



Элементы квантовой физики

© В.Е. Фрадкин, А.М.Иконников, 2003

A black and white portrait of Max Planck, an elderly man with a mustache and glasses, looking slightly to the right. The background is dark and out of focus.

Рождение
квантовой
физики

Домашнее задание

- Г.Н.Степанова, Физика-11(1), § 21

○ *Знать:*

- причины возникновения квантовой теории,
- смысл модели абсолютно черного тела,
- смысл гипотезы Планка,
- понятие кванта,
- формулу расчета энергии кванта,
- значение и смысл постоянной Планка,
- в чем значение квантовой идеи Планка?

МАКС ПЛАНК



- Заслуга в этом принадлежит выдающемуся немецкому физику *Максу Планку*. Ему удалось решить проблему спектрального распределения света, излучаемого нагретыми телами, перед которой классическая физика оказалась бессильной.

Завершение классической физики

- В конце XIX в. многие ученые считали, что развитие физики завершилось по следующим причинам:
- 1. Больше 200 лет существуют законы механики, теория всемирного тяготения.
- 2. Разработана МКТ.
- 3. Подведен прочный фундамент под термодинамику.
- 4. Завершена максвелловская теория электромагнетизма.
- 5. Открыты фундаментальные законы сохранения (энергии, импульса момента импульса, массы и электрического заряда).

Физические проблемы начала XX в.

- В конце XIX -- начале XX в. открыты:

*X-лучи (рентгеновские лучи, В. Рентген),
явление радиоактивности (А. Беккерель),
Электрон (Дж. Томсон).*

Однако классическая физика не сумела объяснить эти явления.

- Теория относительности А. Эйнштейна потребовала коренного пересмотра понятия пространства и времени.
- Специальные опыты подтвердили справедливость гипотезы Дж. Максвелла об электромагнитной природе света. Можно было предположить, что излучение электромагнитных волн нагретыми телами обусловлено колебательным движением электронов. Но это предположение нужно было подтвердить сопоставлением теоретических и экспериментальных данных.

Равновесное или черное излучение

- В состоянии равновесия процессы испускания и поглощения энергии каждым телом в среднем компенсируют друг друга.
- Следовательно: плотность энергии излучения достигает определенного значения, зависящего только от установившейся температуры тел.
- Излучение, находящееся в термодинамическом равновесии с телами, имеющими определенную температуру, называется *равновесным* или *черным излучением*.
- **Основное свойство:** плотность энергии равновесного излучения и его спектральный состав зависят только от температуры.

Модель абсолютно черного тела

- *Абсолютно черное тело* – мысленная модель тела полностью поглощающего электромагнитные волны любой длины (и, соответственно, излучающего все длины электромагнитных волн).



Свойство:

при заданной температуре собственное тепловое излучение абсолютно

черного тела,

находящегося в состоянии

равновесия с излучением, должно иметь тот же спектральный состав, что и окружающее излучение.

- Проблема сводится к изучению спектрального излучения абсолютно черного тела. Решить эту проблему классическая физика оказалась не в состоянии.

Абсолютно черное тело

- **Важнейшая закономерность теплового излучения:**

Для установления равновесия в полости необходимо, чтобы каждое тело испускало ровно столько лучистой энергии, сколько оно и поглощает.

- **Следовательно:** абсолютно черное тело при заданной температуре испускает с поверхности единичной площади в единицу времени больше лучистой энергии, чем любое другое тело.

Закон Стефана - Больцмана

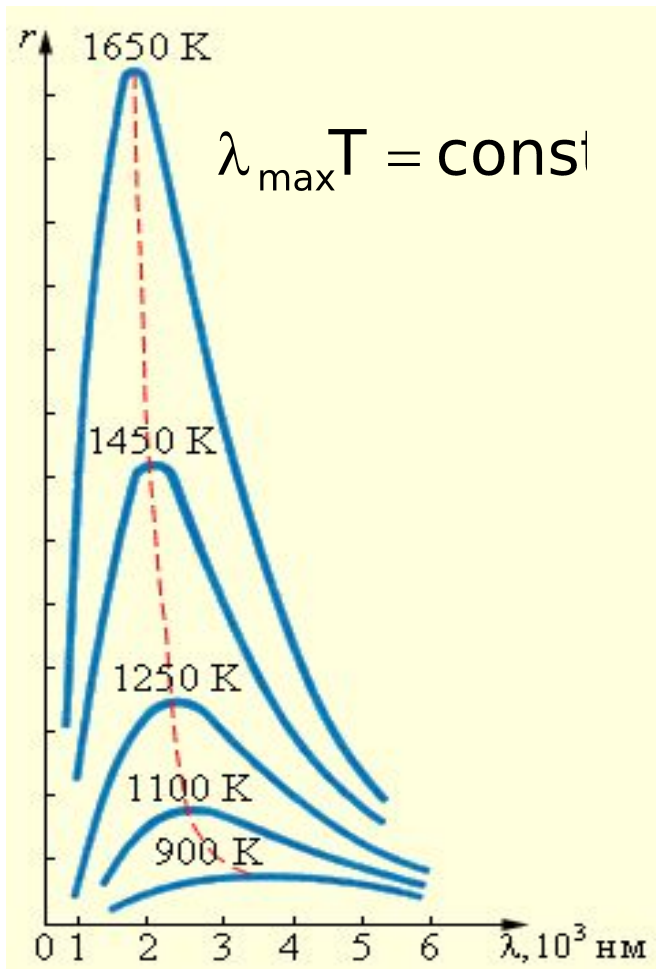
Австрийские физики И.Стефан и Л.Больцман экспериментально установили: *полная энергия, излучаемая за 1 с абсолютно черным телом с единицы поверхности, пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры.*

$$W = E = \sigma T^4$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Дж/(м²·К·с) — постоянная Стефана-Больцмана.

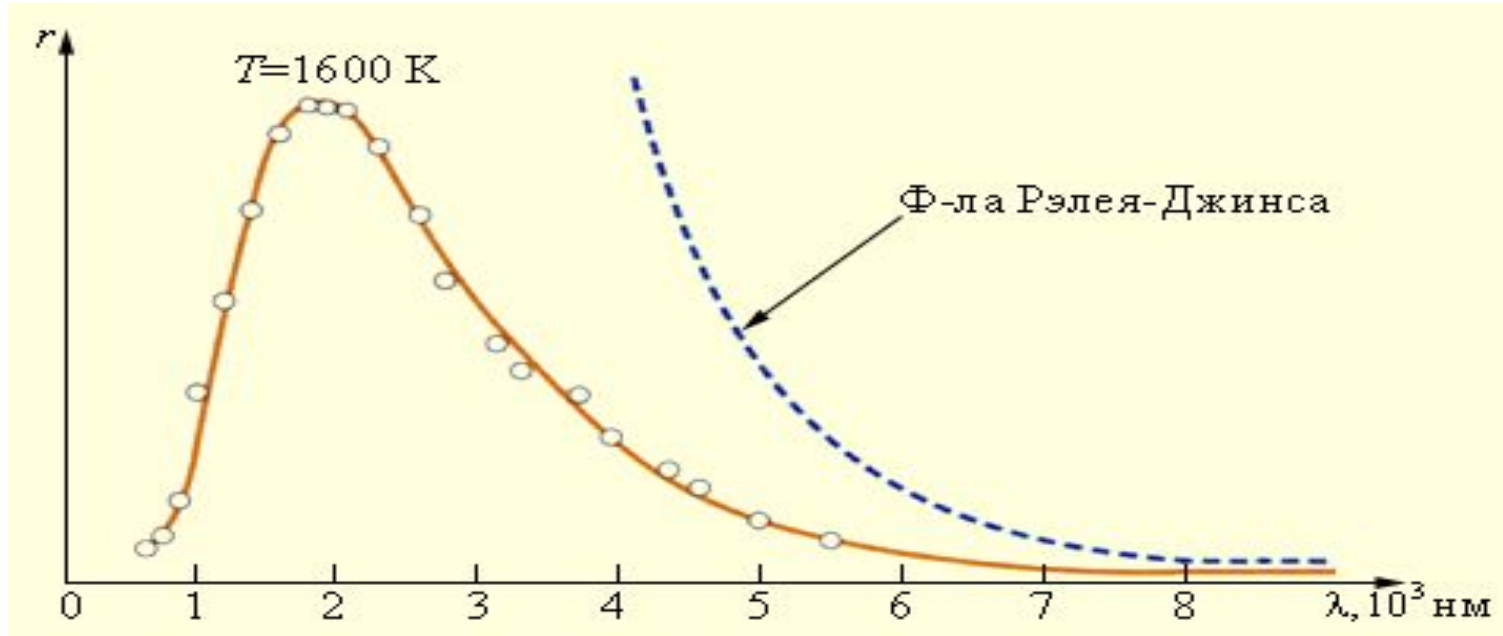
Роль закона: закон *Стефана — Больцмана* позволил вычислить энергию излучения абсолютно черного тела по известной температуре.

Пример экспериментально полученных кривых распределения энергии в спектре излучения черного тела.



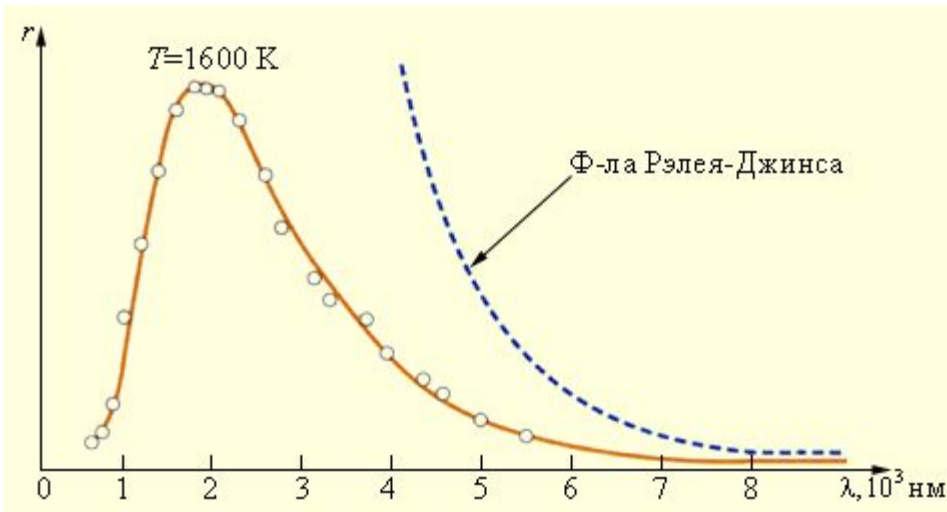
- При заданном значении температуры T интенсивность излучения черного тела максимальна и соответствует графики. Зная свойства
- абсолютно черного тела, попробуйте Закон В. Вина: при изменении температуры длина волны, на которую приходится максимальная энергия, убывает обратно пропорционально температуре, сформулировать с их помощью два вывода, В. Вин получил закон распределения энергии в спектре черного тела, к которым пришел В. Вин. Экспериментальными результатами лишь в области больших частот.

Закон Рэлея - Джинса



- Английский физик Дж. Рэлей сделал попытку более строгого теоретического вывода закона распределения энергии, но закон приводил к хорошему совпадению с опытами в области малых частот.

Закон Рэлея - Джинса



По этому закону
интенсивность
излучения должна
возрастать
пропорционально
квадрату частоты.

- Следовательно, в тепловом излучении должно быть много ультрафиолетовых и рентгеновских лучей, чего на опыте не наблюдалось. Затруднения в согласовании теории с результатами эксперимента получили название *ультрафиолетовой катастрофы*.

Гипотеза Планка (1900 г.)

- *Атомы испускают электромагнитную энергию от дельными порциями — квантами.*
- *Энергия E каждой порции прямо пропорциональна частоте излучения:*

$$E = h\nu$$

$h=6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с — постоянная Планка.

Постоянная Планка

- Иногда удобно измерять энергию и постоянную Планка в электронвольтах.
- Тогда $h=4,136 \cdot 10^{-15}$ эВ·с.

(1 эВ - энергия, которую приобретает элементарный заряд, проходя ускоряющую разность потенциалов 1 В.

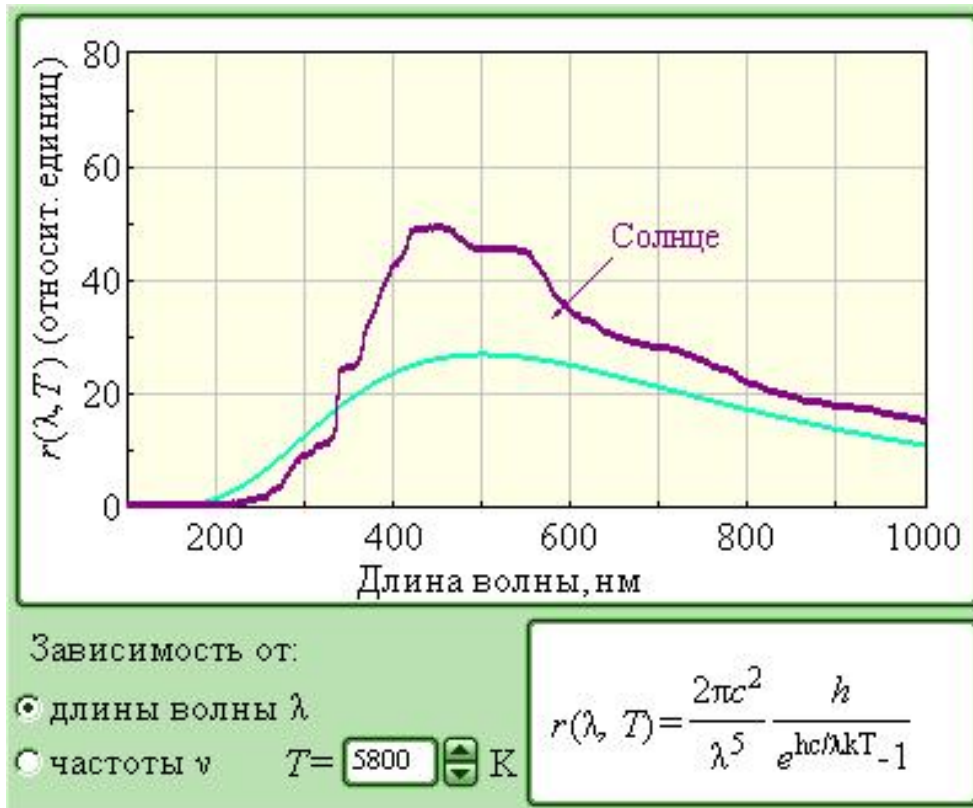
$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}).$$

- В атомной физике употребляется также величина

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,055 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} = 6,59 \cdot 10^{-16} \text{ эВ} \cdot \text{с}$$

Задания:

1. Сравните экспериментальные данные для спектра Солнца с расчетными по формуле Планка.
2. Можете ли Вы оценить температуру поверхности Солнца с помощью данной компьютерной модели? Как?



Квантовая физика

- Таким образом, М. Планк указал путь выхода из трудностей, с которыми столкнулась теория теплового излучения, после чего начала развиваться современная физическая теория, называемая *квантовой физикой*