

9/3/2019

Теоретическая физика
Физика конденсированного состояния

Введение

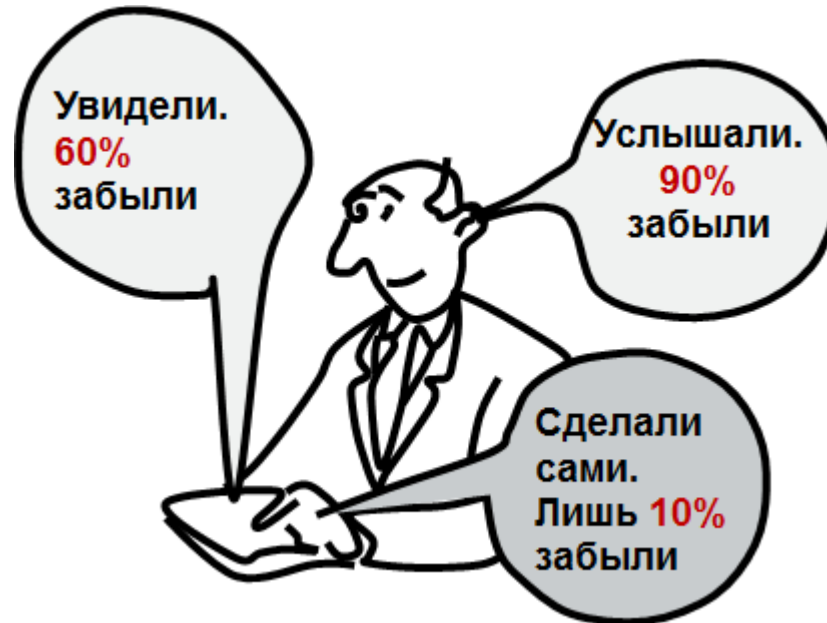
Лекция 1.

доцент ОЭФ ИЯТШ ТПУ, к.физ.-мат.н.
Купрекова Елена Ивановна

Модульная структура

5 семестр	<ul style="list-style-type: none">• Введение в квантовую физику	Зачет
6 семестр	<ul style="list-style-type: none">• Кристаллическая структура• Дефекты,• Диффузия,• Механические свойства	Экзамен
7 семестр	<ul style="list-style-type: none">• Фазовые диаграммы и фазовые превращения• Тепловые и электрические свойства твердых тел	Экзамен
8 семестр	<ul style="list-style-type: none">• Магнитные и оптические свойства твердых тел• Сверхпроводимость	Зачет

Особенности курса



Вывод: самостоятельные и домашние работы были, есть и будут обязательно.

Что надо для зачета?

Оценивающие мероприятия	Кол-во	Баллы
Лекции	12	$12 * 2 = 24$
Практика (самостоятельные)	4	$4 * 4 = 16$
Выполнение ДЗ	2	$2 * 5 = 10$
Контрольная работа	1	10
Коллоквиум	1	20
Итого		80

Консультация вт. 16-17.45

Литература модуля

- **Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.** Теоретическая физика, том 3: Квантовая механика. Нерелятивистская теория. – Изд-во «Наука», Москва, 1974.
- **A.C. Phyllips.** Introduction to Quantum Mechanics. - Изд-во «Wiley», 2003
- **Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Юдин Н.П.** Частицы и атомные ядра: Учебник. Изд. 2-е. – М.: Изд-во ЛКИ, 2007. – 584 с.
- **Курс физики: Учебник для вузов: в 2 т. Т.2.** /под ред. В.Н. Лозовского. – СПб.: Изд-во «Лань», 2003. – 592 с.

Часть 1. Квантовые свойства излучения

1.1. Тепловое излучение

Конец XIX - благополучный конец завершения физической картины мира

- 1) Классическая механика Ньютона приобрела законченный вид и хорошо описывала динамику движения частиц и тел
- 2) Статистические методы завершили создание теории объектов, состоящих из большого числа частиц, и неплохо описывали эмпирические законы термодинамики;
- 3) Победила волновая природа света. Описаны такие явления как интерференция, дифракция, измерена скорость света

Нерешенные проблемы (!)

- а) Явление фотоэффекта (1887г., *Генрих Рудольф Герц*).
- б) Линейчатые спектры излучения атомов, полосатые спектры молекул (1885 г., *Иоганн Якоб Бальмер, швейцарский физик*).
- в) Тепловое излучение вещества.

Равновесное излучение

Тепловое излучение – испускание ЭМВ за счет внутренней энергии тела.

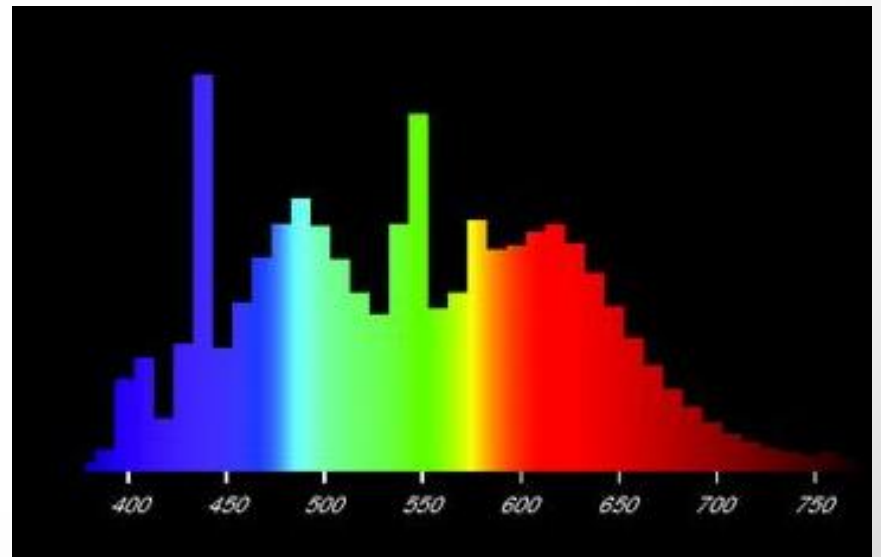
Особенности:

- происходит при любой температуре тела,
- имеет сплошной спектр,
- положение максимума спектра зависит от температуры тела (вещества).
- при невысоких температурах излучаются лишь ЭМВ с большой длиной волны (ИК область спектра).
- с повышением температуры возрастает общая энергия испускаемого теплового излучения, а положение максимума перемещается в область малых длин волн.

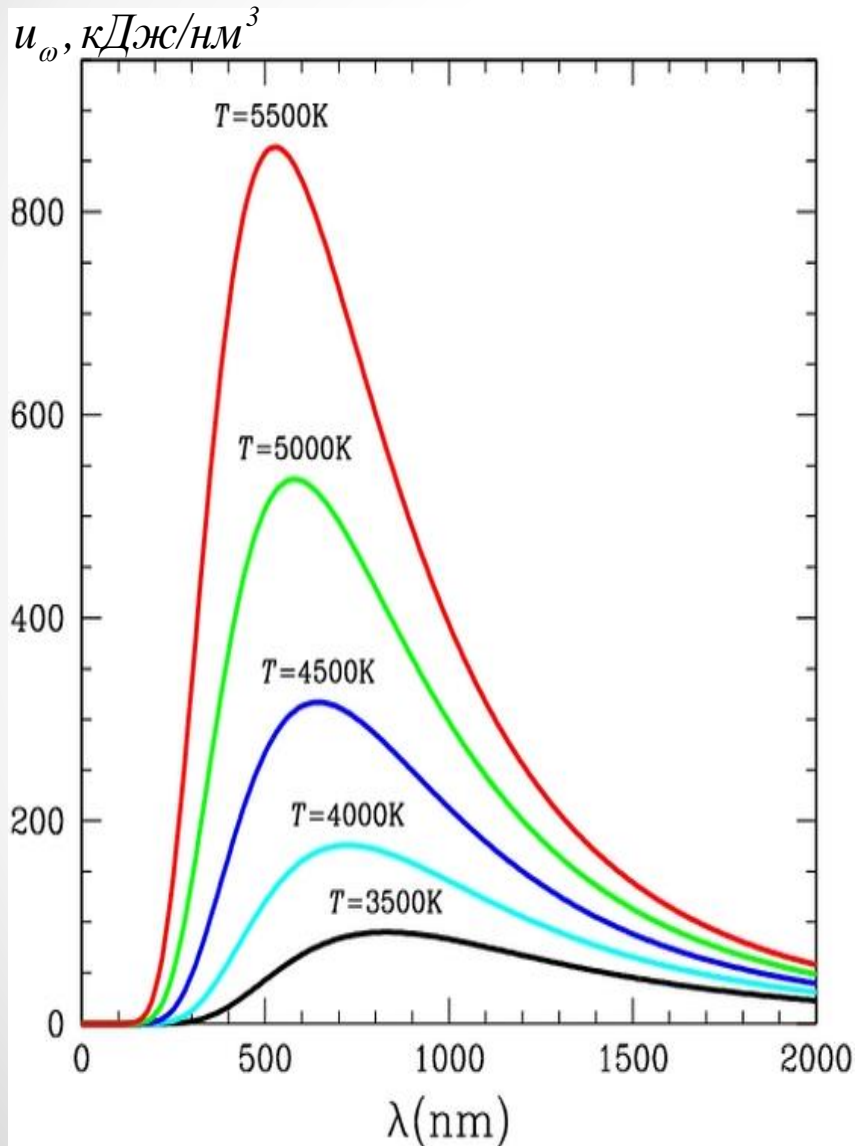
Примеры: тепловое излучение испускается с поверхности раскаленного металла ($>500\text{ }^{\circ}\text{C}$), в земной атмосфере, с кожного покрова человека и т.д.



Характерной чертой теплового излучения является широкий сплошной спектр



Закономерности распределения энергии в спектре теплового излучения:



1. Спектр излучения является сплошным.

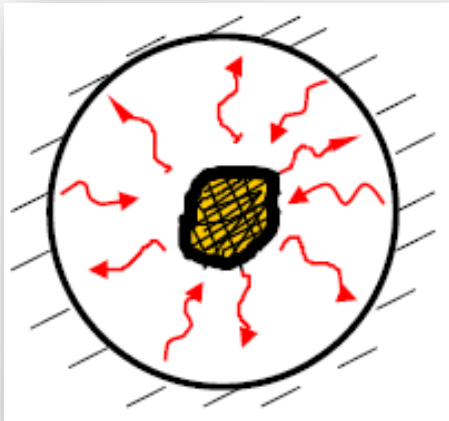
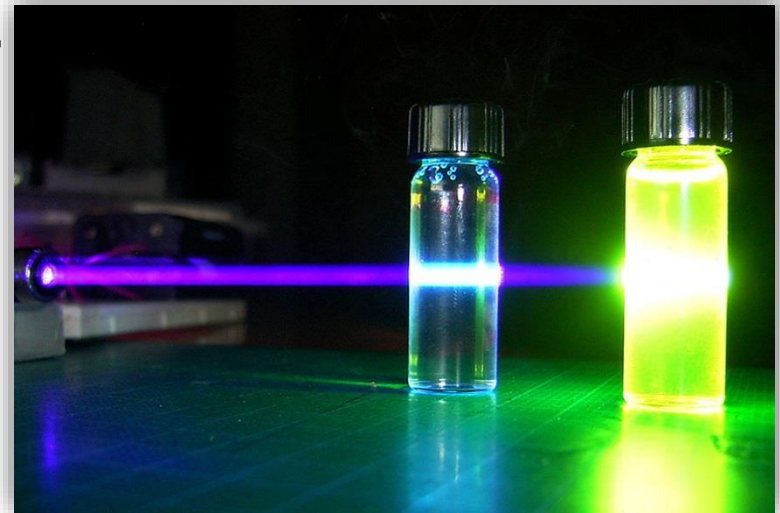
2. Распределение энергии зависит от λ . С ростом λ спектральная плотность изменяется колоколообразно.

3. С ростом T максимум излучения смещается в сторону коротких длин волн.

Равновесное излучение (пр-е)

Виды излучения, возбуждаемые за счет любого другого вида энергии, кроме внутренней (налетающими частицами, фотонами, механическим воздействием) – **люминесценция**.

Люминесценция всегда неравновесна, а тепловое излучение может быть равновесным (!)



Пример - идеально отражающая оболочка, внутри которой тело при T и оно излучает

За счет отражения происходит обмен энергией:
излучение → отражение → поглощение телом →
излучение →

Равновесное излучение – процесс, при котором распределение энергии между телом и излучением остается неизменным для каждой длины волны.

Сколько энергии излучается, столько и поглощается для данной λ (!)

Экспериментальные свойства равновесного излучения

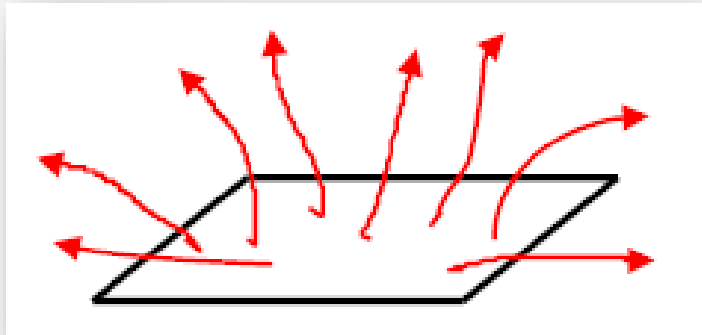
- 1) оно не зависит от материала и формы излучаемого тела;
- 2) оно зависит только от температуры (спектральный состав, интенсивность);
- 3) однородно, изотропно, неполяризовано.

Количественные характеристики

Равновесное тепловое излучение можно характеризовать двумя способами:

I. Через равновесие с телом

количество энергии, исходящее с единицы поверхности тела в единицу времени



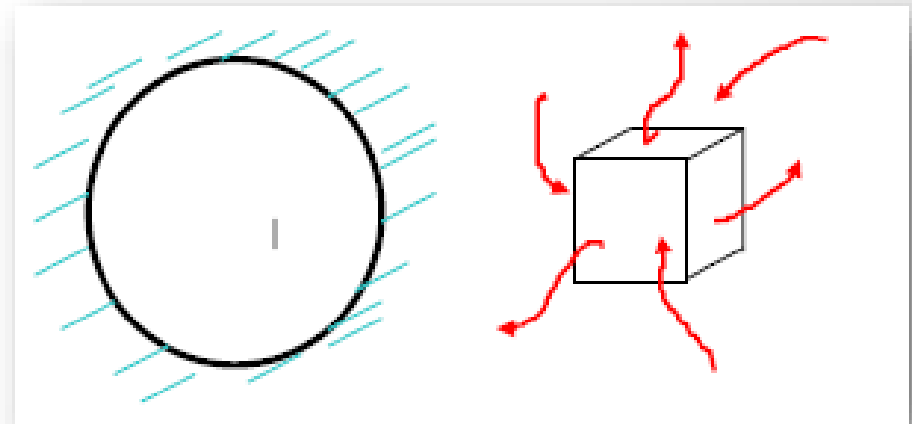
1) Энергетическая светимость

$R = R(T)$ – поток энергии, испускаемой единицей поверхности излучающего тела в телесный угол 2π .

$$[R] = \text{Эрг}/\text{с}\cdot\text{см}^2 \text{ или } \text{Дж}/\text{с}\cdot\text{м}^2$$

II. Излучение без тела

количество энергии, содержащееся в единице объема



1) Плотность энергии излучения $U = U(T)$ – энергия, приходящаяся на единицу объема пространства.

$$[U] = \text{Эрг}/\text{см}^3 \text{ или } \text{Дж}/\text{м}^3$$

Спектральные характеристики :

2) Испускательная способность тела

$$r_{\omega} \equiv \frac{dR_{\omega}}{d\omega} = r(\omega, T)$$

dR_{ω} – поток энергии, испускаемый единицей поверхности тела в интервале частот от ω до $\omega + d\omega$

$$[r_{\omega}] = \frac{[d\Phi]}{[dS][d\omega]} = \text{Эрг/см}^2$$

$$R(T) = \int_0^{\infty} dR_{\omega}(T) = \int_0^{\infty} r(\omega, T)d\omega$$

2) Спектральная плотность энергии излучения

$$u_{\omega} \equiv \frac{dU_{\omega}}{d\omega} = u(\omega, T)$$

dU_{ω} – энергия в единице объема и в интервале частот от ω до $\omega + d\omega$

$$[u_{\omega}] = \frac{[dW]}{[dV][d\omega]} = \text{Эрг}\cdot\text{с/см}^3$$

$$U(T) = \int_0^{\infty} dU_{\omega} = \int_0^{\infty} u(\omega, T)d\omega$$

3) Испускательная способность тела в λ

$$r_\lambda \equiv \frac{dR_\lambda}{d\lambda} = r(\lambda, T)$$

$$[r_\lambda] = \text{Эрг/с}\cdot\text{см}^3$$

$$R(T) = \int_0^\infty dR_\lambda = \int_0^\infty r(\lambda, T) d\lambda$$

Связь между r_ω и r_λ :

$$r_\omega d\omega = r_\lambda d\lambda$$

$$\lambda = \frac{2\pi c}{\omega}$$

$$r_\omega = \frac{\lambda^2}{2\pi c} r_\lambda$$

2) Спектральная плотность энергии излучения в λ

$$u_\lambda = \frac{dU_\lambda}{d\lambda} = u(\lambda, T)$$

$$[u_\lambda] = \text{Эрг/см}^4$$

$$U(T) = \int_0^\infty u(\lambda, T) d\lambda$$

Связь между r_ω и r_λ :

$$u_\omega = \frac{\lambda^2}{2\pi c} u_\lambda$$

4) Поглощательная способность - безразмерная величина:

$$a_{\omega, T} = \frac{d\Phi'_\omega}{d\Phi_\omega} \leq 1$$

$d\Phi'_\omega$ - часть потока энергии, поглощенная телом в интервале частот $(\omega \div \omega + d\omega)$,
 $d\Phi_\omega$ - падающий поток энергии в интервале $d\omega$.

Экспериментальные законы

- 1) Пьер Прево (1809г.) нашел правило: **если два тела поглощают различные количества энергии, то они и излучают разные количества энергии.**
- 2) Густав Кирхгоф (1859г.) использовал рассуждения Прево при доказательстве теоремы (закона Кирхгофа), доложенной Берлинской Академии в 1859г. («О связи между испусканием и поглощением света и тепла»): **отношение испускательной и поглощательной способностей не зависит от природы тела, оно является для всех тел универсальной функцией частоты и температуры**

$$\left(\frac{r_{\omega,T}}{a_{\omega,T}}\right)_1 = \left(\frac{r_{\omega,T}}{a_{\omega,T}}\right)_2 = \left(\frac{r_{\omega,T}}{a_{\omega,T}}\right)_3 = \dots = \frac{r_{\omega,T}}{a_{\omega,T}} = f(\omega, T)$$

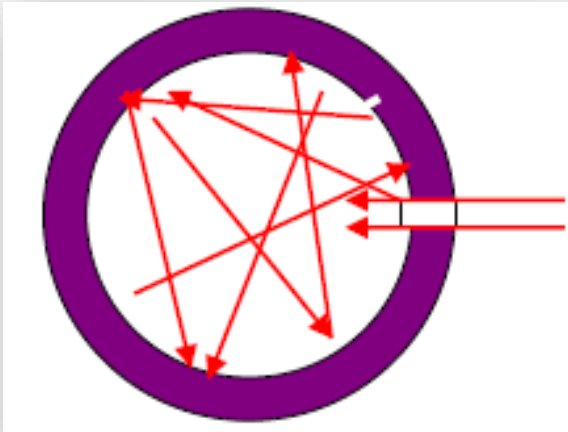
где 1,2,3,... соответствуют разным телам, а $f(\omega, T)$ – универсальная функция. Сами величины $r_{\omega, T}$ и $a_{\omega, T}$ могут меняться очень значительно от одного тела к другому, однако их отношение оказывается одинаковым для всех тел:

сильнее поглощающее какие-либо лучи тело, будет их и сильнее испускать

Абсолютно черное тело

$a_{\omega,T} = 1$, т.е. **поглощается все, что падает на это тело при всех частотах излучения.**

Абсолютно черных тел в природе не бывает. Наиболее близко к нему приближаются: сажа, платиновая чернь, но и то лишь в некоторой области частот.



АЧТ интересно тем, что его испускательная способность равна универсальной функции $r_{\omega,T} = f(\omega, T)$.

Поэтому основная идея: **создать модель абсолютно черного тела и изучать его испускательную способность.**

Излучение, попадающее через отверстие в полость с определенной T , может долго находиться внутри нее, испытывая отражение от стенок, поглощаясь ими, переизлучаясь и вновь поглощаясь. Этот непрерывный процесс со временем становится стационарным – происходит термализация излучения. Поэтому для маленького отверстия поглощательная способность $a_{\omega,T} = 1$