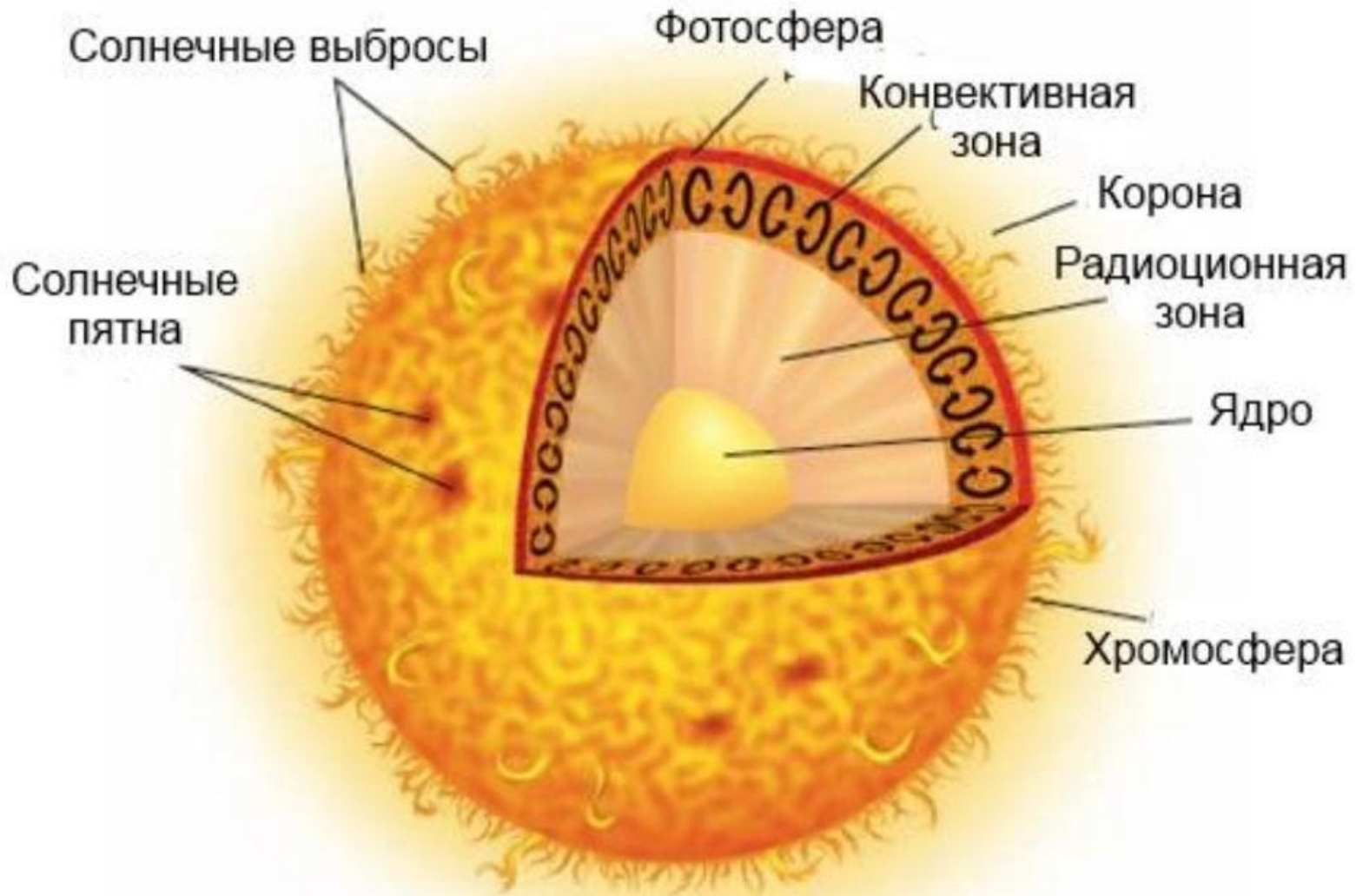


# Солнце и звезды

Часть 1

# Строение Солнца



ЛУЧ И Н О Р О Н Ы

Протуберанец

Хромосфера  
14 000 км

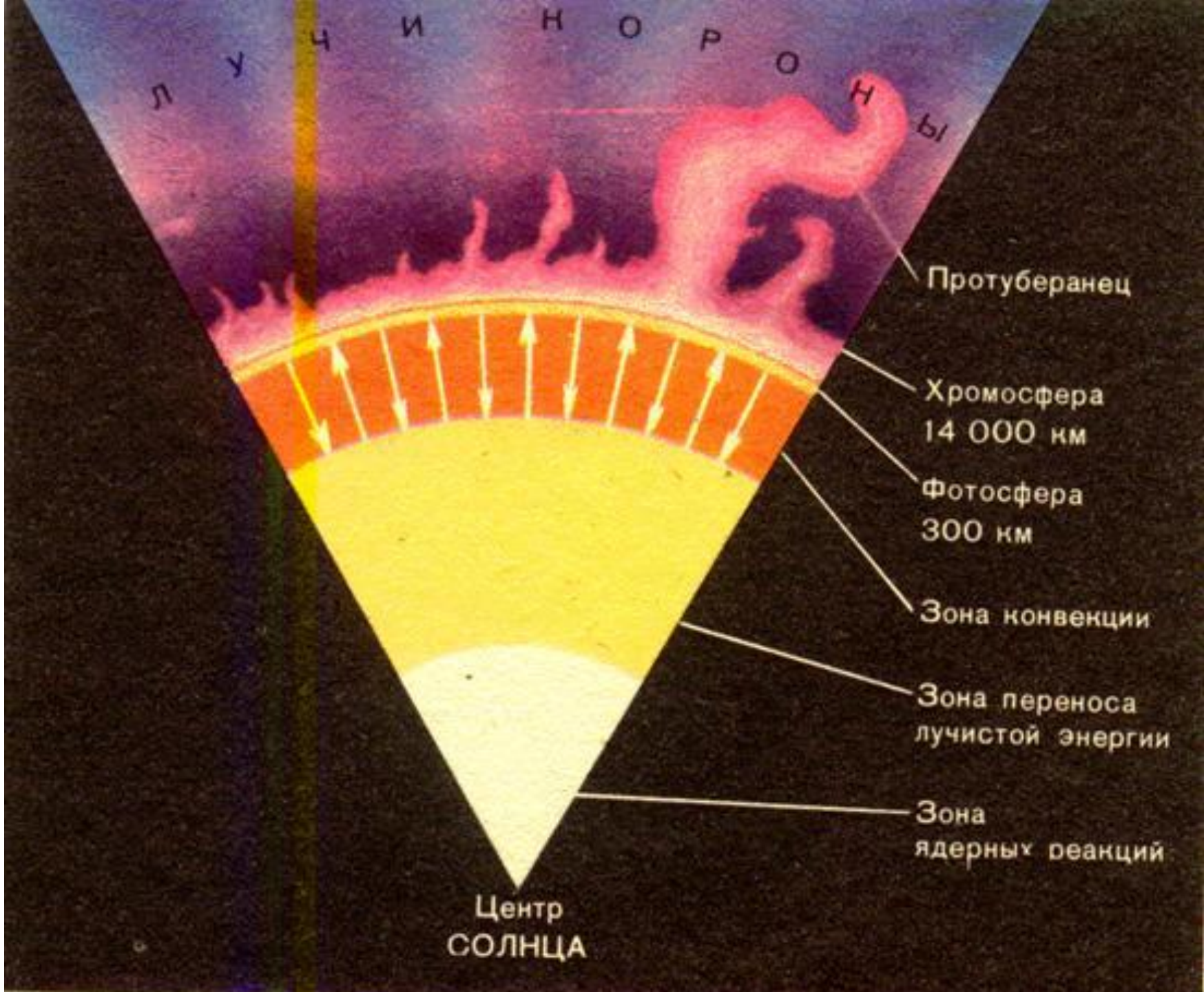
Фотосфера  
300 км

Зона конвекции

Зона переноса  
лучистой энергии

Зона  
ядерных реакций

Центр  
СОЛНЦА



# Физические условия в разных слоях Солнца



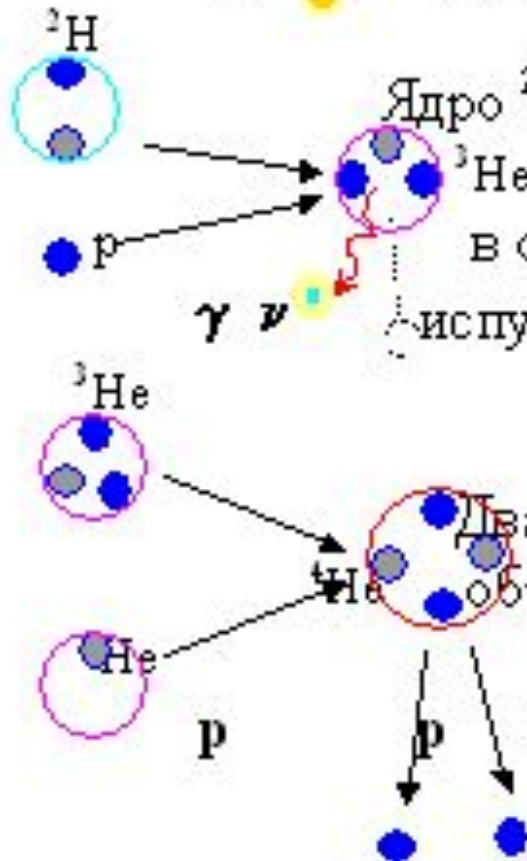
# Протон-протонный цикл

1. Два протона  $p$  объединяются в одно

ядро  ${}^2\text{H}$  атома водорода-2, при этом один из протонов превращается в нейтрон с испусканием электрона  $e^-$

2. Ядро  ${}^2\text{H}$  атома водорода-2 объединяется с протоном  $p$  в одно ядро  ${}^3\text{He}$  атома гелия-3 с испусканием кванта света  $\gamma$  и нейтрино  $\nu$ .

3. Два ядра  ${}^3\text{He}$  атомов гелия-3 объединяются в ядро  ${}^4\text{He}$  атома гелий-4 с испусканием двух протонов  $p$ .

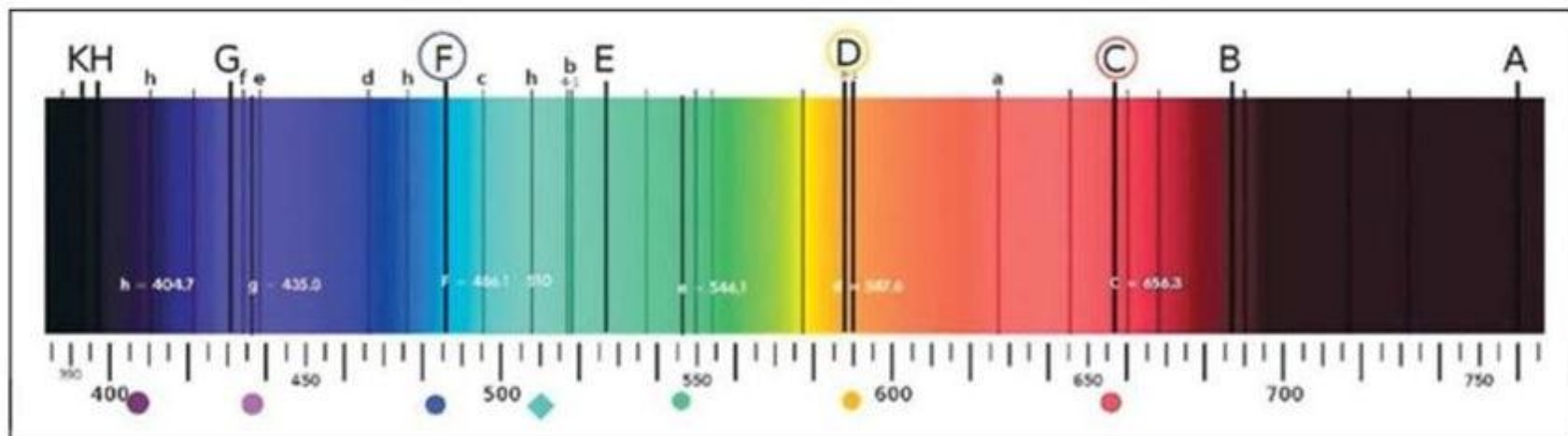


# ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СОЛНЦА

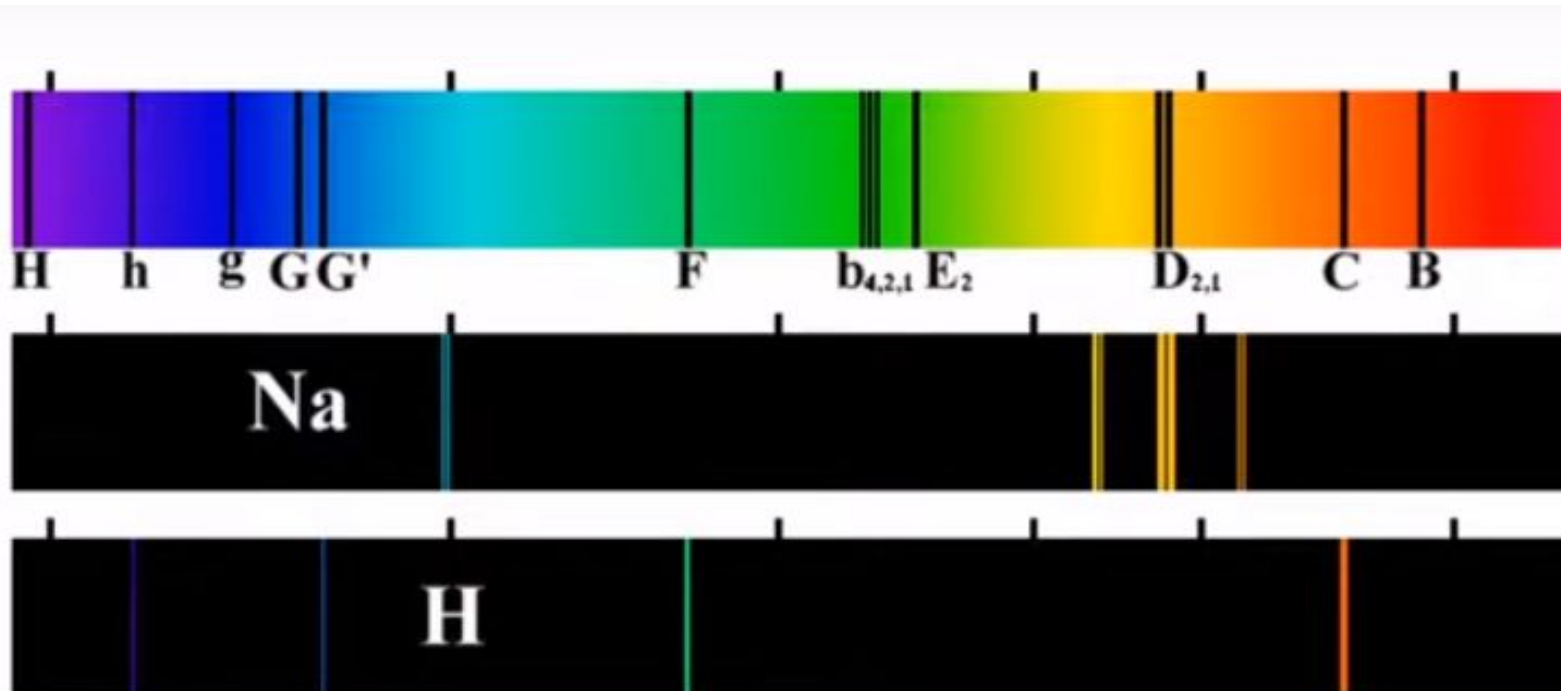
**ВОДОРОД**      **90.7 %** по числу атомов  
**74 %** по массе

**ГЕЛИЙ**      **9.1 %** по числу атомов  
**24 %** по массе

**ОСТАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ**      **0.2 %** по числу атомов  
**2 %** по массе

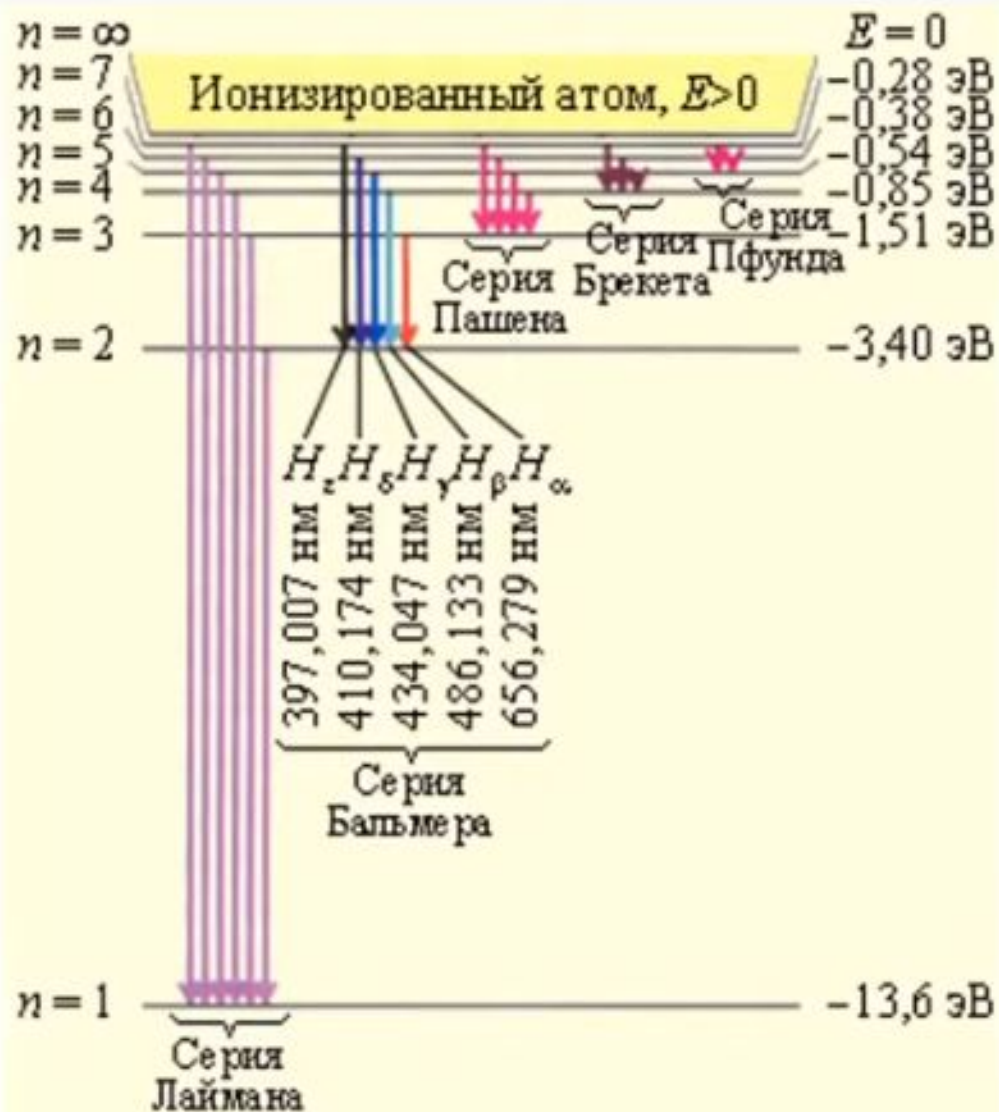


# Спектральный анализ



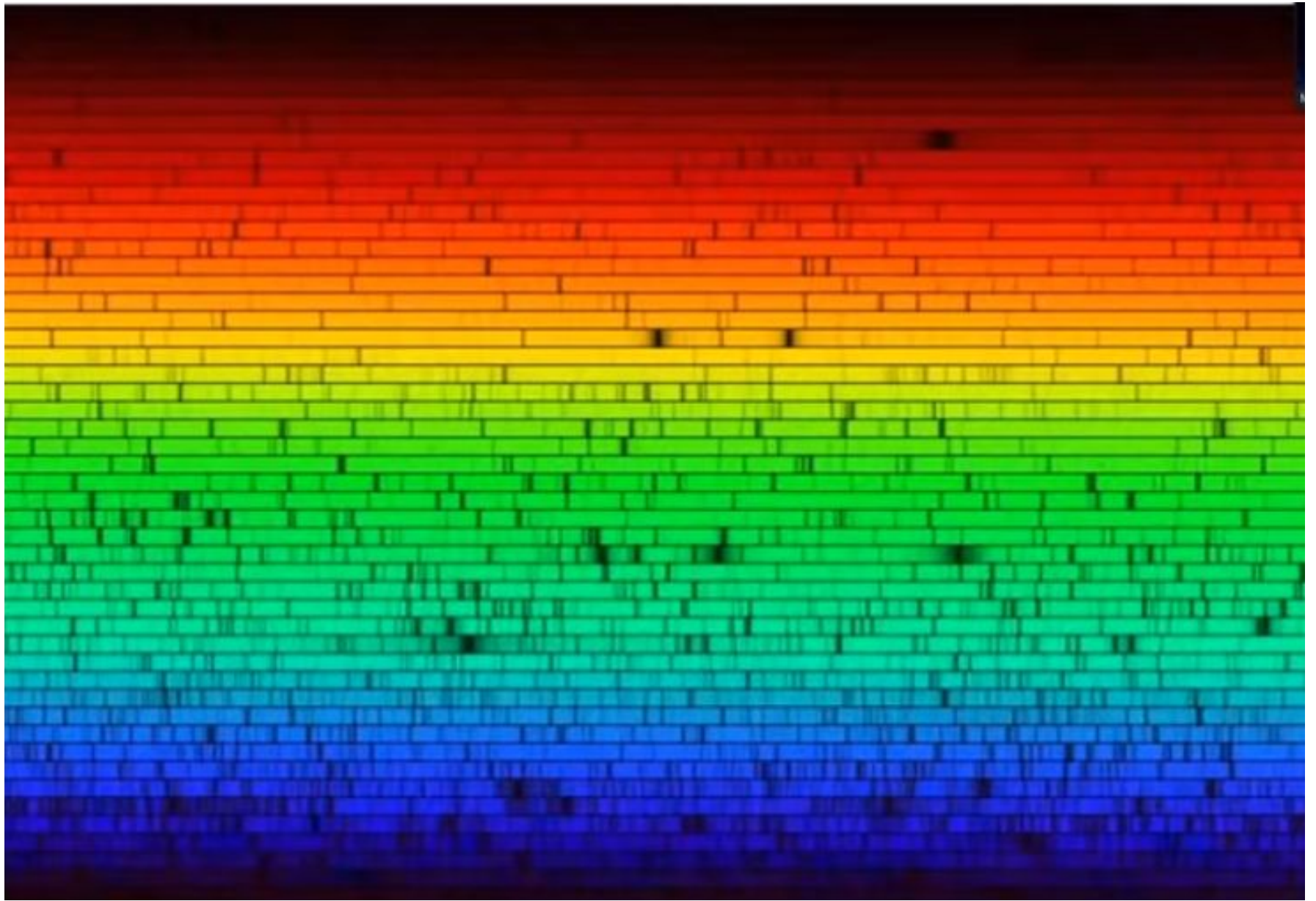
- В 1859 году Г. Кирхгоф и Р. Бунзен после серии экспериментов заключили: каждый химический элемент имеет свой неповторимый линейчатый спектр, и по спектру небесных светил можно сделать выводы о составе их вещества.

# Атом водорода





# Спектр Солнца



# Физические условия в разных слоях Солнца

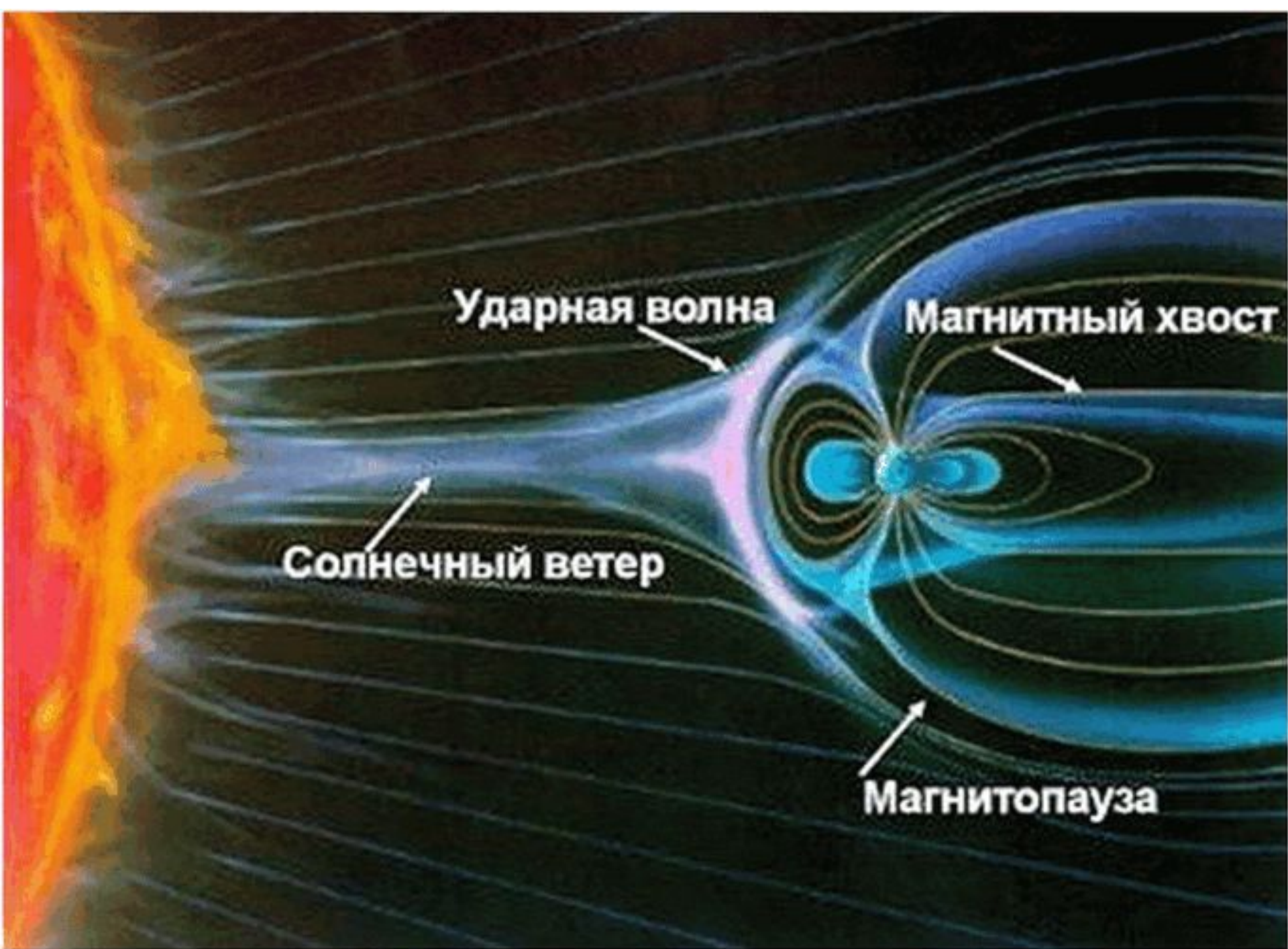


# Постоянные процессы

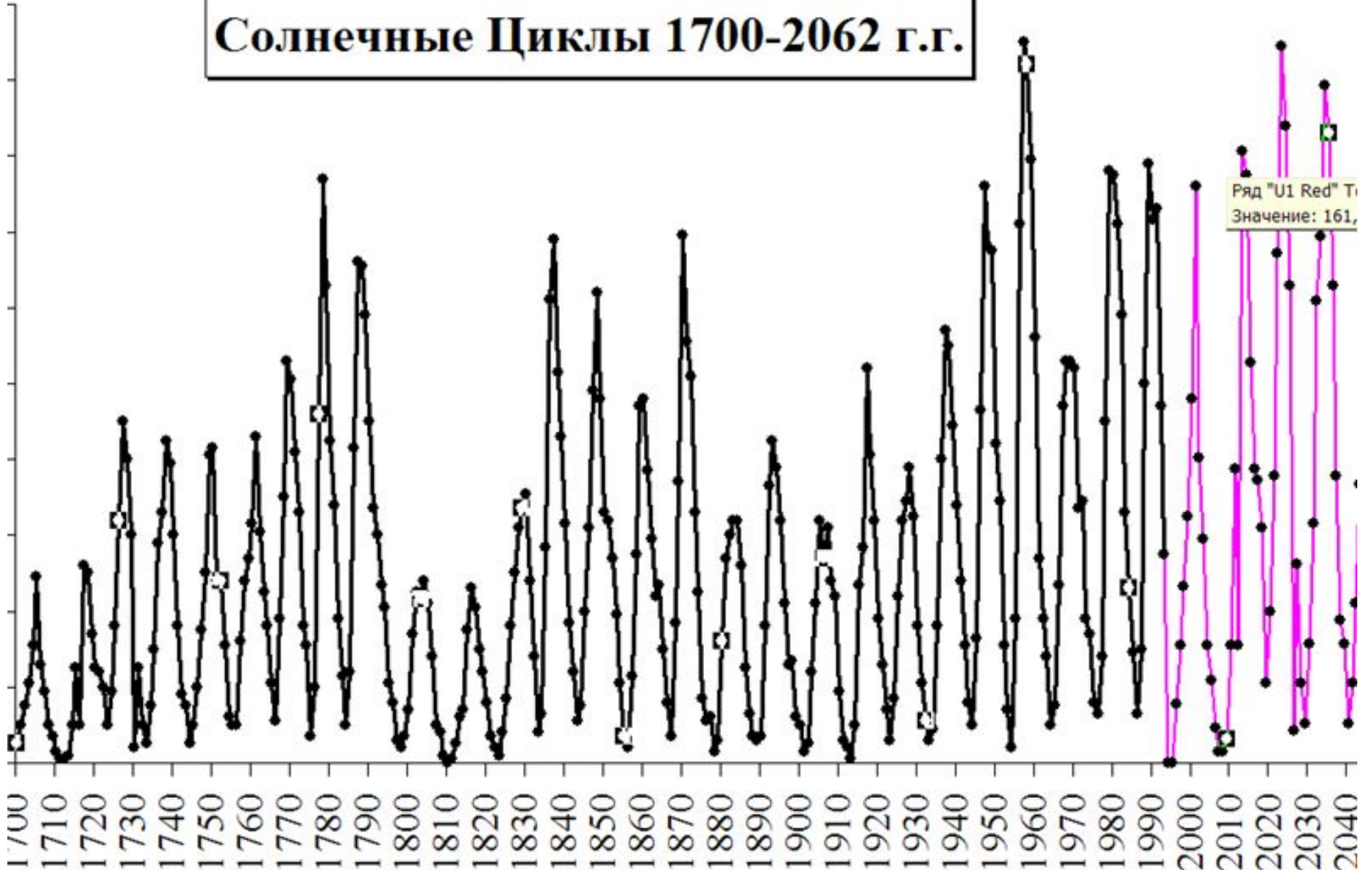
- Грануляция фотосферы
- Солнечный ветер – поток ионизированных частиц (в основном гелиево-водородной плазмы), истекающий из **солнечной** короны со скоростью 300—1200 км/с в окружающее космическое пространство (испарение короны).

# Нестационарные явления на Солнце

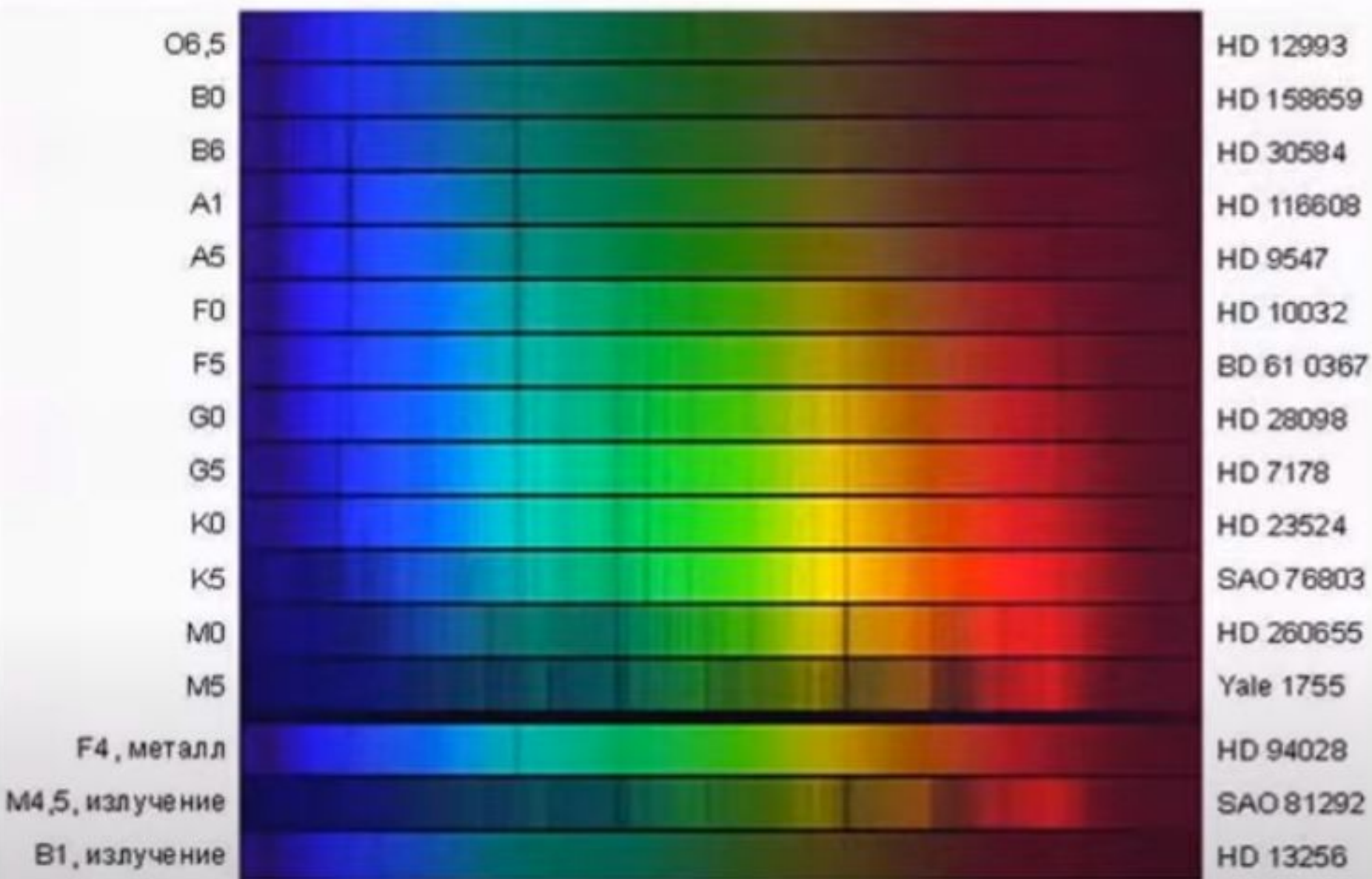
- Пятна – более холодные участки фотосферы ( $T=4500\text{ K}$ ).
- Вспышки – мощные взрывные процессы в фотосфере, при которых высвобождается энергия пятен (УФ, рентген., радиоизлучение, корпускулярный поток).
- Факелы – более горячие участки вокруг пятен.
- Протуберанцы – мощные выбросы вещества из хромосферы в корону.
- Период солнечной активности – примерно 11 лет



# Солнечные Циклы 1700-2062 г.г.



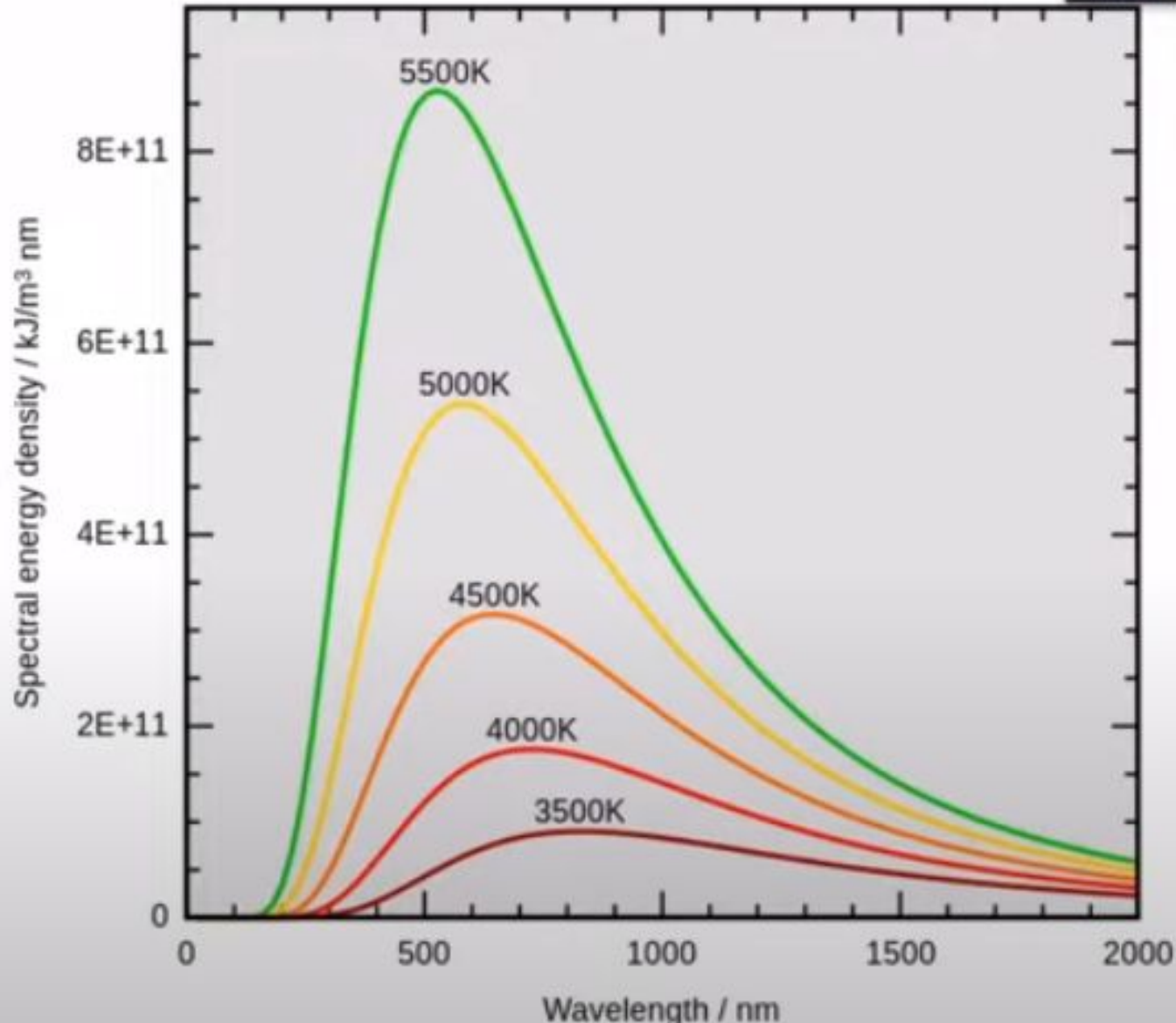
1700 1710 1720 1730 1740 1750 1760 1770 1780 1790 1800 1810 1820 1830 1840 1850 1860 1870 1880 1890 1900 1910 1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030 2040



# Закон смещения Вина

- Длина волны, при которой энергия излучения абсолютно чёрного тела максимальна

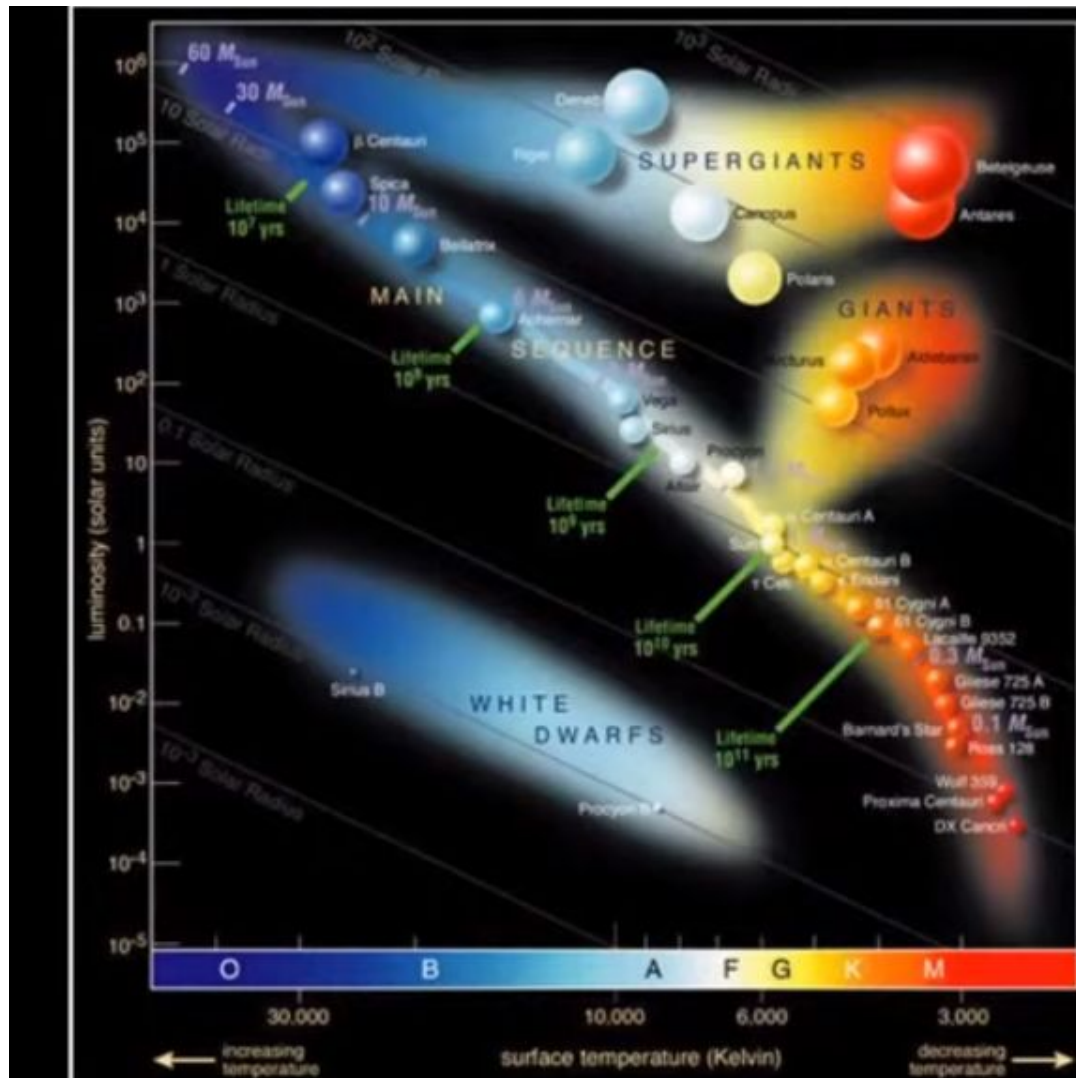
- $\lambda_{\text{макс}} = \frac{0,0029}{T} [\text{м}] = \frac{29 \cdot 10^6}{T} [\text{Å}]$





Спектральный класс	Цвет	Температура, К	Особенности спектра	Типичные звезды
W	Голубой	80 000	Излучения в линиях гелия, азота, кислорода	$\gamma$ Парусов
O	Голубой	40 000	Интенсивные линии ионизированного гелия, линий металлов нет	Минтака
B	Голубовато-белый	20 000	Линии нейтрального гелия. Слабые линии H и K ионизованного кальция	Спика
A	Белый	10 000	Линии водорода достигают наибольшей интенсивности. Видны линии H и K ионизованного кальция, слабые линии металлов	Сириус, Вега
F	Желтоватый	7 000	Ионизированные металлы. Линии водорода ослабевают	Процион, Канопус
G	Желтый	6 000	Нейтральные металлы, интенсивные линии ионизованного кальция K и H	Солнце, Капелла
K	Оранжевый	4 500	Линий водорода почти нет. Присутствуют слабые полосы окиси титана. Многочисленные линии металлов	Арктур, Альдебаран
M	Красный	3 000	Сильные полосы окиси титана и других молекулярных соединений	Антарес, Бетельгейзе
L	Темно-красный	2 000	Сильные полосы SrH, рубидия, цезия	Kelut-1
T	"Коричневый карлик"	1 500	Интенсивные полосы поглощения воды, метана, молекулярного водорода	Gliese 229B

# Диаграмма Герцшпрунга-Рассела («спектр-светимость»)



## Размеры звёзд

- Сверхгиганты  
 $10^2 R_{\odot} < R < 10^4 R_{\odot}$
- Гиганты  
 $10 R_{\odot} < R < 10^2 R_{\odot}$
- Карлики  
 $10^{-1} R_{\odot} < R < 10 R_{\odot}$
- Белые карлик  
 $\sim R_{\oplus}$
- Нейтронные  
звезды  
 $\sim 10 \text{ км}$

# Задача 1

- Две звезды имеют одинаковые массы и светимости, но поверхность одной из них вдвое горячее поверхности второй. У какой из звезд средняя плотность больше? Во сколько раз?

# Решение

- По закону Стефана-Больцмана светимость звезды пропорциональна  $R^2 T^4$ , где  $R$  и  $T$  – ее радиус и температура. Равенство светимостей при температурах, отличных в два раза, означает, что более холодная звезда имеет радиус, в 4 раза больший, чем у горячей звезды. А при равенстве масс это означает, что плотность более холодной звезды в 64 раза меньше, чем у горячей звезды.

## Задача 2

- Как изменится светимость Солнца, если вся его поверхность покроется пятнами? Принять температуру Солнца 6000 К, пятна – на 1000 К меньше.

# Задача 3

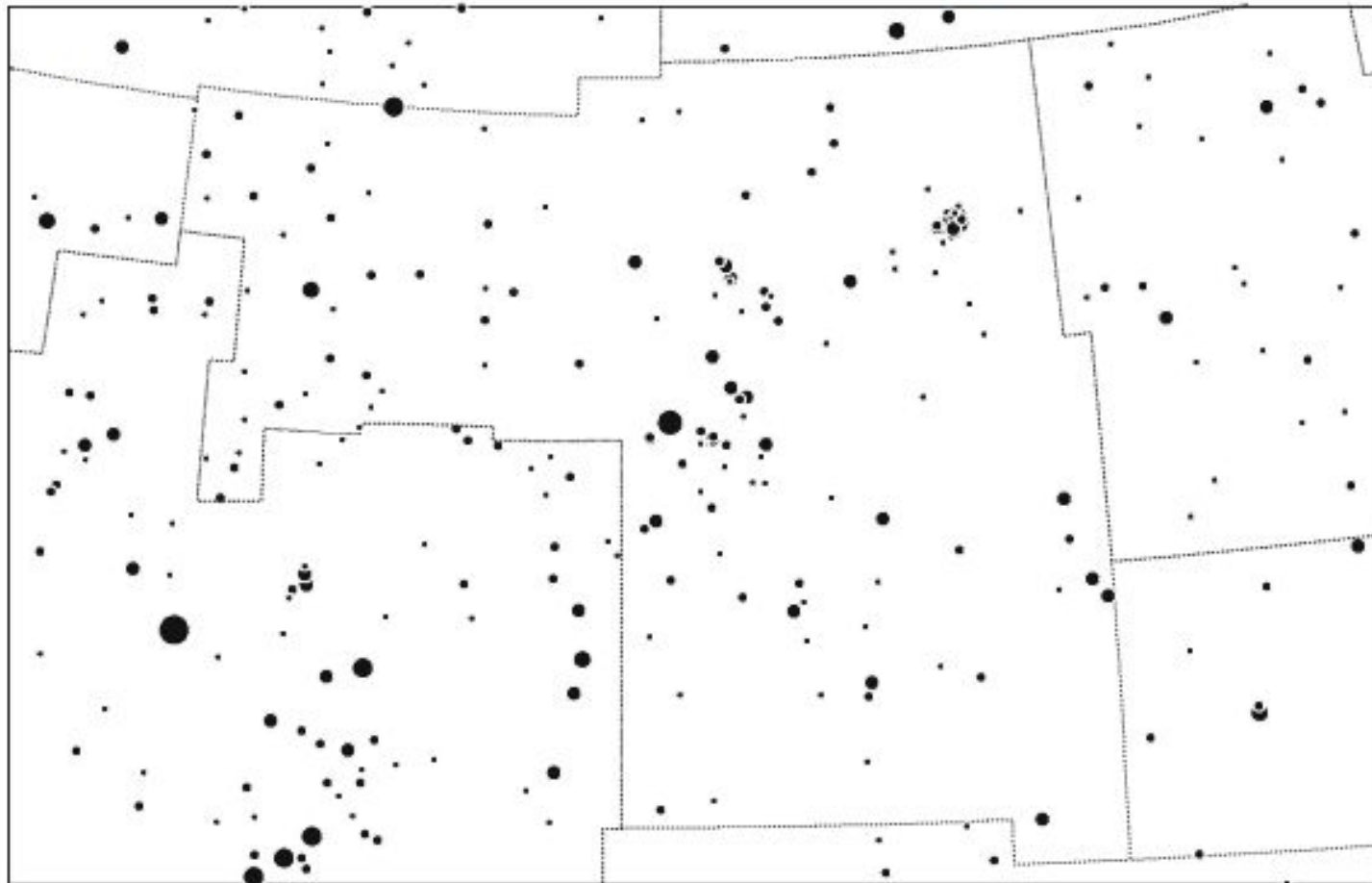
- Какие звезды больше – голубые сверхгиганты или красные сверхгиганты? Почему?

# Решение

- Как известно, красные и голубые сверхгиганты имеют практически одинаковую светимость  $L$ . Это отражается на диаграмме Герцшпрунга-Рассела, на которой ветвь сверхгигантов имеет горизонтальный вид. В то же время голубые сверхгиганты значительно горячее красных. Следовательно, чтобы обеспечить такую же светимость, красные сверхгиганты должны быть существенно больше голубых сверхгигантов.

# Задача 4

На рисунке представлено одно из созвездий, видимых с территории нашей страны. Назовите это созвездие, подпишите на выданной карте известные вам названия звезд, дорисуйте и подпишите известные вам объекты (галактики, туманности, звездные скопления). Подпишите на границах созвездия названия его соседей по небесной сфере. Можно ли сегодня увидеть это созвездие? Если да, то в какое время суток?





- [https://go.mail.ru/search\\_video?fr=ps&gp=874504&q=термоядерные%20реакции%20в%20ядре%20солнца&frm=ws\\_t](https://go.mail.ru/search_video?fr=ps&gp=874504&q=термоядерные%20реакции%20в%20ядре%20солнца&frm=ws_t) лекция Сурдина «Звезды: эволюция», ч.2