

КВАНТОВАЯ ПРИРОДА ИЗЛУЧЕНИЯ

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.**

Закон Кирхгофа

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

$$[R] = \text{Вт/м}^2.$$

$$dR_{\omega, T} = r_{\omega, T} d\omega$$

$r_{\omega, T}$ - *спектральная плотность энергетической светимости.*

$$R_{\omega, T} = f(\omega, T) \quad [r_{\omega, T}] = \text{Дж/м}^2$$

Энергетическая светимость:

$$R_T = \int_0^{\infty} dR_{\omega, T} = \int_0^{\infty} r_{\omega, T} d\omega$$

или

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

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

способность тела.

Тело, полностью поглощающее излучения всех частот соответствует

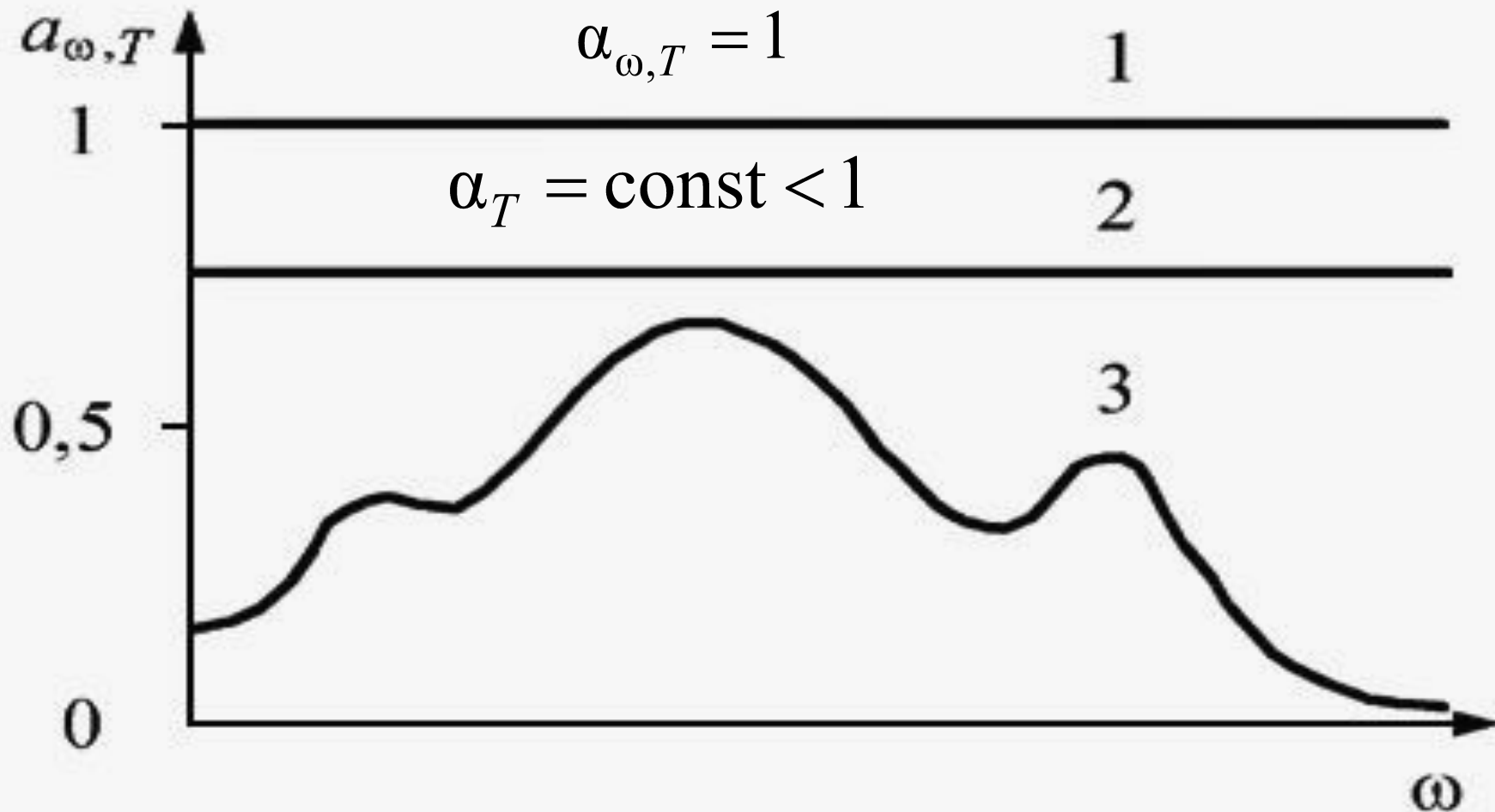
$$\alpha_{\omega, T} = 1$$

и называется абсолютно черным телом.

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



Пример светимости от нагретого тела.

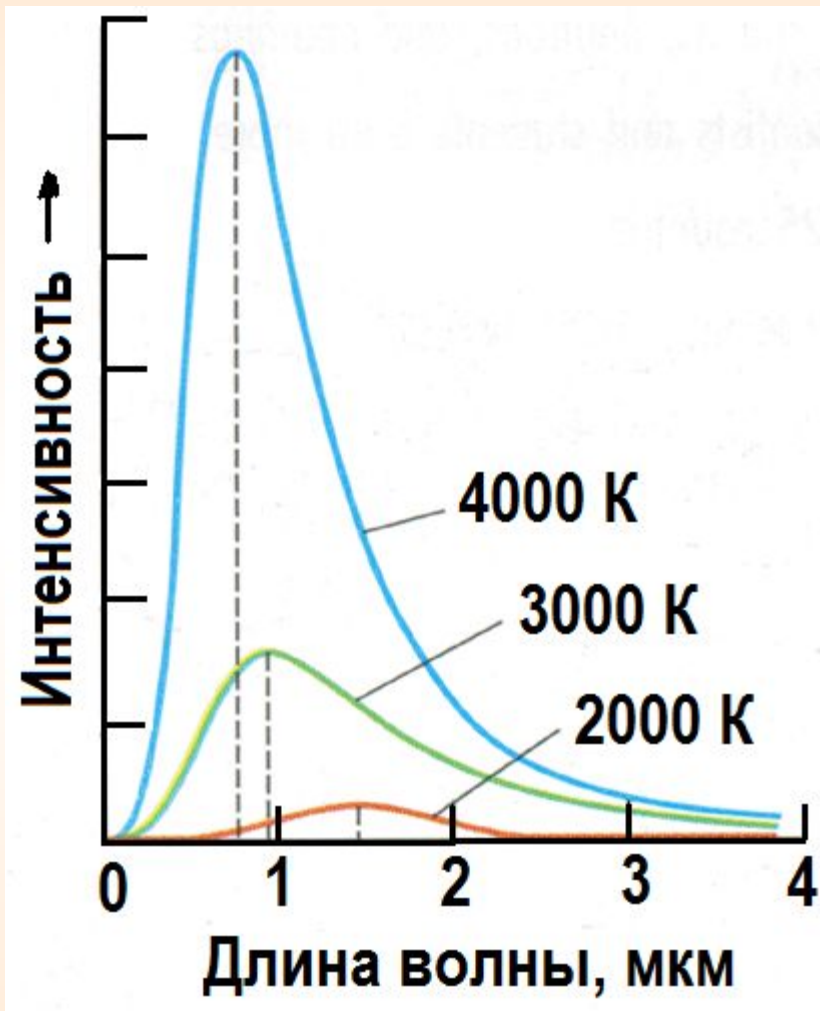


Спектральная поглощательная способность тела:

1 – абсолютно черное тело; 2 – серое тело;

3 – реальное тело (реальное тело всегда отражает часть энергии падающего на него излучения)

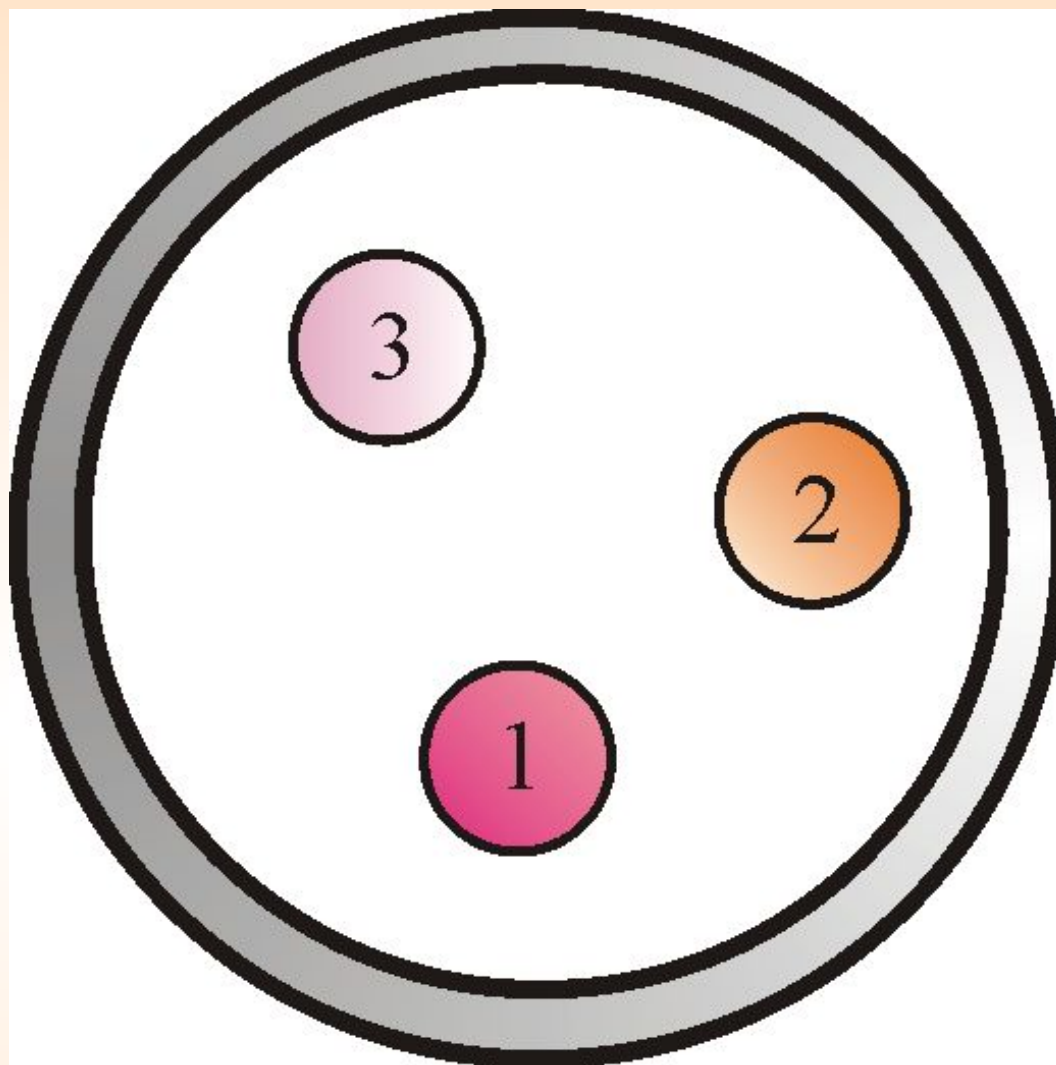
Спектры излучения



Типы спектров:
непрерывные

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

Излучение абсолютно черного тела.
Непрерывный спектр.

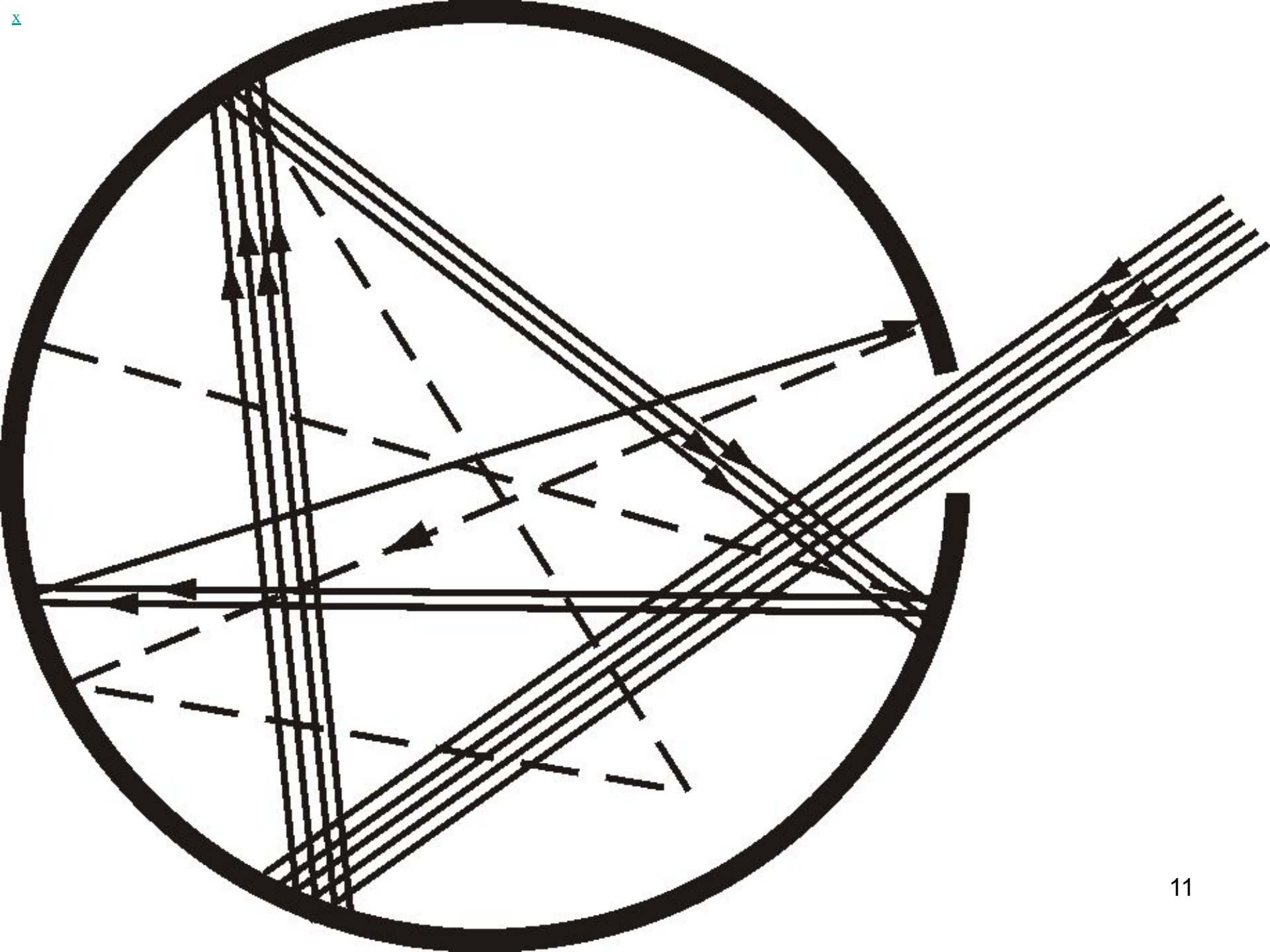


**Такая система через некоторое время придет
в состояние теплового равновесия**



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). В 1862 году *предложил модель абсолютно черного тела*.



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

$$\frac{r_{\omega, T}}{\alpha_{\omega, T}} = f(\omega, T) \quad \underline{\text{универсальная}} \\ \underline{\text{функция Кирхгофа}}$$

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

Закон Стефана-Больцмана

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

Теоретическое обоснование этого закона, известного как закон Стефана - Больцмана, было дано в 1884 году учеником Стефана Людвигом Больцманом.



Стефан Йозеф (*Joseph Stefan*, 1835-1893) — австрийский физик и математик. Известен своими работами по различным областям физики. В 1879 г. путём измерения теплоотдачи

платиновой проволоки при различных температурах установил пропорциональность излучаемой ею энергии четвертой степени абсолютной температуры. Используя эту закономерность, впервые дал достоверную оценку температуры поверхности Солнца — около 6000 градусов.

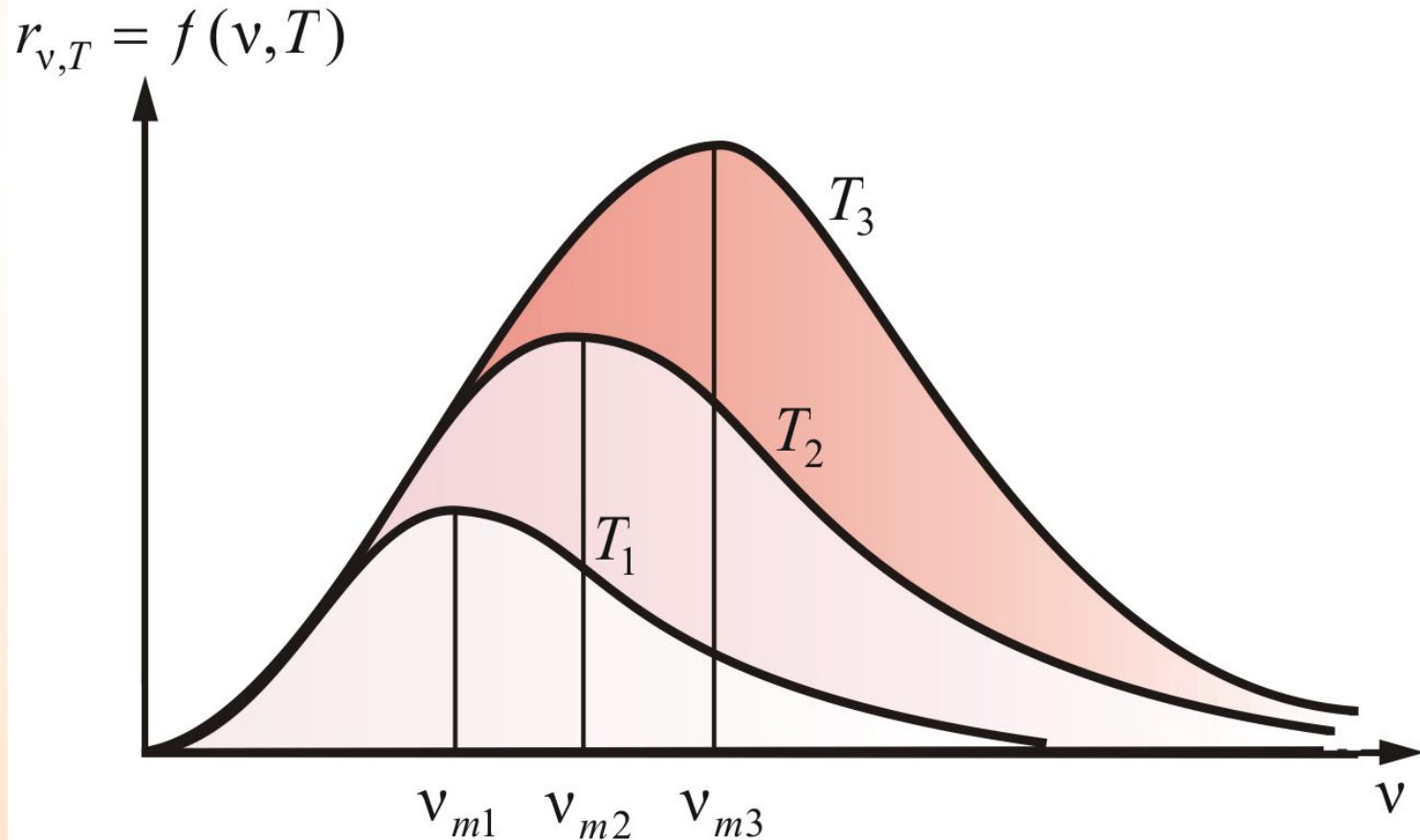


Болцман Людвиг (1844 – 1906) –
а **австрийский физик - теоретик, один из**
с **основателей классической статистической**
физики. Основные работы в области кинетической
теории газов, термодинамики и теории излучения.
Вывел основное кинетическое уравнение газов,
являющееся основой физической кинематики. Впервые
применил к излучению принципы термодинамики.
Позднее Болцман, применив термодинамический
метод к исследованию черного излучения, показал, что
это справедливо только для *абсолютно черного тела*.

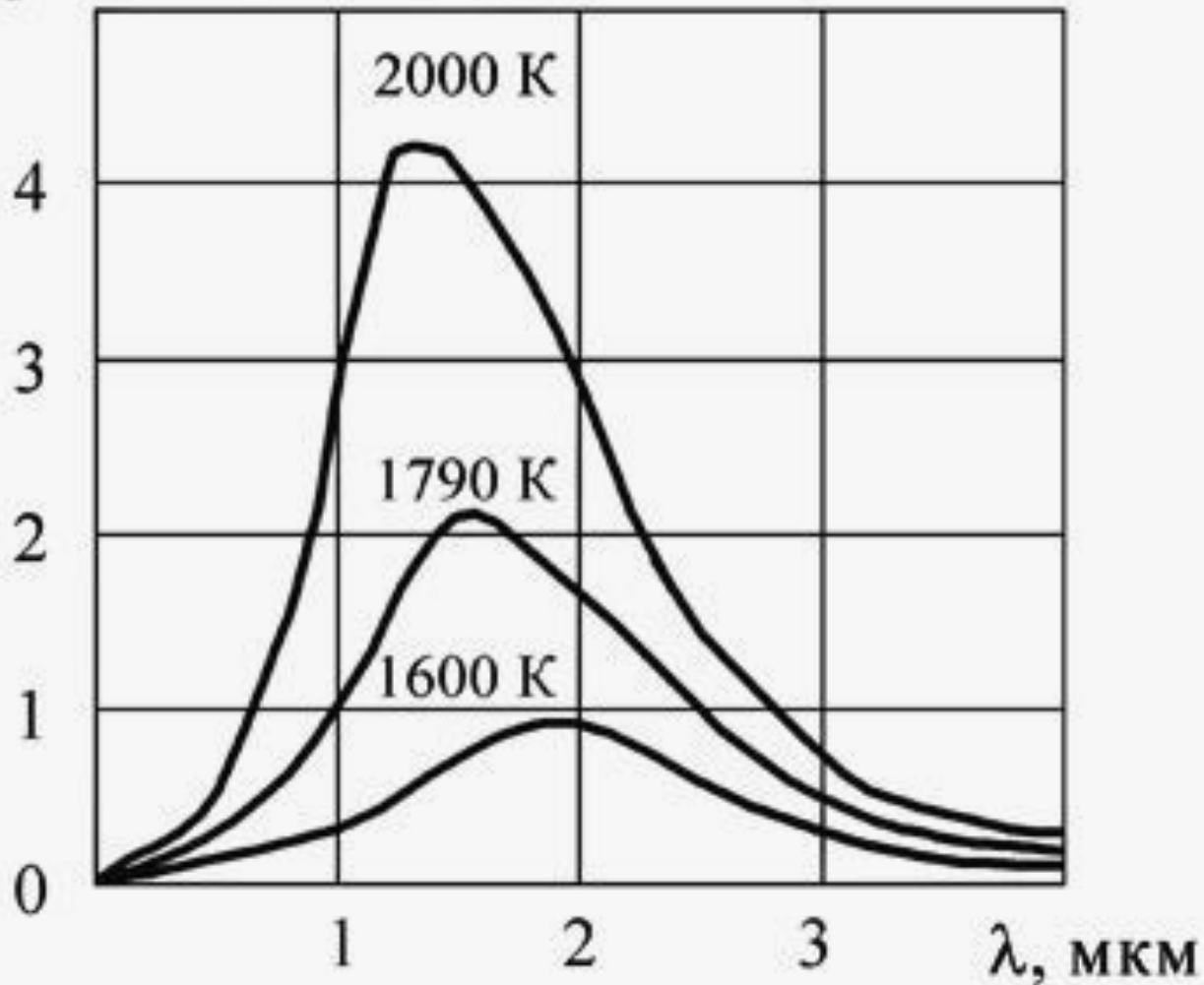
Площадь над кривой $r_{\omega,T} = f(T)$ равна

$$R = \sigma T^4 \text{ — закон Стефана-Больцмана}$$

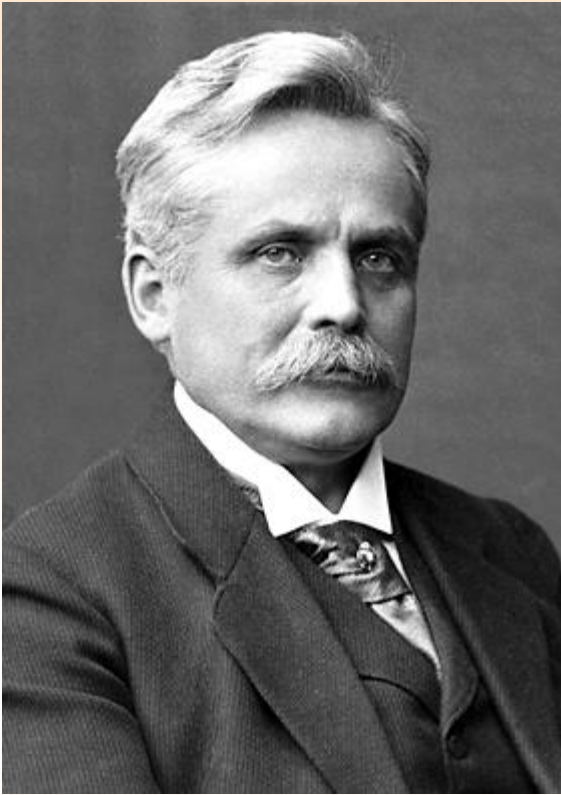
$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$ — постоянная
Стефана-Больцмана.



$$r_{\lambda, T}^* \times 10^{-11} \text{ Вт/м}^3$$



Спектральная излучательная способность абсолютно
черного тела



Вильгельм Вин (*Wilhelm Wien*; 1864 - 1928 — немецкий физик, лауреат Нобелевской премии по физике в 1911 г. «за открытия в области законов, управляющих тепловым излучением».

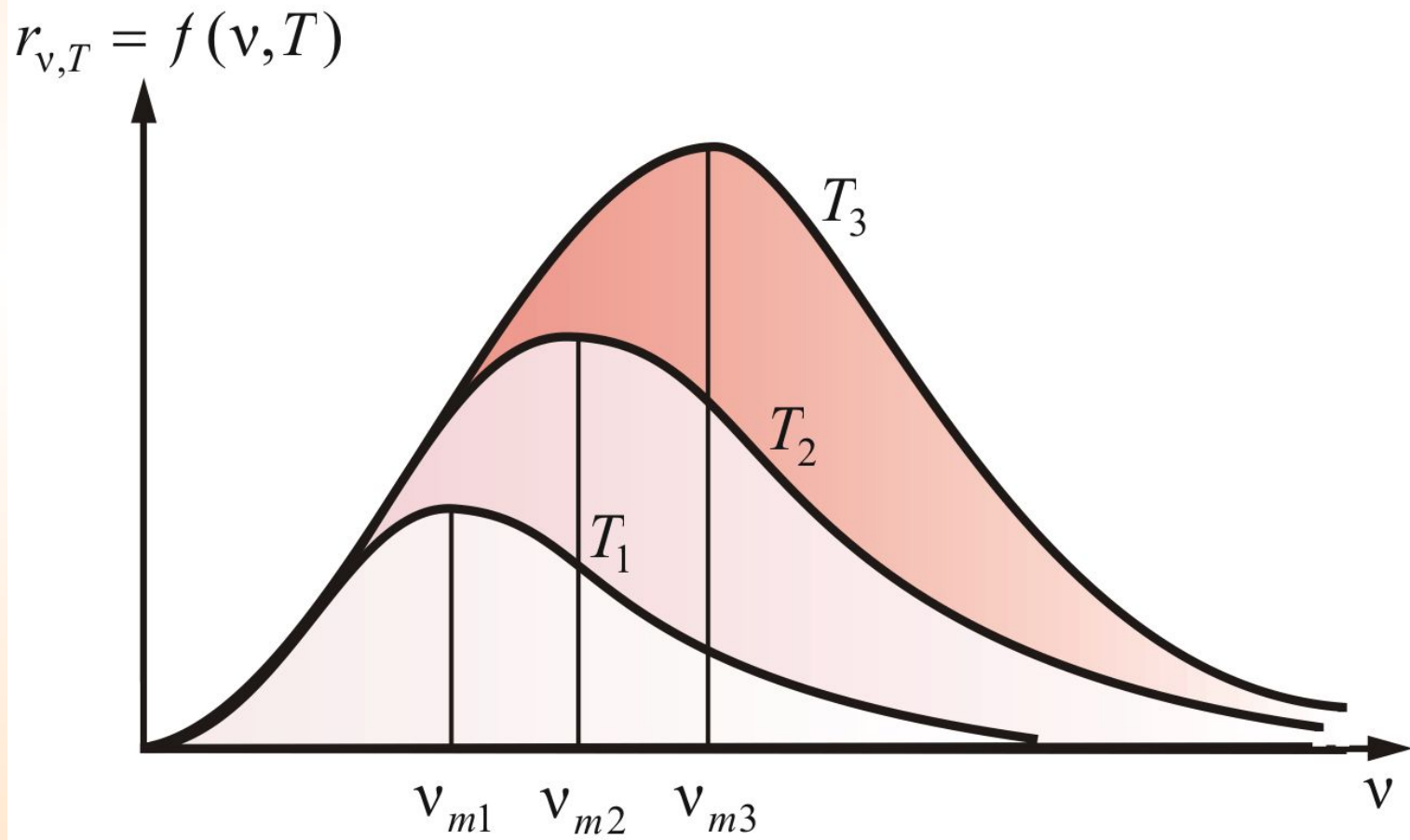
В 1893/94 гг. он вывел первый закон Вина, а из него - закон смещения Вина, в 1896 г. - второй закон Вина для теплового излучения.

Закон смещения Вина

$$\frac{\nu_{\max}}{T} = b$$

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

Постоянная Вина



1.5. Формула Рэля-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 Рэля).

Рассмотрел равновесное излучение в замкнутой полости с зеркальными стенками как совокупность стоячих электромагнитных волн (осцилляторов).



Джинс Джеймс Хопвуд (1877 – 1946) – английский физик и астрофизик. Основные физические исследования 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.

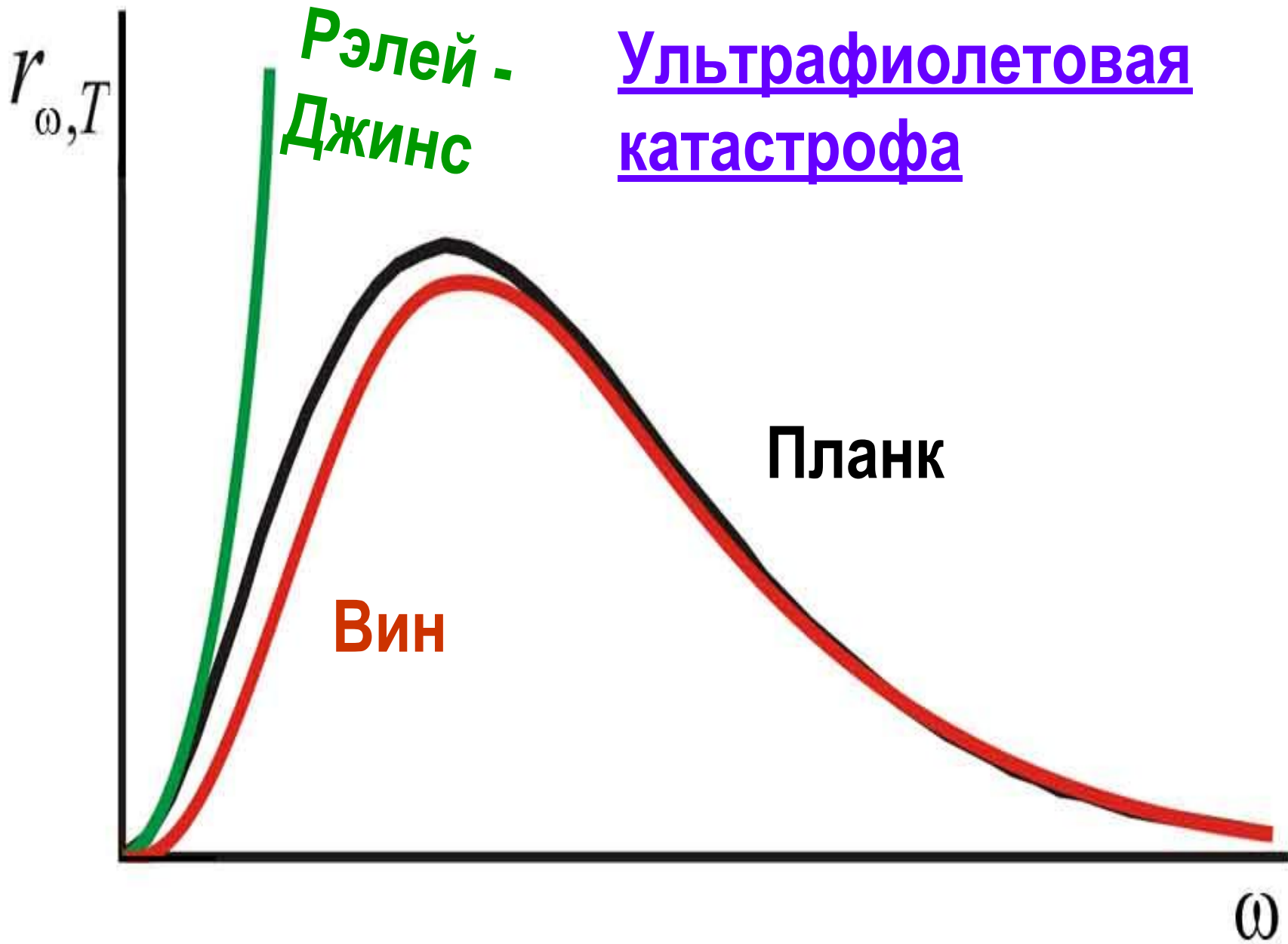
В 1905 году Джинс уточнил расчеты Рэля и окончательно получил:

Это формула
Рэля - Джинса

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

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

Этот результат получил название «ультрафиолетовой катастрофы». С точки зрения классической физики вывод Рэля-Джинса был сделан безупречно.





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.

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

$$E_n = nh\nu$$

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

$$\left. \begin{array}{l} h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \\ \hbar = 1,054 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \omega = 2\pi\nu \quad \hbar = h / 2\pi \\ \text{квант действия -} \end{array}$$

постоянная Планка

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

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

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.

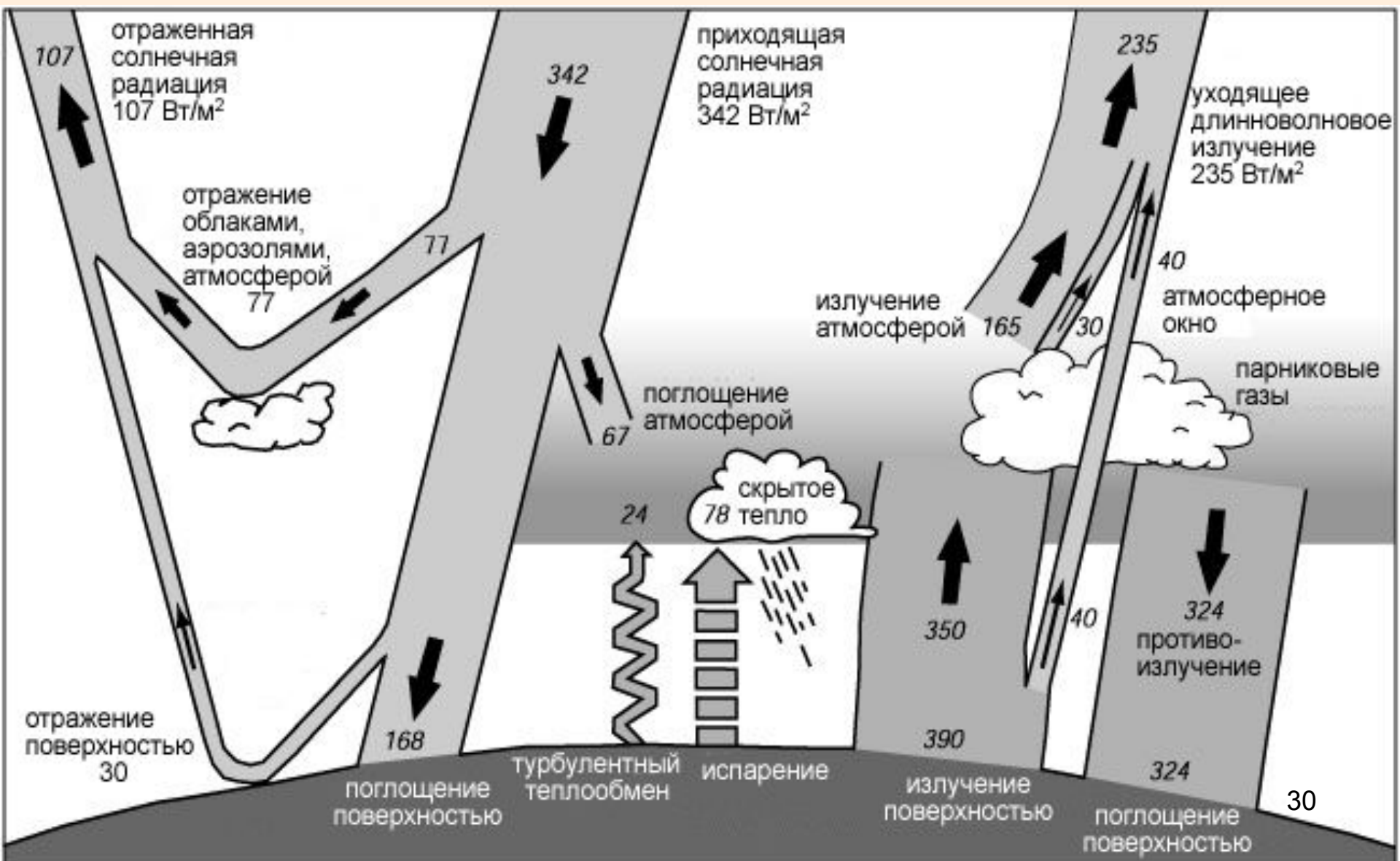
Этот день стал датой рождения квантовой физики.

М. Планк выдвинул предположение, которое сегодня считается классикой квантовой теории:

Энергия излучается и поглощается порциями !


$$E=hf$$

Общая схема среднегодового теплового баланса планеты. Приведенные величины потоков имеют размерность Вт/м²



Контрольные вопросы

1. Испускательная способность нагретого тела
2. Поглощательная способность
3. Универсальная функция Кирхгофа
4. Абсолютно черное тело и серое тело
5. Закон Стефана-Больцмана
6. Закон Вина
7. Формула Релея-Джинса
8. Формула Планка