

Квантовая природа света

ФОТОН.

1. Энергия

$$E = h\nu = \hbar\omega \quad 2\pi\nu = \omega$$

2. Импульс

$$p = h/\lambda$$

Постоянная Планка

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$
$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,06 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

Связь частоты и длины волны

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{c}{\lambda}$$

Основные свойства фотона

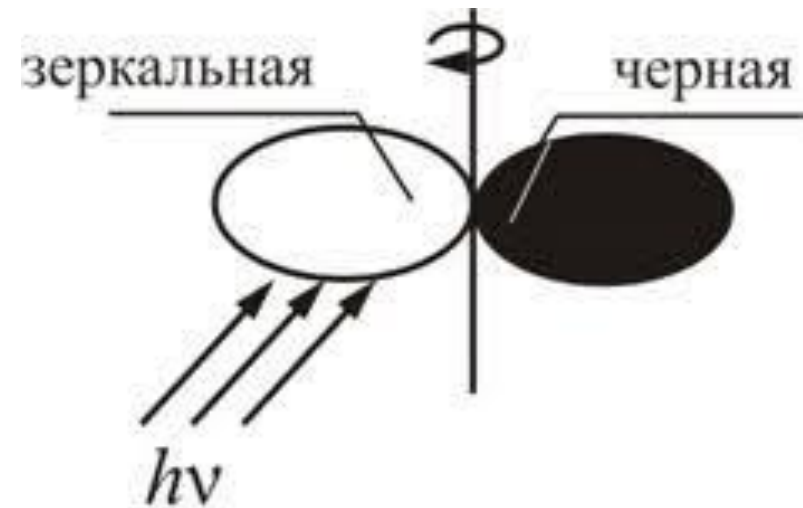
- Является частицей электромагнитного поля.
- Двигается со скоростью света.
- Существует только в движении.
- Остановить фотон нельзя: он либо движется со скоростью, равной скорости света, либо не существует; следовательно, масса покоя фотона равна нулю.

Давление света

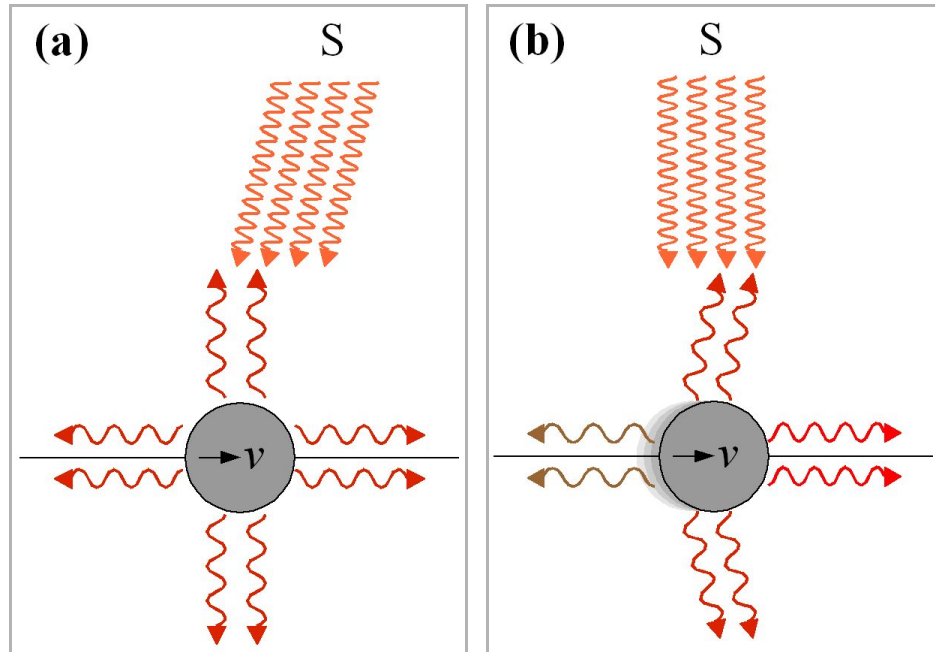
- $$P = w(1 + A) = \frac{h\nu N}{cS\Delta t} (1 + A) = \frac{I}{c} (1 + A)$$

Энергетическая интенсивность

$$[I] = \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$



Эффект Пойнтинга — Робертсона



Аберрация света — изменение направления распространения света (излучения) при переходе из одной системы отсчёта к другой.

Пылинка движется по круговой орбите вокруг Солнца.

(a) В системе отсчёта, связанной с пылинкой, в результате аберрации света солнечное излучение слегка наклонено против движения частицы. Если пылинка достаточно мала, можно считать, что её температура постоянна по всей поверхности, поэтому тепловое излучение можно считать изотропным.

(b) В системе отсчёта, связанной с Солнцем, тепловое излучение пылинки анизотропно из-за аберрации и эффекта Доплера.

Сохранение импульса и момента импульса



Эффект Пойнтинга — Робертсона

Сила Пойнтинга – Робертсона равна:

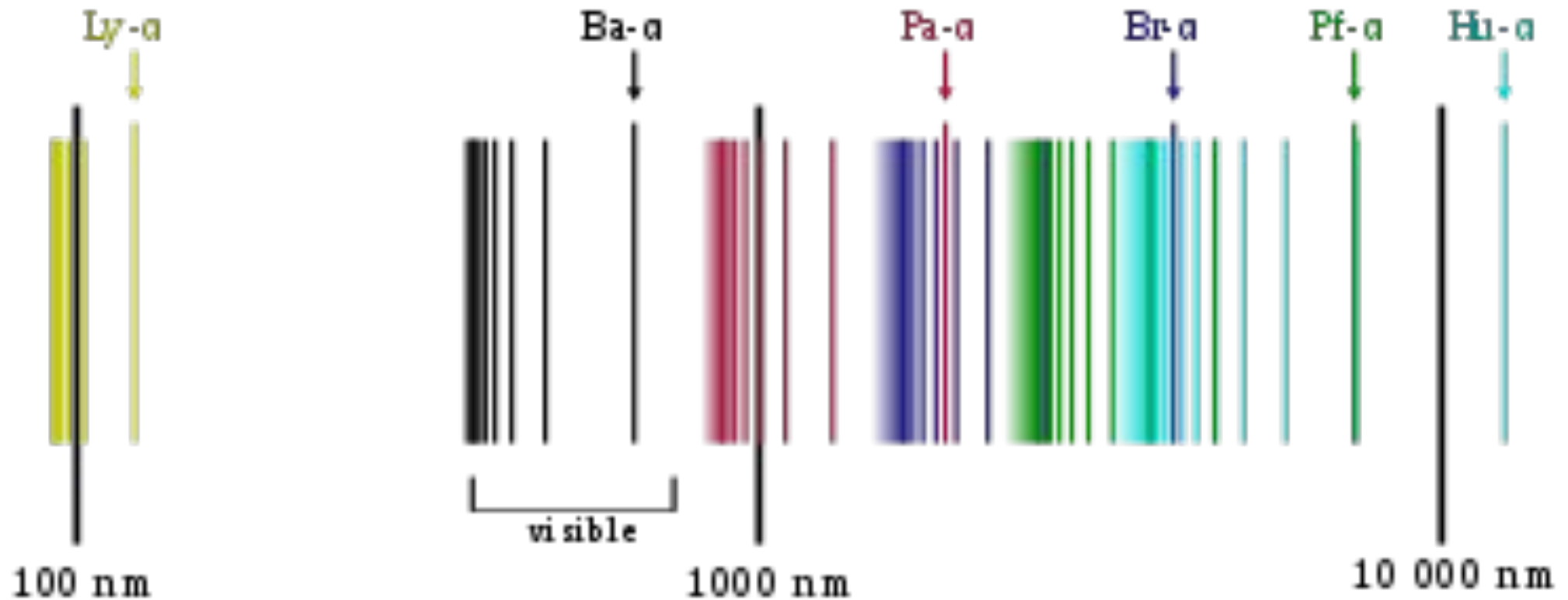
$$F_{PR} = \frac{Wv}{c^2}$$

W – мощность излучения, v – скорость частицы, c – скорость света.
Для круглой частицы

$$F_{PR} = \frac{r^2}{4c^2} \sqrt{\frac{GM_s L_s^2}{R^5}}$$

где r – радиус частицы, G – гравитационная постоянная, M_s – масса Солнца, L_s – светимость Солнца, R – расстояние до частицы.

Излучение атома водорода



Серии излучения атомов водорода

1. Серия Лаймана.

Открыта Т. Лайманом в 1906 году. Все линии серии находятся в ультрафиолетовом диапазоне. Линия $L\alpha = 1216 \text{ \AA}$ является резонансной линией водорода. Граница серии — $911,8 \text{ \AA}$.

2. Серия Бальмера.

Открыта И. Я. Бальмером в 1885 году. Первые четыре линии серии находятся в видимом диапазоне и были известны задолго до Бальмера, который предложил эмпирическую формулу для их длин волн и на её основе предсказал существование других линий этой серии в ультрафиолетовой области. Линия $H\alpha = 6565 \text{ \AA}$, граница серии — 3647 \AA .

Серии излучения атомов водорода

3. Серия Пашена

Предсказана Ритцем в 1908 году на основе комбинационного принципа. Открыта Ф. Пашеном в том же году. Все линии серии находятся в инфракрасном диапазоне. линия $P\alpha = 18\,756$ Å, граница серии — 8206 Å.

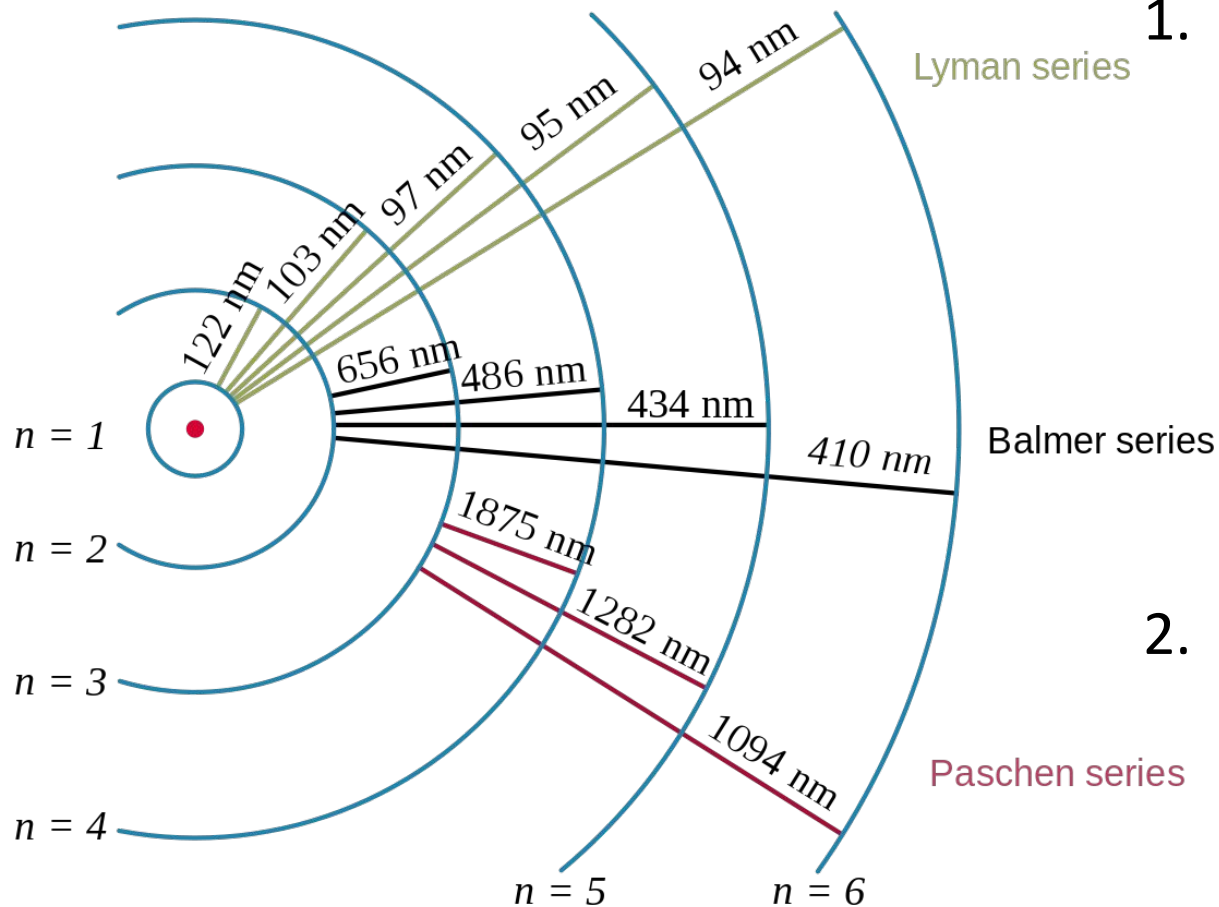
4. Серия Брэкетта

5. Серия Пфунда

6. Серия Хэмпфри

7. Серия Хансена — Стронга

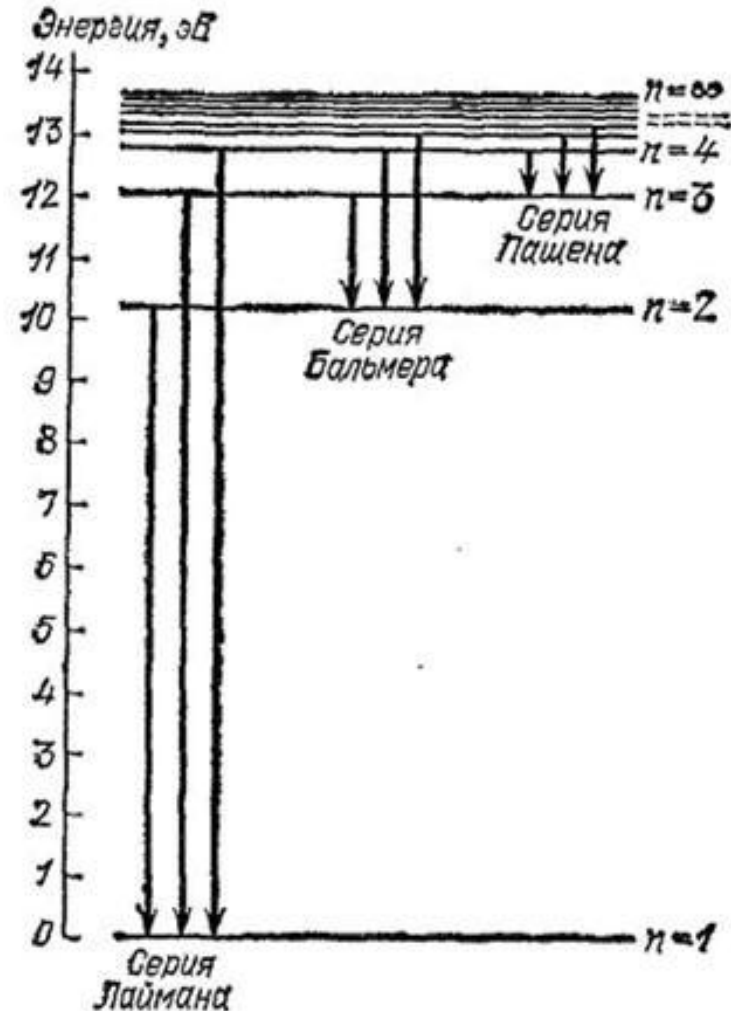
Модель Бора



1. Атом и атомные системы могут длительно пребывать только в особенных стационарных или квантовых состояниях, каждому из которых соответствует определённая энергия. В стационарном состоянии атом не излучает электромагнитных волн.
2. Излучение света происходит при переходе электрона из стационарного состояния с большей энергией в стационарное состояние с меньшей энергией. Энергия излучённого фотона равна разности энергий стационарных состояний.

Энергетические уровни атома

водорода



Энергия излученного или поглощённого фотона при переходе с уровня m на n

$$E_{mn} = 13,6\text{эВ} \cdot \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

Правило частот

$$\nu_{mn} = R \cdot c \cdot \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

Для длин волн

$$\frac{1}{\lambda_{mn}} = R \cdot \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

$R = 10973731.568508(65) \text{ м}^{-1}$ – постоянная Ридберга

Спектр водородоподобного атома

Энергия излученного или поглощённого фотона при переходе с уровня m на n

$$E_{mn} = 13,6\text{эВ} \cdot Z^2 \cdot \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

Правило частот

$$\nu_{mn} = R \cdot Z^2 \cdot c \cdot \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

Для длин волн

$$\frac{1}{\lambda_{mn}} = Z^2 \cdot R \cdot \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

$R = 10973731.568508(65) \text{ м}^{-1}$ – постоянная Ридберга

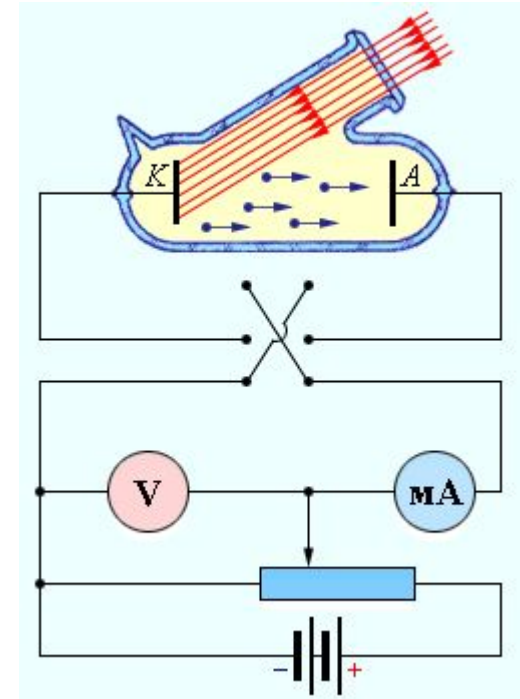
Z – порядковый номер атома

Фотоэффект

Законы внешнего фотоэффекта:

1. Сила фототока насыщения прямо пропорциональна интенсивности светового излучения.
2. Максимальная кинетическая энергия вырванных светом электронов возрастает с частотой света и не зависит от его интенсивности.
3. Для каждого вещества при определённом состоянии его поверхности существует граничная частота света, ниже которой фотоэффект не наблюдается. Эта частота и соответствующая длина волны называется красной границей фотоэффекта.

Кроме того, фотоэффект обладает свойством практической безынерционности. Он немедленно возникает при освещении поверхности тела, при условии, что частота света выше или равна красной границе фотоэффекта и эффект существует.



Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта

- $$h\nu = \frac{mv^2}{2} + A_{\text{ВЫХ}}$$

Спектры атомов

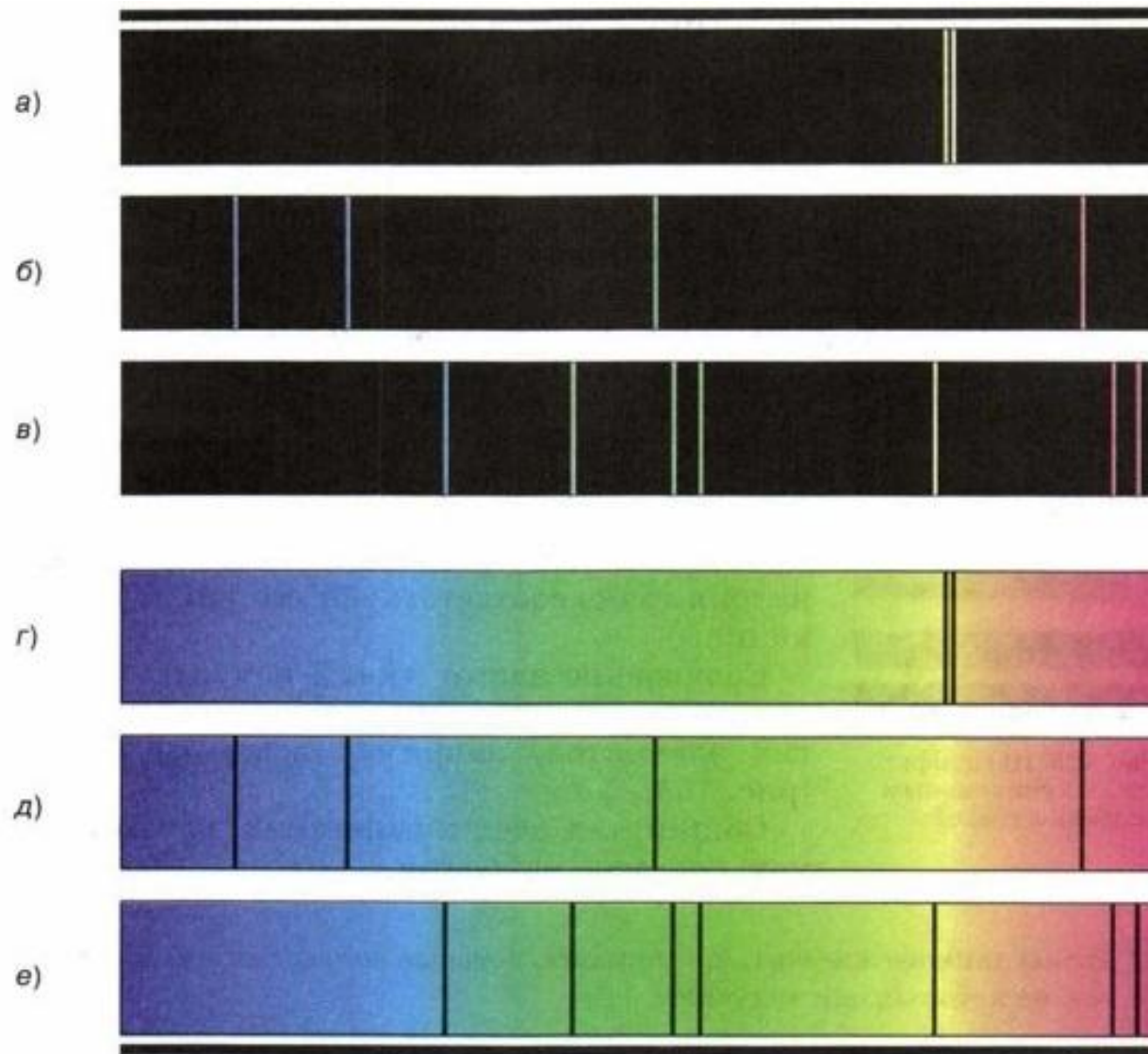
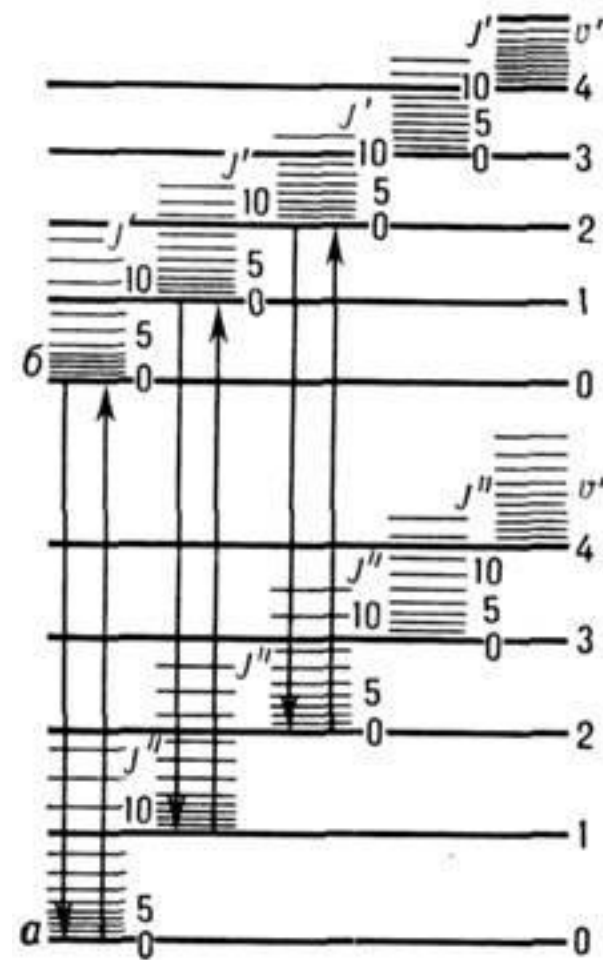
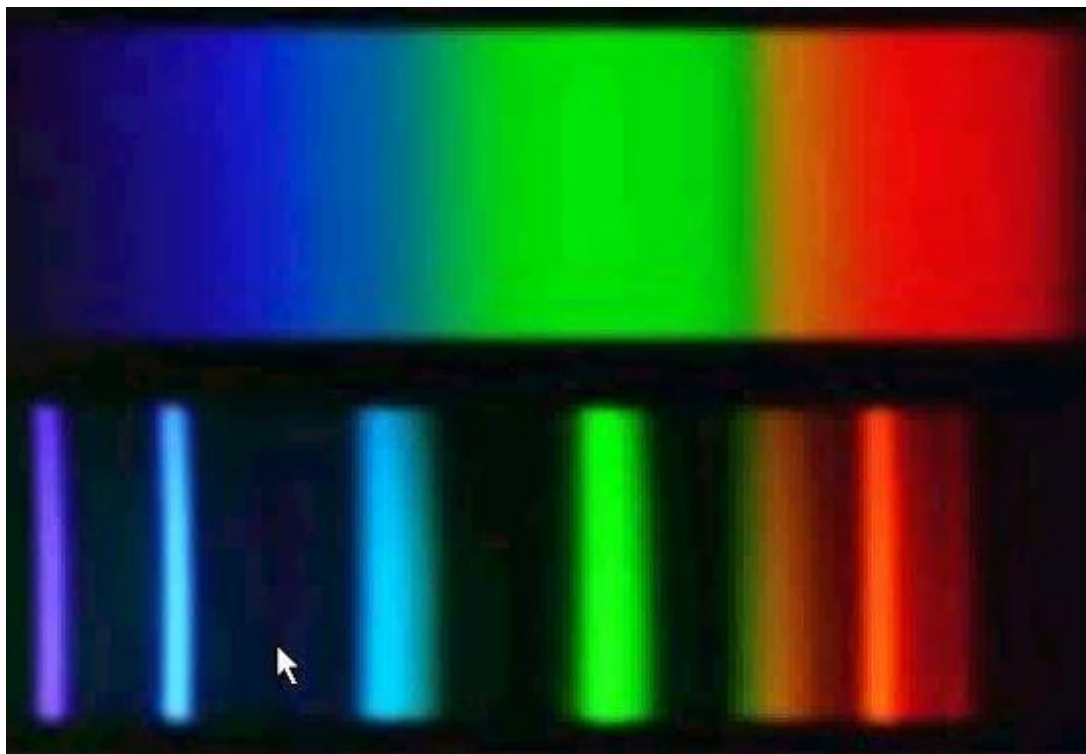


Рис. 154. Спектры
испускания:
а — натрия;
б — водорода;
в — гелия.

Спектры
поглощения:
г — натрия;
д — водорода;
е — гелия

Спектры молекул



Абсолютно черное тело

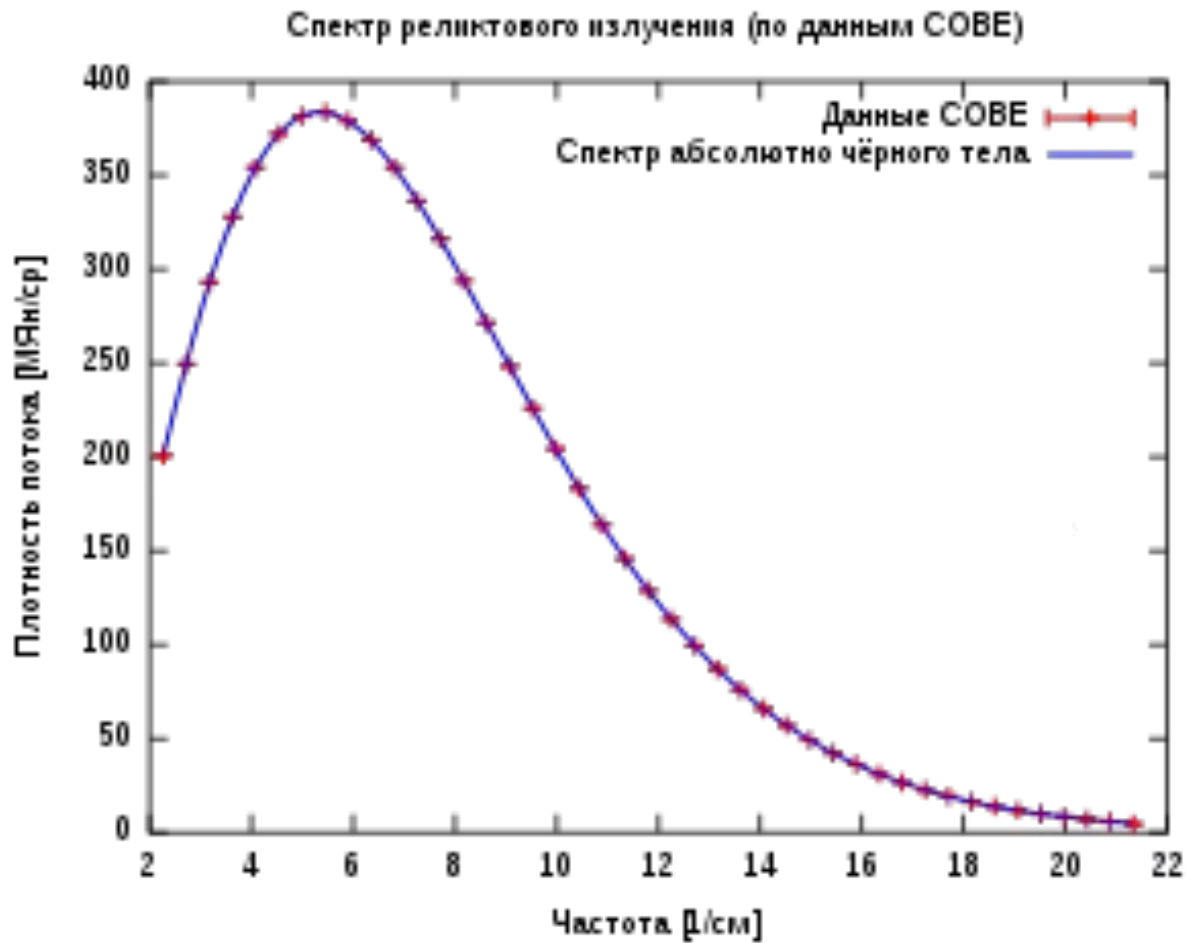
Мощность, излучаемой телом энергии (она же светимость) L

Энергетическая светимость $\frac{L}{S_{\text{ПОВ}}} = \sigma T^4$

Спектральная плотность потока излучения (Янские)

$$1 \text{ Ян} = 10^{-26} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{Гц}}$$

Излучательная способность



$$\epsilon_\nu d\nu = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} d\nu$$

$$\epsilon_\lambda d\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/(\lambda kT)} - 1} d\lambda.$$

Закон Вина

$$\lambda_{\max} = \frac{0,00290}{T}$$

Предельные случаи

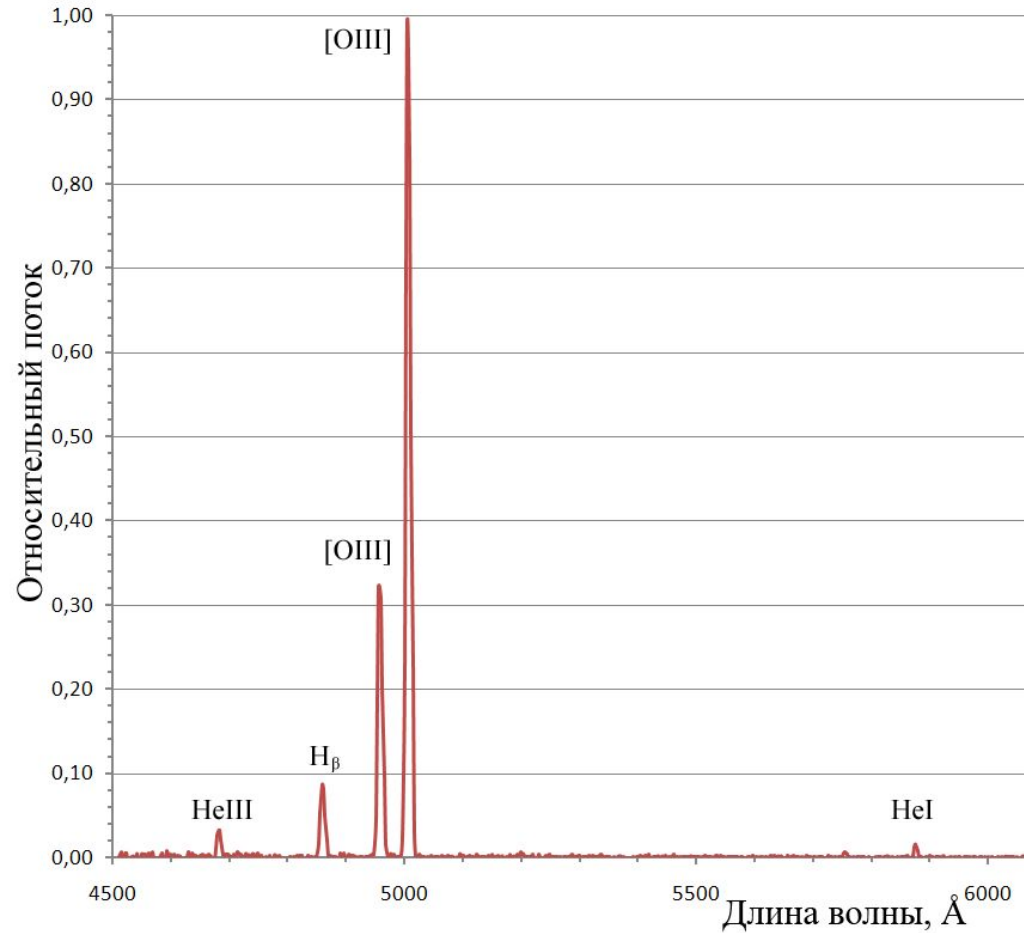
Приближение Релея-Джинса (малые частоты, большие длины волн)

$$\epsilon_{\lambda} = \frac{2\pi c}{\lambda^4} kT.$$

Формула Вина (большие частоты, малые длины волн)

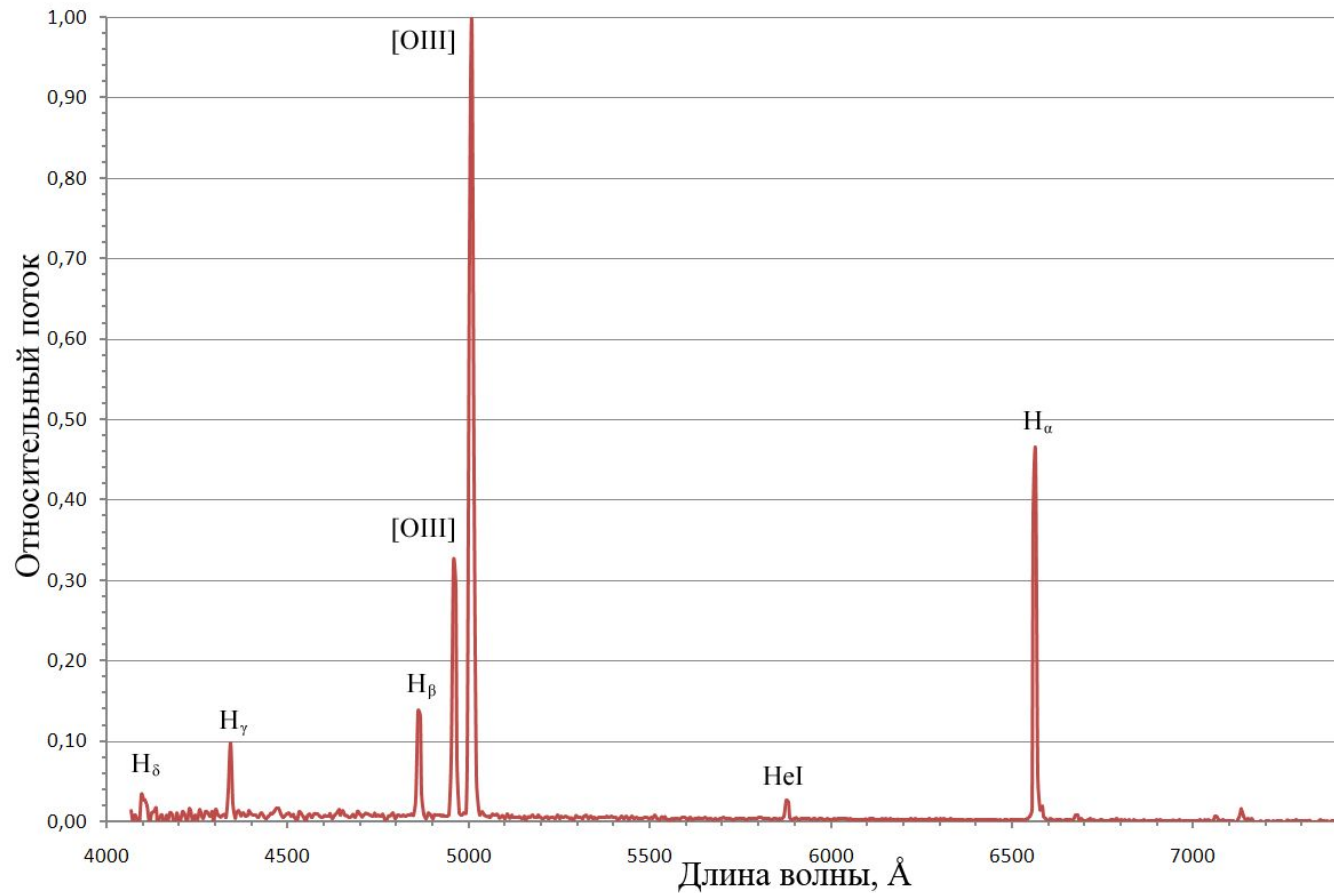
$$\epsilon_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} e^{-hc/(\lambda kT)}$$

Туманность Кольцо



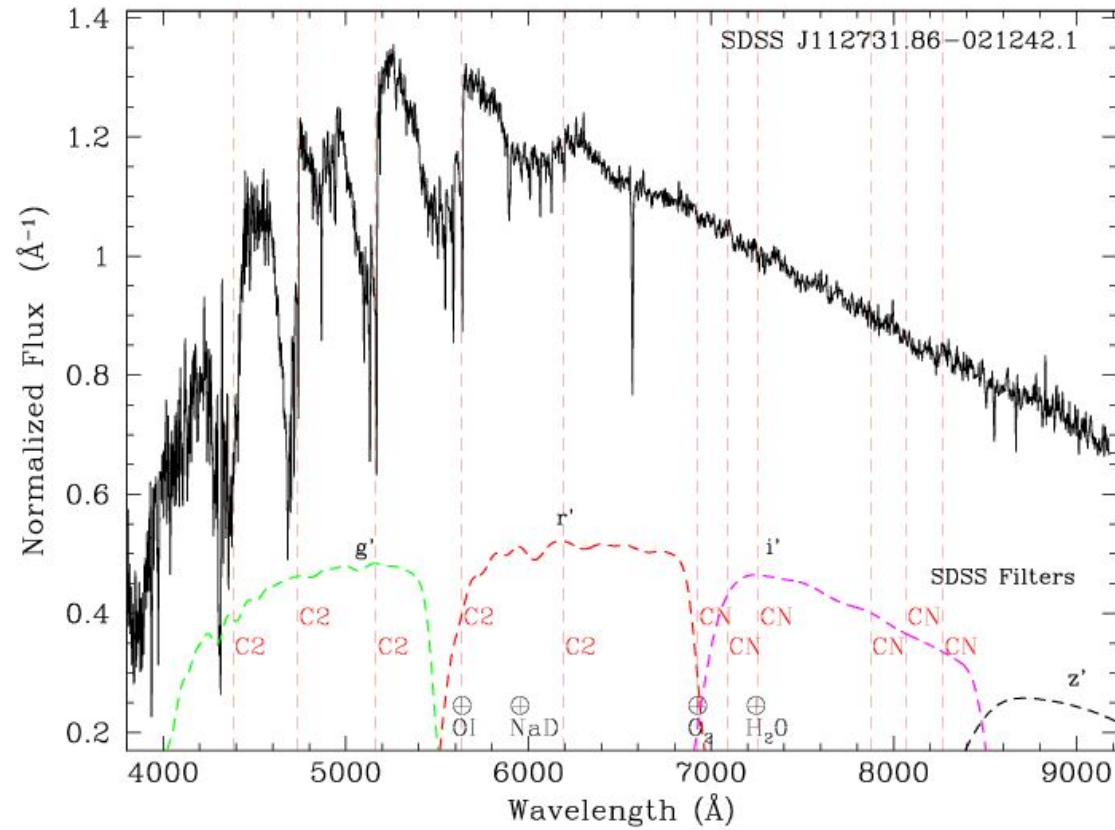
Свечение туманности вызывается ультрафиолетовым излучением упомянутого белого карлика, которое ионизует газы туманности — остатки сброшенной атмосферы центральной звезды, бывшего красного гиганта. Зелёный цвет внутренней части туманности обусловлен наличием в спектре её света эмиссионных линий дважды ионизованного кислорода (длина волны 495,7 нм и 500,7 нм). Это «запрещенные линии», которые появляются только в условиях очень малой плотности газа — несколько атомов на см³. Во внешней части кольца красный оттенок вызван отчасти присутствием эмиссионной линии водорода H α из серии Бальмера (656,3 нм), и отчасти — наличием запрещенных линий ионизованного азота (654,8 нм и 658,3 нм).

Мерцающая туманность

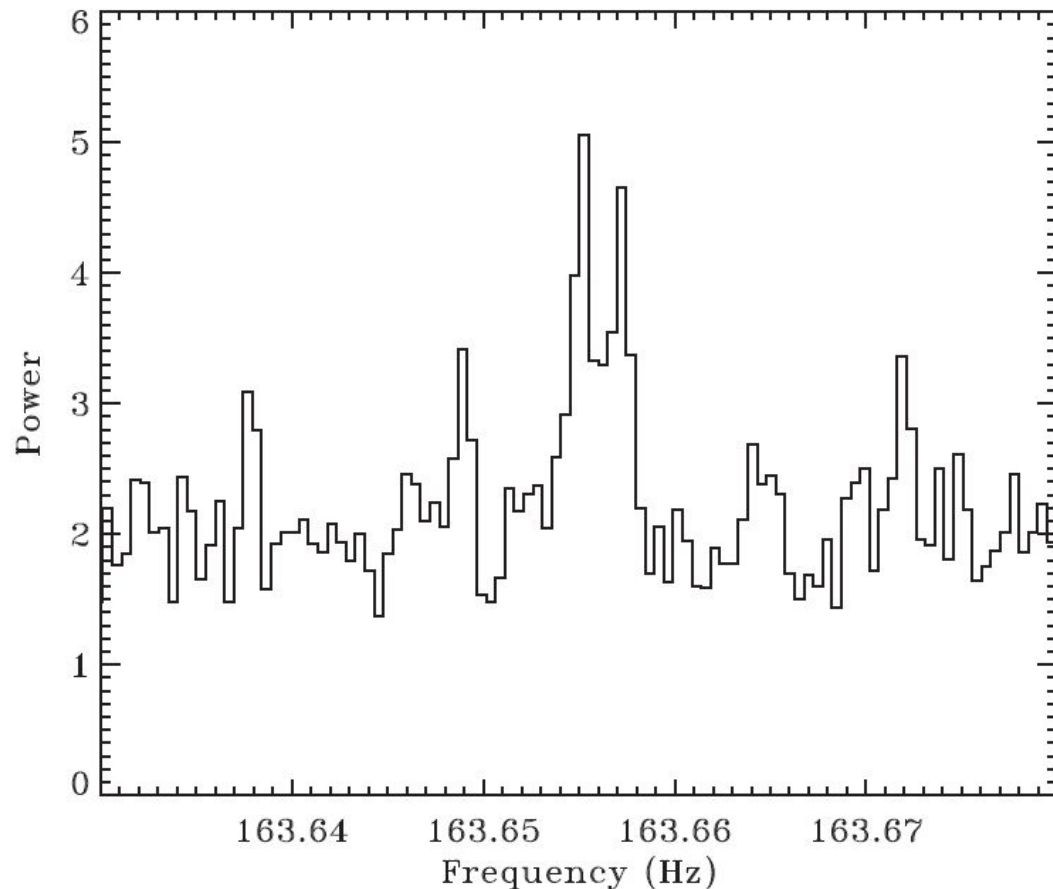


Спектр туманности в диапазоне 4067 — 7421 Å. В левой части спектра видны линии водорода (H_δ, 4102 Å, H_γ, 4341 Å и H_β, 4861 Å) и две запрещённые линии кислорода ([OIII], 4959 Å и [OIII], 5007 Å), в правой части — линия гелия (HeI, 5876 Å) и линия водорода (H_α, 6563 Å).

Spectrum of a G-type FHLC star.



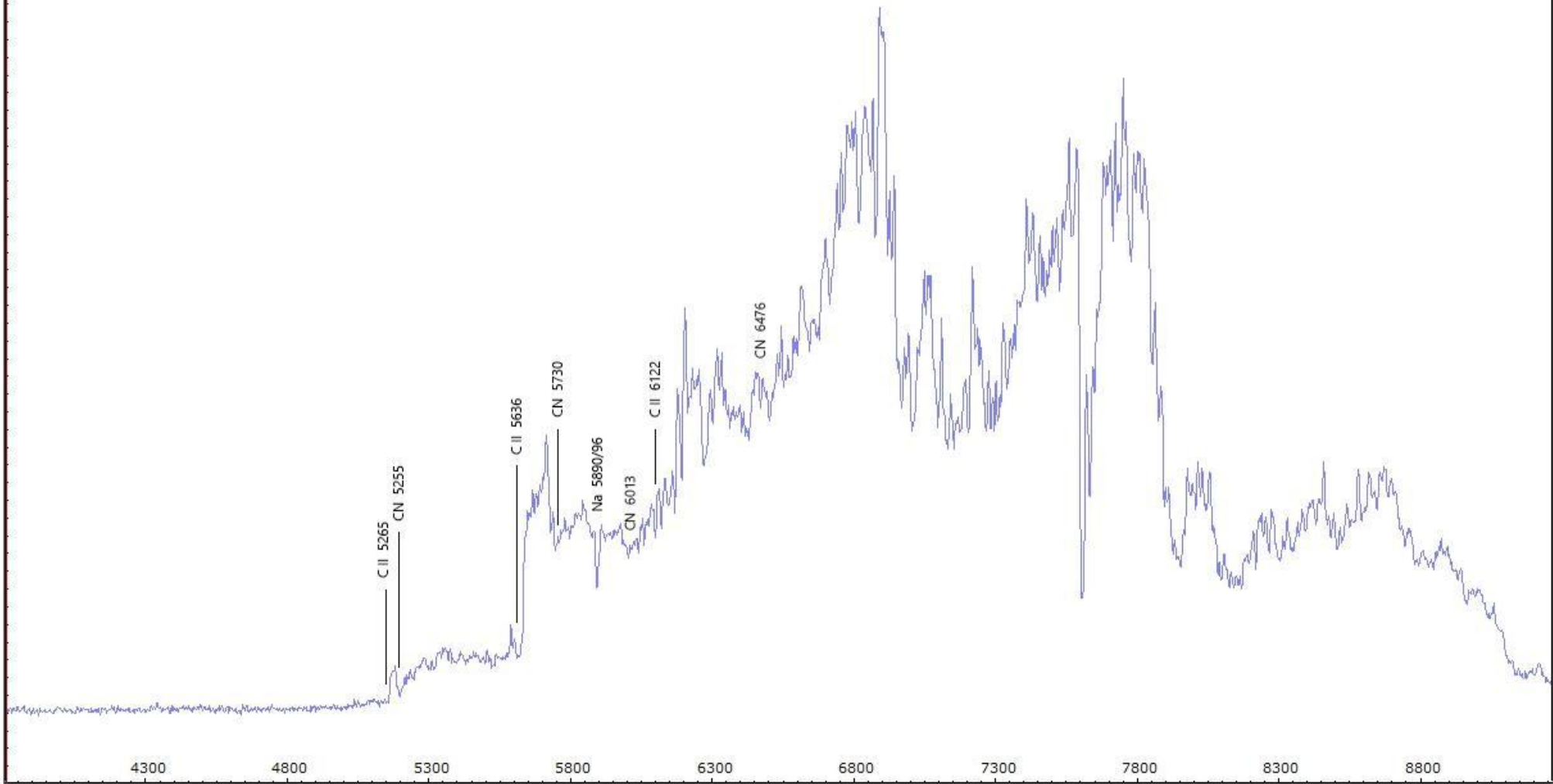
Нейтронные звёзды



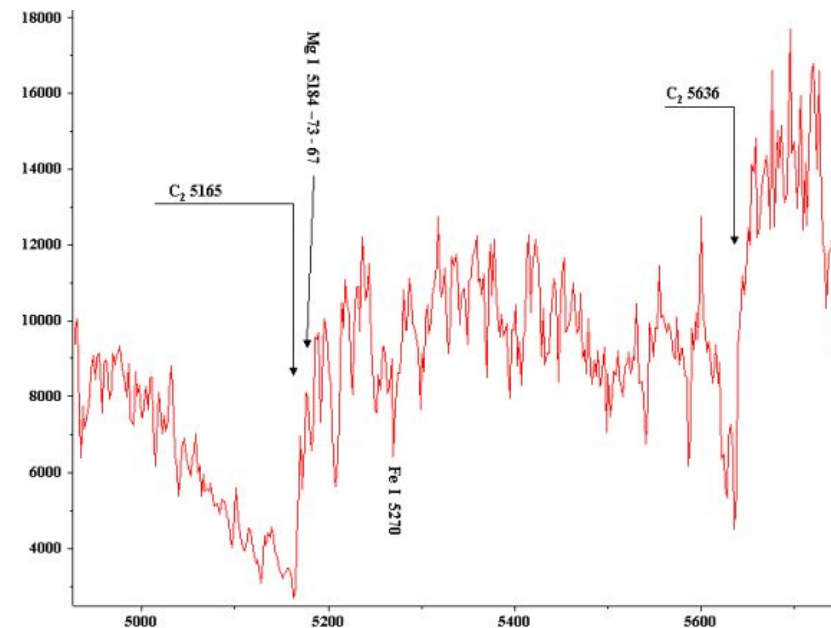
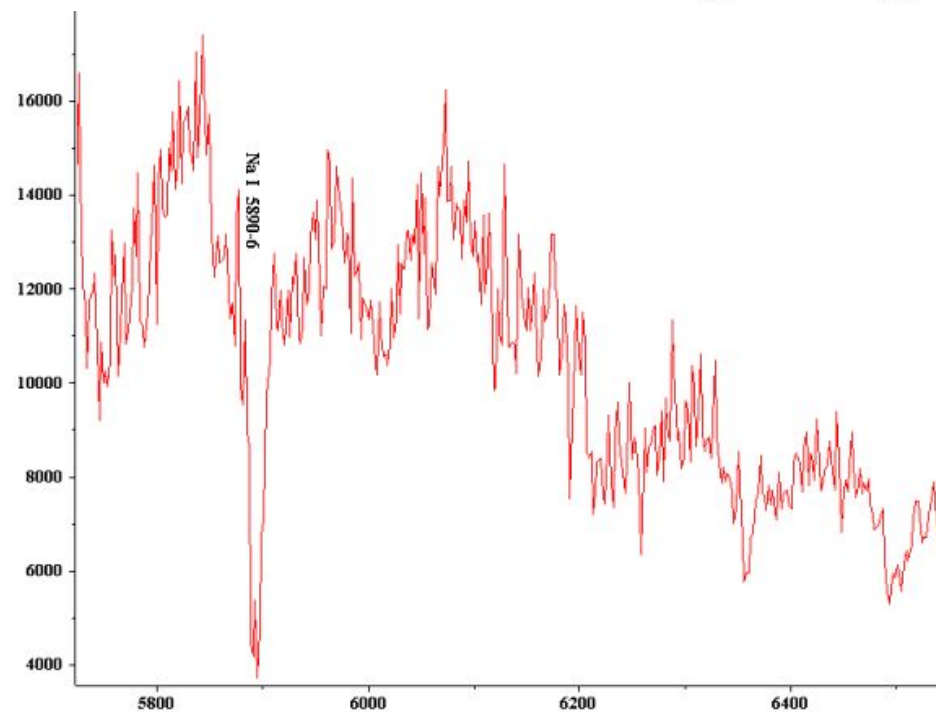
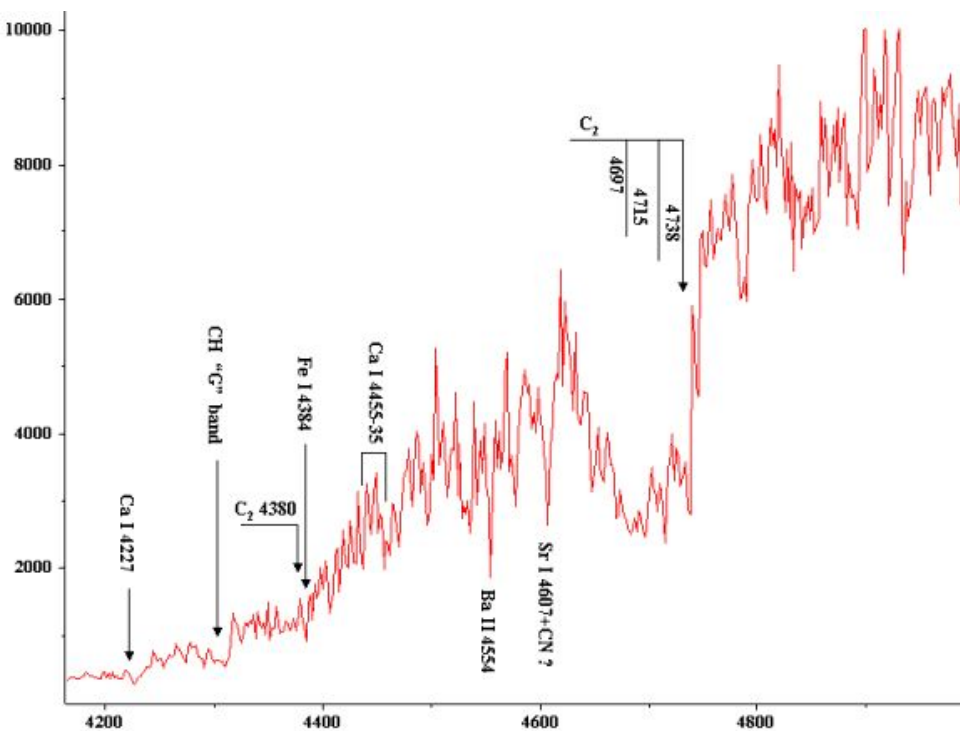
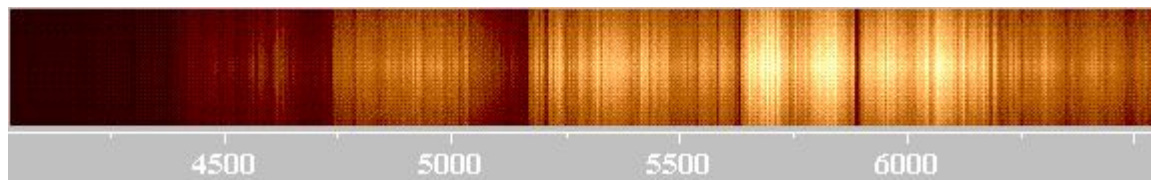
Спектр пульсара J1706, полученный прибором NICER. Два пика по центру графика соответствуют смещению наблюдаемой частоты вращения пульсара из-за его вращения вокруг белого карлика. Левый пик появляется, когда пульсар движется к нам, правый - когда от нас



T Lyrae (Carbon Star) - 2017-10-17 18:32:06.090 - SASP 300 l/mm, SC 12" a f/6.3 , 2,57 A/px - Sauro Donati Observatory



Углеродные звёзды

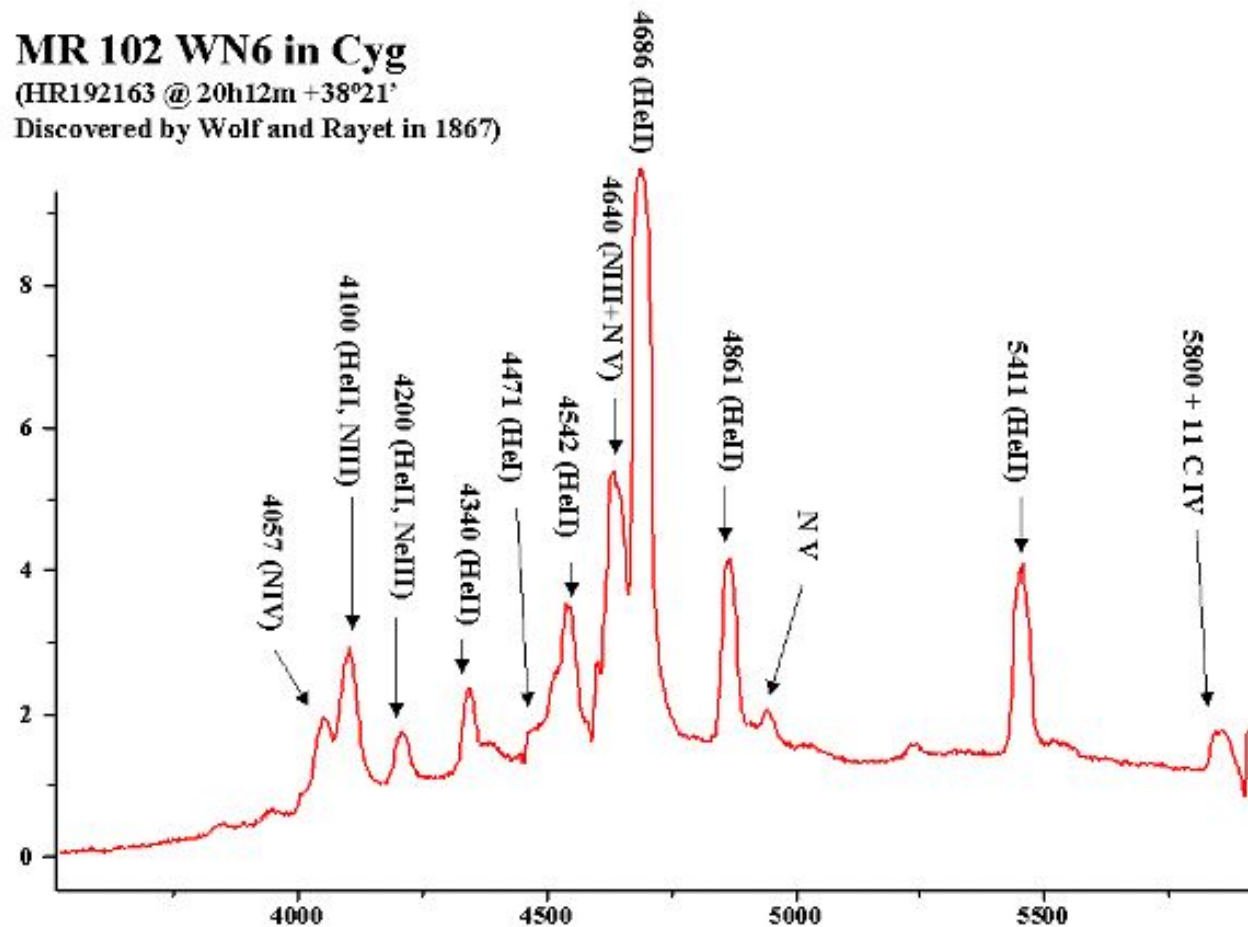


Звезда Вольфа-Райе

MR 102 WN6 in Cyg

(HR192163 @ 20h12m +38°21')

Discovered by Wolf and Rayet in 1867)



- **§12.1. Квантовая природа света**

- Квантово-механическая модель атома. Понятие об энергетических уровнях электронов.
- Квантовые и волновые свойства света. Фотоны, фотоэффект. Энергия и импульс квантов, связь с частотой и длиной волны. Давление света. Эффект Пойнтинга-Робертсона.

-

- **§12.2. Основы спектрального анализа**

- Спектр излучения. Понятие спектральной линии излучения и поглощения, линейчатый и непрерывный спектр. Спектр атома водорода и водородоподобных ионов. Виды задания спектра (как функции частоты или длины волны).