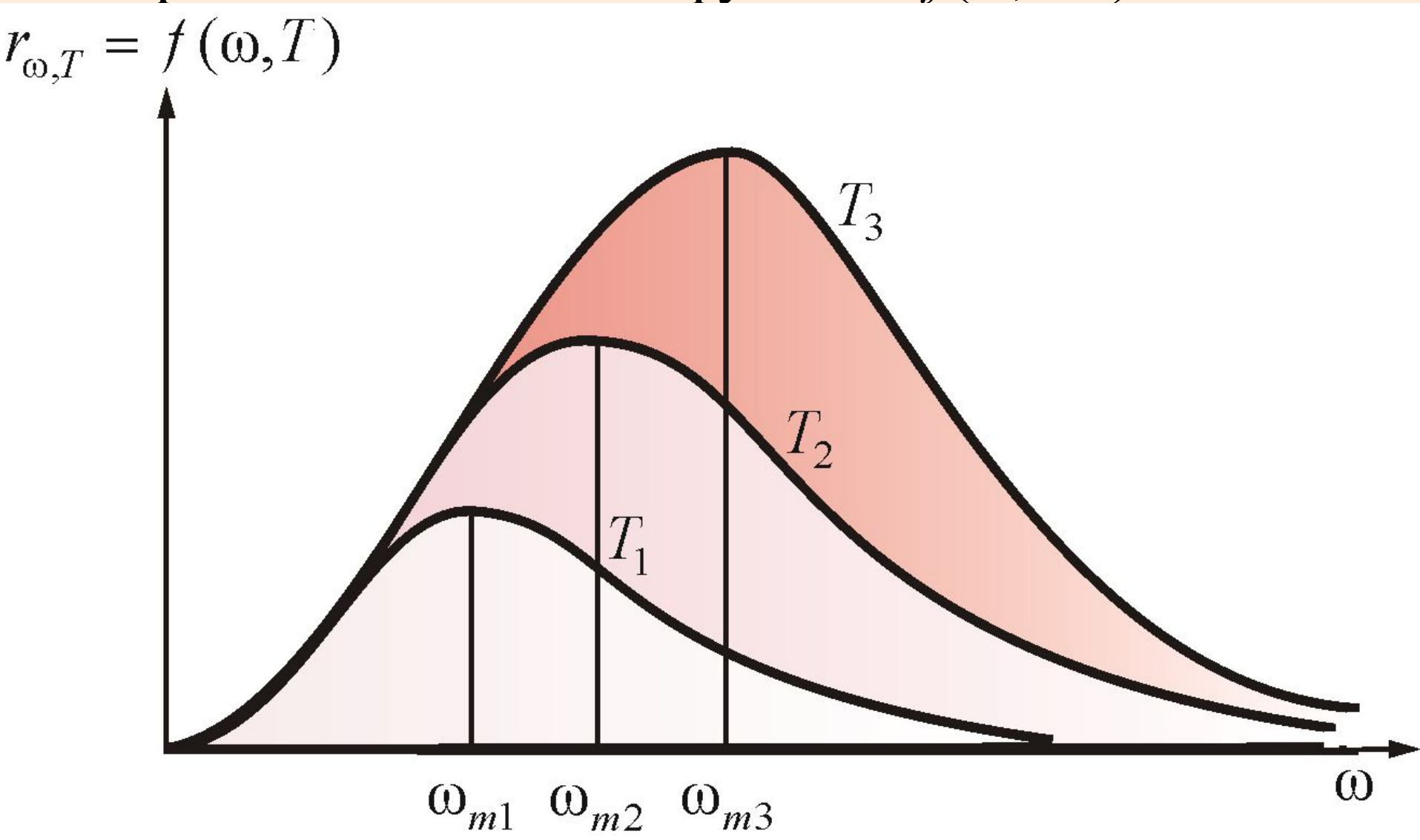


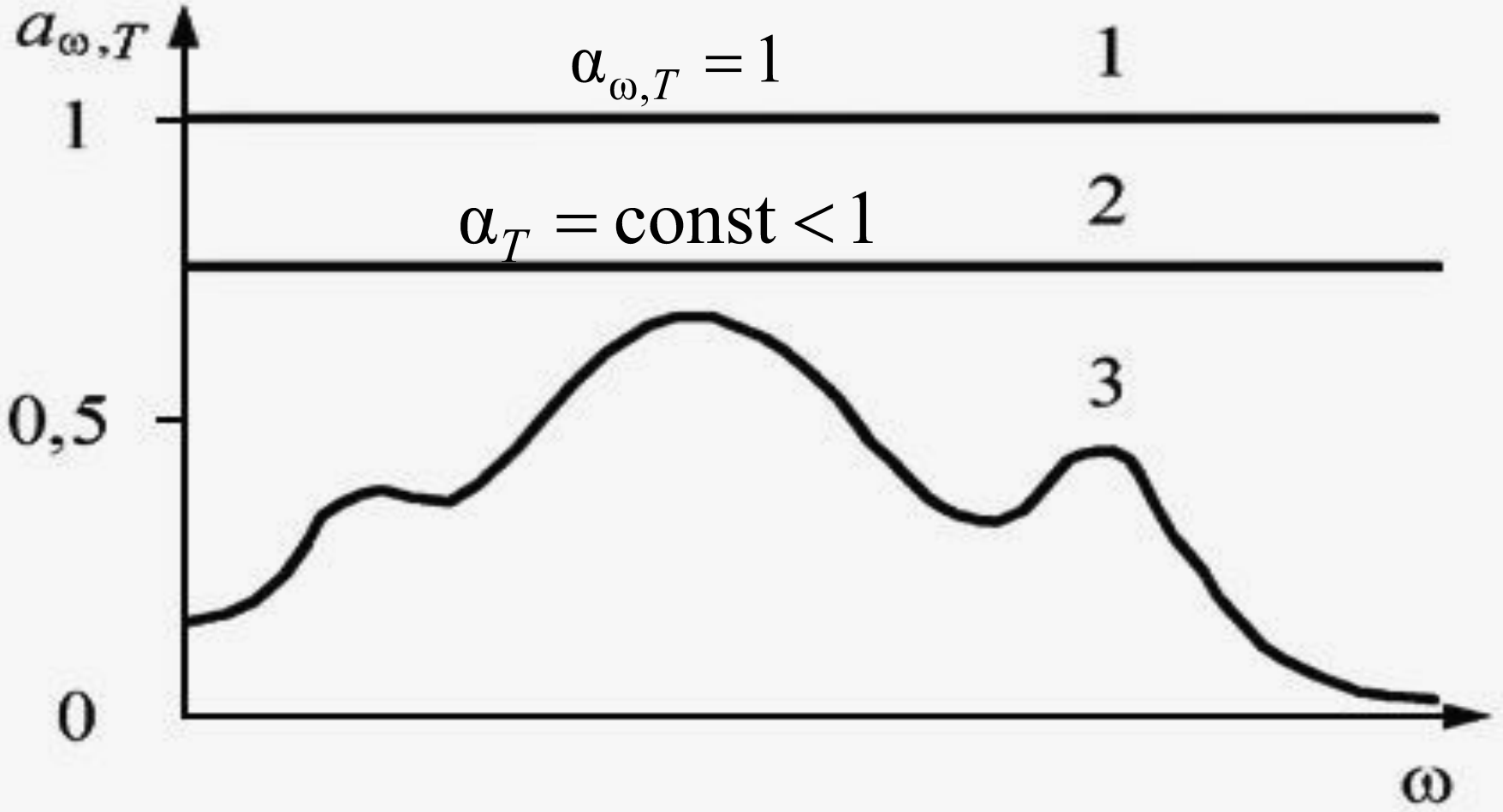
Рисунок 1.3

По определению $a_{\omega,T}$ не может быть больше единицы.

Тело, у которого $a_{\omega,T}$ меньше единицы и одинакова по всему диапазону частот, называют *серым телом*.

Тело, у которого $a_{\omega,T}$ равно единицы- *абсолютно черное тело*

Реальное тело всегда отражает часть энергии падающего на него излучения (рис. 2).



Спектральная поглощательная способность тела:

1 – абсолютно черное тело; 2 – серое тело; 3 – реальное тело всегда отражает часть энергии падающего на него излучения.

1.3. Закон Стефана-Больцмана

Австрийский физик **Стефан** в 1879 году анализируя экспериментальные данные, пришел к выводу, что энергетическая светимость *любого* тела пропорциональна T^4.

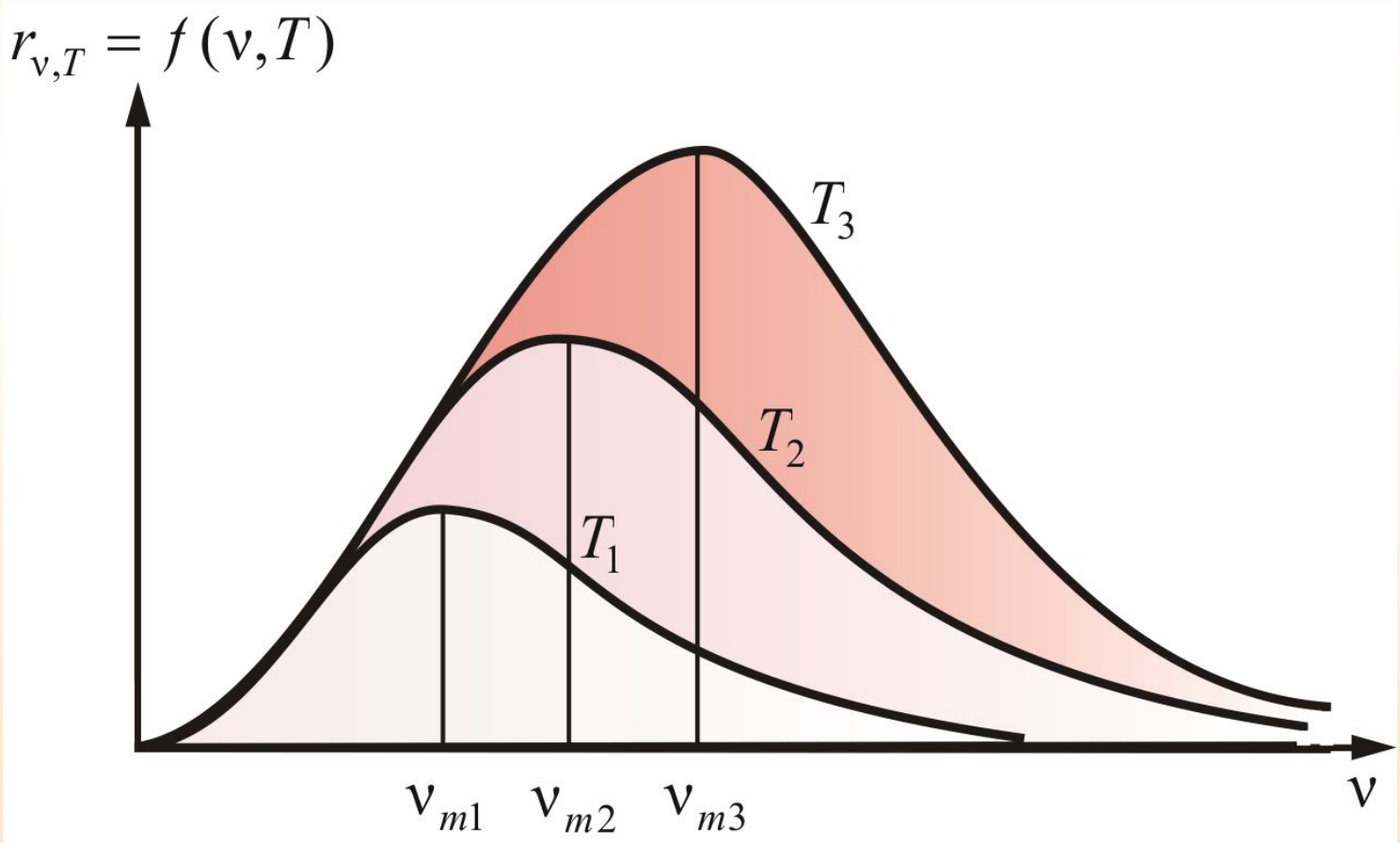
Больцман Людвиг (1844 – 1906) – австрийский физик-теоретик, один из основоположников классической статической физик. Основные работы в области кинетической теории газов, термодинамики и теории излучения. Вывел основное кинетическое уравнение газов, являющееся основой физической кинематики. Впервые применил к излучению принципы термодинамики.

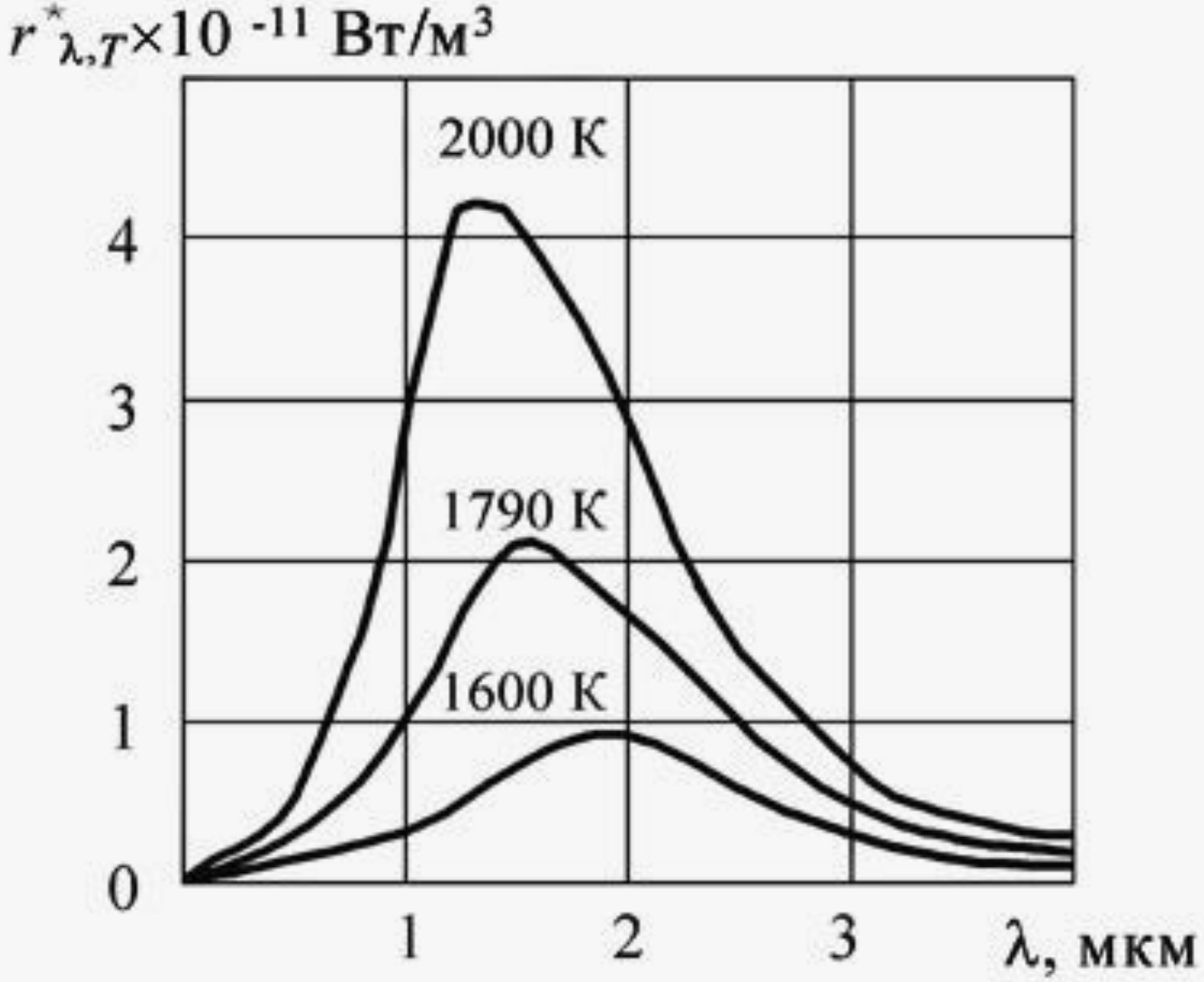
Позднее Больцман, применив термодинамический метод к исследованию черного излучения, показал, что это справедливо только для *абсолютно черного тела*.

Площадь над кривой $r_{\omega,T} = f(T)$ равна

$$R = \sigma T^4$$ – ***закон Стефана-Больцмана***

$\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}$ Вт $\cdot$ м$^{-2} \cdot$ К$^{-4}$ – постоянная Стефана-Больцмана.





Спектральная испускательная способность абсолютно черного тела

x

1.4. Законы смещения Вина

В 1893 году немецкий ученый Вильгельм Вин рассмотрел задачу об *адиабатическом* сжатии черного излучения цилиндрическом сосуде.

При вдвижении поршня энергия излучения единицы объема (плотность энергии) будет возрастать по двум причинам:

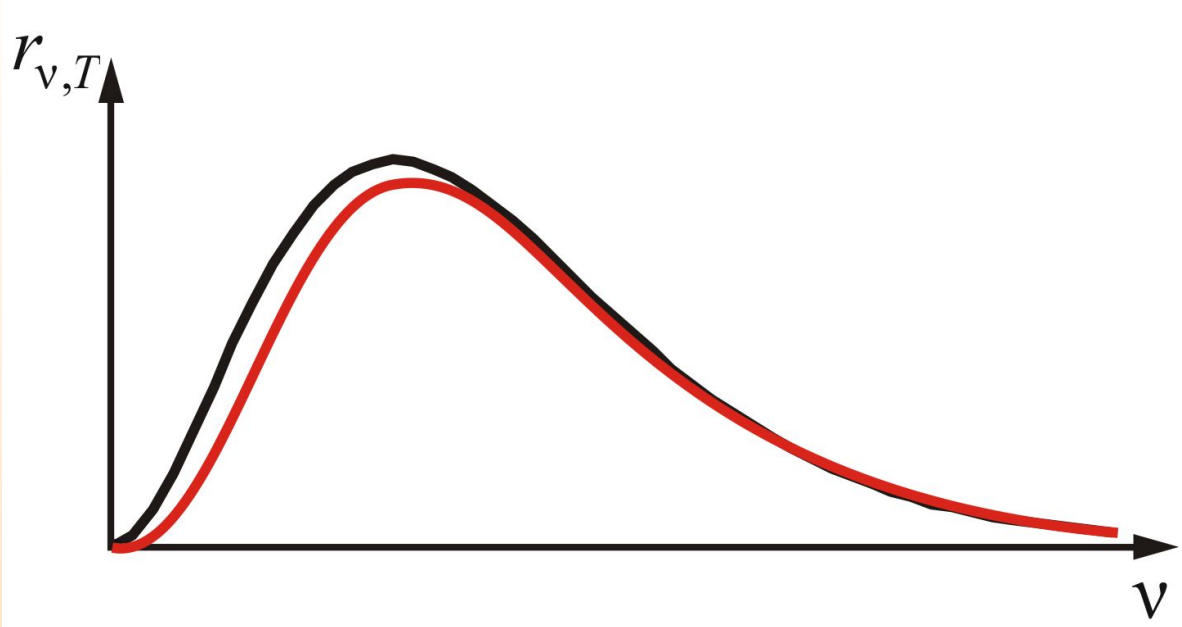
- за счёт уменьшения объема (общая величина энергии постоянна);
- за счёт работы совершаемой поршнем против давления излучения.

Но в силу эффекта Доплера (увеличение частоты излучения, отраженного от движущегося поршня) движение поршня приводит к изменению частоты излучения.

Окончательно Вин получил:

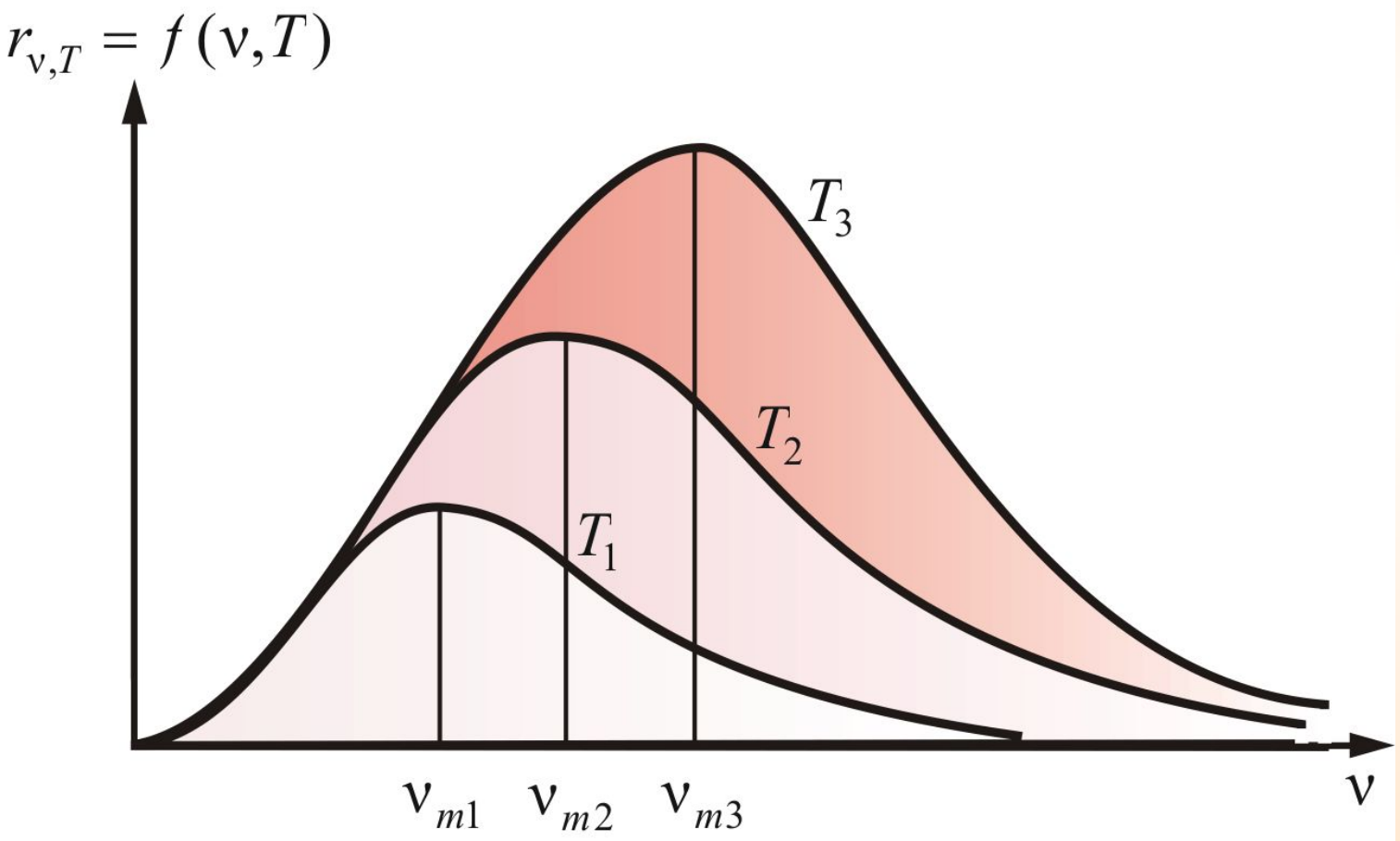
$$r_{\nu,T} = C_1 \nu^3 e^{-\frac{C_2 \nu}{T}} \qquad (1.4.1)$$

где C_1 и C_2 постоянные, которые Вин не расшифровал.



$$\frac{\nu_{max}}{T} = b$$ Закон смещения Вина (1.4.2)

$b = 2{,}9 \cdot 10^{-3}$ м · К Постоянная Вина



1.5. Формула Рэлея-Джинса

Рэлей (Стретт) Джон Уильям (1842 – 1919) английский физик. Работы посвящены теории колебаний, одним из основоположников которой он является, акустике, теории теплового излучения, молекулярной физике, гидродинамике, электромагнетизму, оптике. Исследовал колебания упругих тел, первый обратил внимание на автоколебания. Заложил основы теории молекулярного рассеяния света, объяснил голубой цвет неба. Сконструировал рефрактометр (рефрактометр Рэлея). ***Рассмотрел равновесное излучение в замкнутой полости с зеркальными стенками как совокупность стоячих электромагнитных волн (осцилляторов).***

x

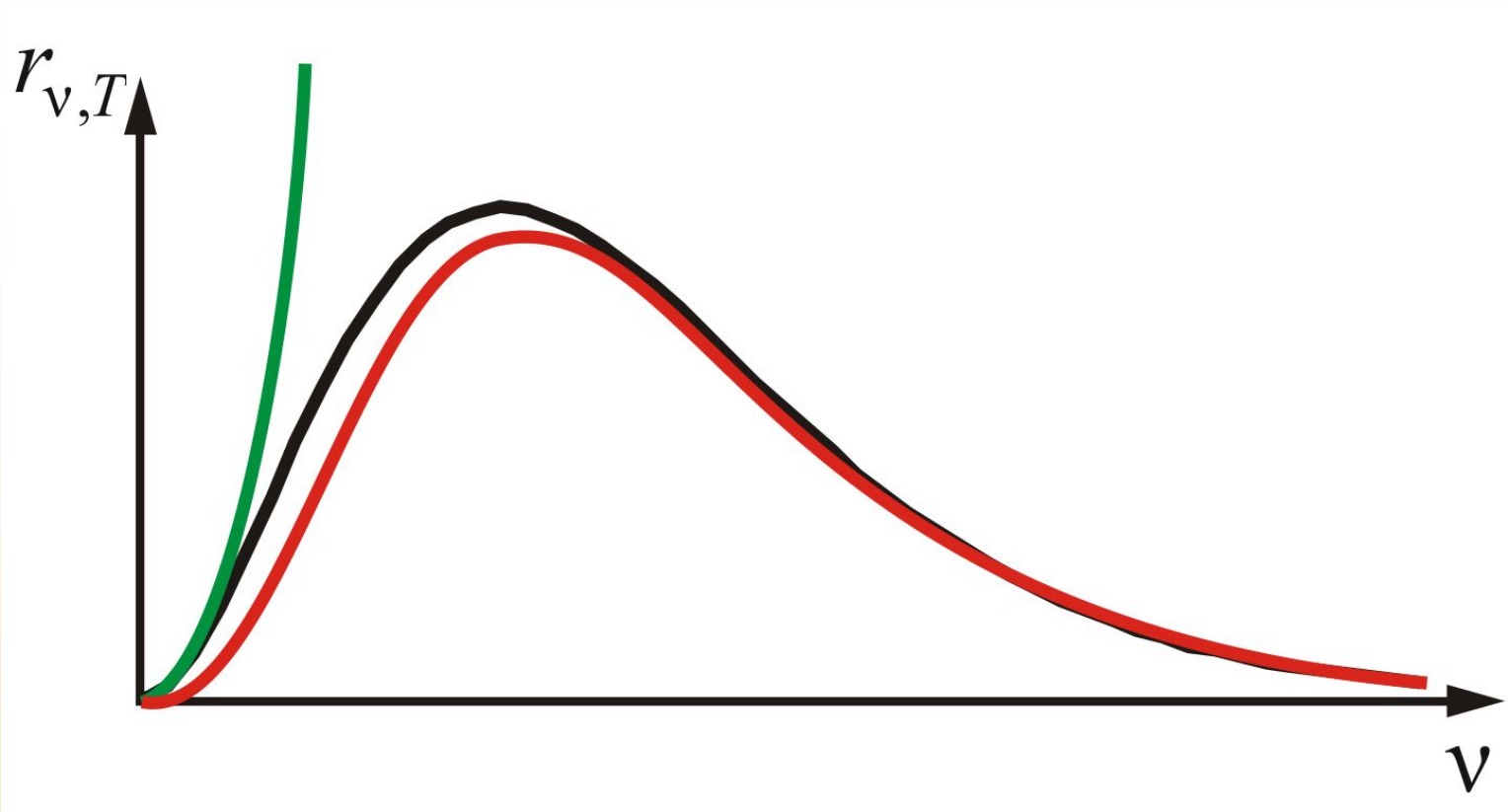
Джинс Джеймс Хопвуд (1877 – 1946) – английский физик и астрофизик. Основные физические исследование посвящены кинетической теории газов и теории теплового излучения. Вывел в 1905 формулу плотности энергии (закон Релея-Джинса). Работы Джинса посвящены также квантовой теории, математической теории электричества и магнетизма, теоретической механике, теории относительности.

x

В 1905 году Джинс уточнил расчеты Рэлея и окончательно получил:

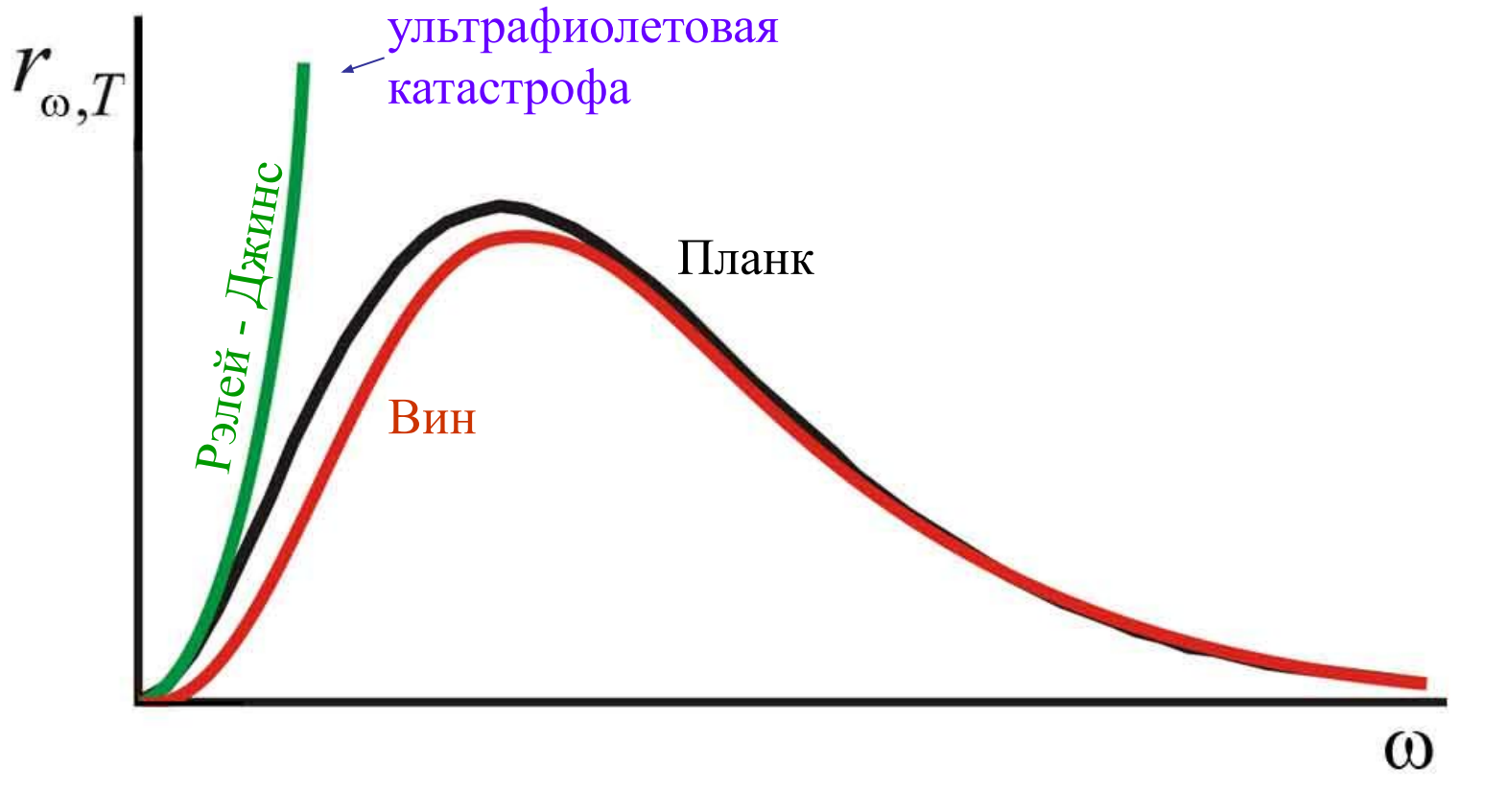
$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT \qquad (1.5.1)$$

Это формула Релея - Джинса



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

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



1.6. Формула Планка

Планк Макс Карл Эрнст Людвиг (1858 – 1947) – немецкий физик-теоретик, основоположник квантовой теории. Работы относятся к термодинамике, теории теплового излучения, теории относительности, квантовой теории, истории и методологии физики, философии науки. Вывел закон распределения энергии в спектре абсолютно черного тела. Ввел фундаментальную постоянную с размерностью действия. Формула закона Планка сразу же получила экспериментальное подтверждение.

Термодинамическая вероятность *– число возможных микроскопических комбинаций, совместимое с данным состоянием в целом.*

Энергия осциллятора должна быть целым кратным некоторой единицы энергии, пропорциональной его частоте:

$$E_n = nh\nu$$

Минимальная порция энергии: $E = h\nu = \hbar\omega$

$\omega = 2\pi\nu$ $\quad h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}$ Дж $\cdot$ с

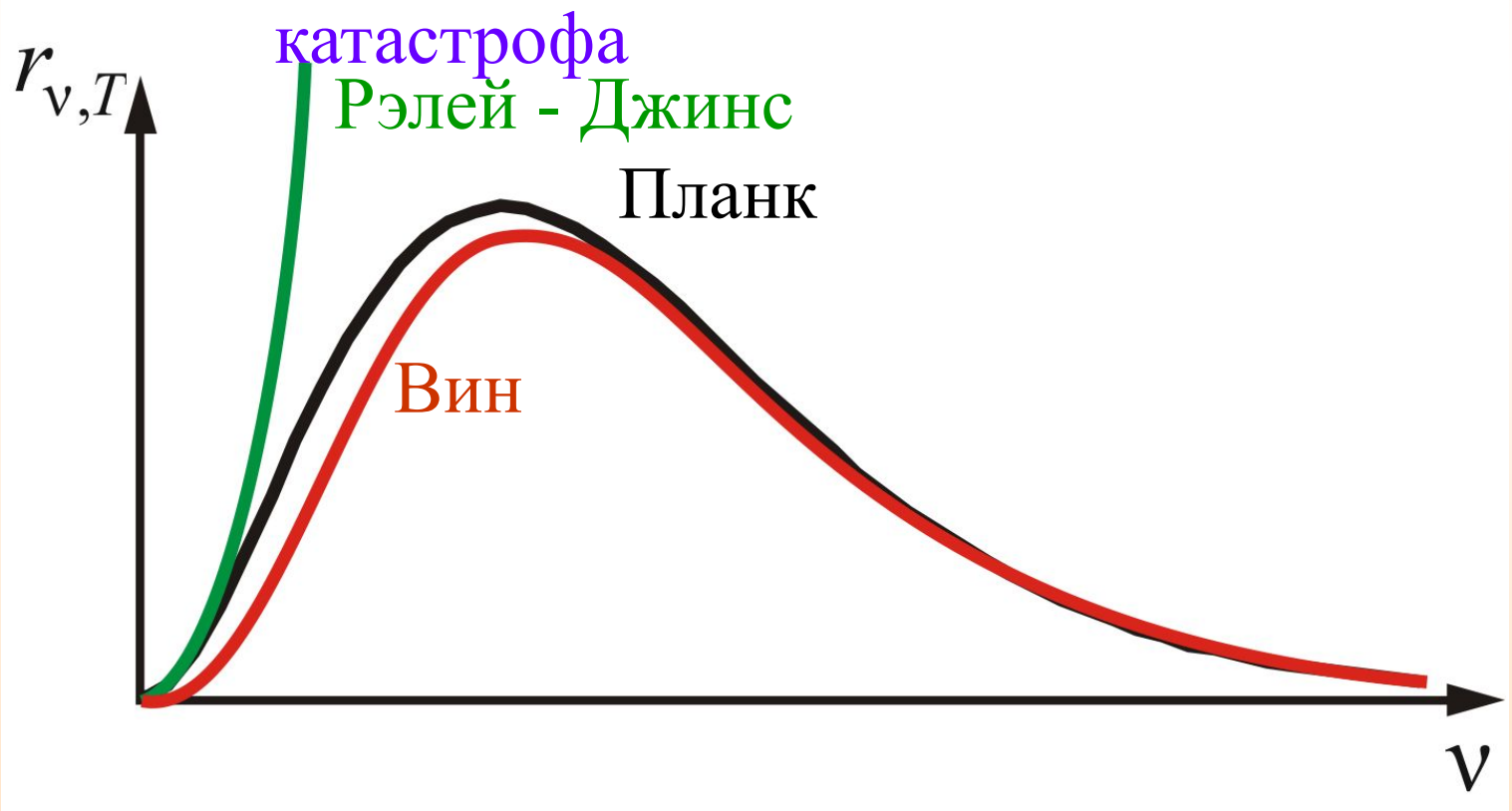
$\hbar = h / 2\pi$ $\quad \hbar = 1{,}054 \cdot 10^{-34}$ Дж $\cdot$ с

} квант действия -

постоянная Планка

Окончательный вид ***формулы Планка***

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



Из формулы Планка

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2}\frac{h\nu}{e^{h\nu/kT}-1}, \qquad (1.6.1)$$

1) В области малых частот, т.е. при $h\nu << kT$

$$e^{\frac{h\nu}{kT}} = 1 + \frac{h\nu}{kT} + \ldots$$

Получаем формулу Рэлея-Джинса

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2}kT \qquad (1.6.2)$$

2) В области больших частот, при $h\nu >> kT$
из формулы Планка получаем **формулу Вина**

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

3) Также из формулы Планка можно получить **закон Стефана-Больцмана:**

$$R = \int_0^\infty r_{\nu,T} \mathrm{d}\nu = \int_0^\infty \frac{2\pi h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} \mathrm{d}\nu$$

Отсюда можно вывести закон Стефана-Больцмана:

$$R = \sigma T^4$$

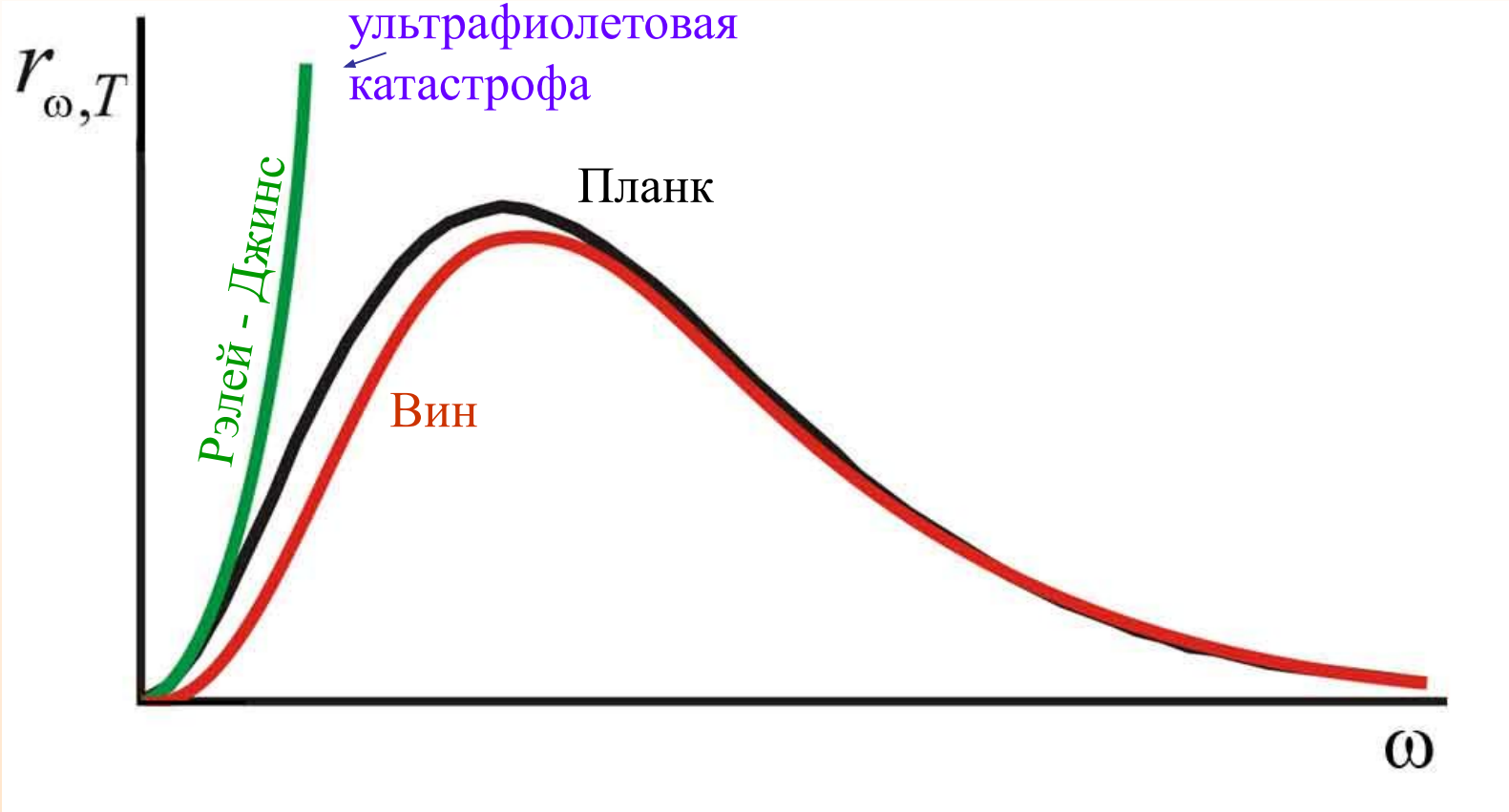
Другая форма записи формулы Планка

$$r_{\omega,T} = \frac{\hbar\omega^3}{4\pi^2 c^2} \frac{1}{e^{\frac{\hbar\omega}{kT}} - 1} \text{ или}$$

$$r_{\lambda,T} = \frac{4\pi^2 \hbar c^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{2\pi\hbar c / kT\lambda} - 1}$$

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

Формула Планка *блестяще согласуется с экспериментальными данными по распределению энергии в спектрах излучения черного тела во всем интервале частот и температур*.



Из формулы Планка, зная универсальные постоянные h, k и c, ***можно вычислить постоянную Стефана-Больцмана σ и Вина b.***

С другой стороны, ***зная экспериментальные значения σ и b***, ***можно вычислить h и k***
(именно так и было впервые найдено числовое значение постоянной Планка).

Теоретически вывод этой формулы М. Планк изложил 14 декабря 1900 г. на заседании Немецкого физического общества.

Этот день стал ***датой рождения квантовой физики.***

Лекция окончена!!!