

Тема: Расстояние до звезд

Капелла, 42,2 св.лет

Наг, 131 св.лет

Бетельгейзе, 427,5 св.лет

Беллатрикс, 243,0 св.лет

Альдебаран, 65,1 св.лет

Саиф, 721,6 св.лет

Ригель, 772,9 св.лет

Вечернее звездное небо. Появляется молодой месяц, апрель .

Большинство из нас Венеру просто не замечают. Конечно, мы видим какую-то яркую светящуюся точку на небе. Она даже ярче далеких уличных фонарей, но особого внимания на нее не обращаем. Мы вообще редко смотрим выше своей головы, разве что на номер приближающегося троллейбуса или маршрутки.

На вечернем небе невооруженным глазом виден только **МАРС** ($m = +1.5$). Как яркая желтая звездочка он виден вечером на западе в созвездии Тельца. Немного ниже и левее Марса видна звезда Альдебаран. Она немного ярче Марса и является самой яркой звездой в созвездии Тельца. Заходит Марс около часа ночи.

На западе склоняются к горизонту зимние созвездия: **Орион** с яркими звездами Бетельгейзе и Ригелем, **Близнецы** с Кастором и Поллуксом, **Телец** с Альдебараном и Марсом, **Возничий** с Капеллой.



СОЗВЕЗДИЯ МЕСЯЦА

На юге видны созвездия Рака , Гидры , Чаши и Ворона , Льва с Регулом .
Рядом с Регулом 15 апреля будет Луна.



Вид звездного неба над южным горизонтом 15 апреля в 21:30

РЕГУЛ (+1.4 m) - горячая, голубовато - белая звезда

Над восточным горизонтом поднимаются в небо созвездия **Девы** со **Спикой**, **Волопаса** с ярчайшей звездой (ярко оранжевая) северного полушария **Арктуром** ($m = -0,05$)



На севере видны созвездия **Ящерицы** , **Лебедя** с Денебом, **Цефея** , **Кассиопеи** , **Малой Медведицы** с Полярной звездой.



Видимое смещение небесных тел относительно их истинных геометрических направлений, которое вызвано распространением света в сочетании с движениями наблюдателя и самих тел, называется **абберацией**.



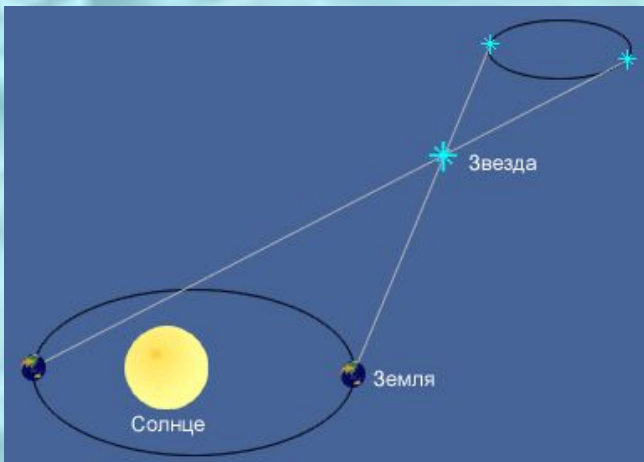
Млечный путь в районе Южного Креста.

В 1610г **Г. Галилей**, разглядев в Млечном Пути множество звезд, говорит, что они находятся на разном расстоянии от Земли.

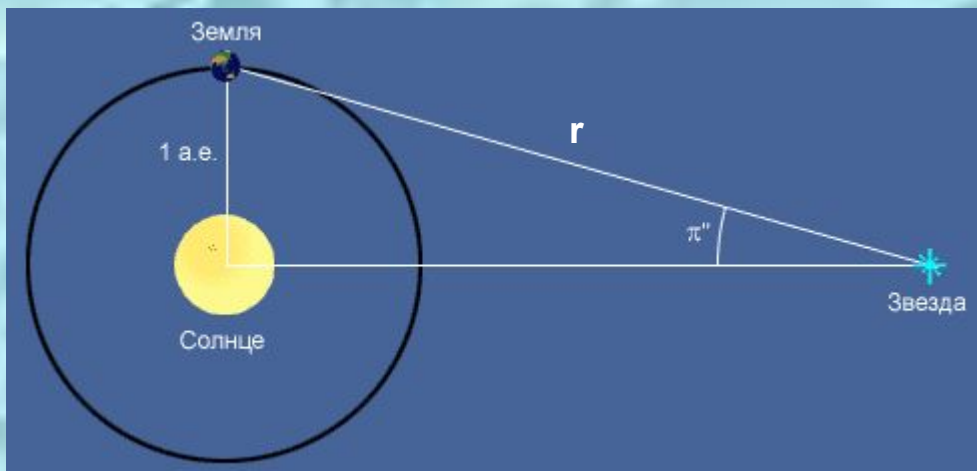
В 1727г **Дж. Брайлей** (1693-1762, Англия), производя измерения координат γ Дракона с 14 декабря 1725г по 14 декабря 1726г определяет, что звезда описала эллипс с большой полуосью 20,4". Еще в течение года проверил на других звездах \square вывод тот же, \square **все звезды в течение года описывают на небе эллипсы**, - что доказывает **годовое движение Земли вокруг Солнца** [открыл абберацию, 1726г].

Это была первая в мире попытка определения параллакса звезды и впервые в качестве базиса использовал **R** земной орбиты = 146,9 млн.км = **1 а.е.**

При этом приходится измерять ничтожно малые смещения звезд при их наблюдении с разных точек земной орбиты, т.е в разное время года.



Параллакс - изменение видимого положения объекта относительно удалённого фона в зависимости от положения наблюдателя.



Для определения расстояния до сравнительно близких звезд применяется **метод параллаксов** (ближе 300пк), известный более 2000 лет назад, а впервые успешно применен в 1837г.

Впервые параллакс звезды был измерен к 8 февраля 1837г русским астрономом **Василий Яковлевич Струве (1793-1864)**. Это была Вега (α Лиры).



После 17 измерений он определил ее параллакс в 0,125".

Из Δ видно, что **$r = a/\sin\pi$**

Так как для звезд угол π очень мал ($< 1''$), то переходим к радианной мере, учитывая что **1 рад = 206265''**,

тогда **$r = 206265'' a/\pi = 206265''/\pi$** а.е.

Расстояние до звезды, которое соответствует параллаксу = 1'' называют парсеком, тогда $r = 1/\pi$ пк. Парсек - это расстояние, с которого радиус земной орбиты был бы виден под углом в 1".

Единицы расстояния

$$r = \frac{206\,265''}{\pi} \text{ а.е.}$$

Расстояние до звезд можно определить как в километрах и астрономических единицах, так и в парсеках и световых годах.

Из формулы видно, что:

1 пк (парсек) = 206 265 а.е. $\approx 3,08 \cdot 10^{13}$ км = 3,26 св.год.

1 св.год = $3 \cdot 10^5$ км/с $\cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 3600$ с $\approx 9,46 \cdot 10^{12}$ км

тогда **1 пк $\approx 3,26$ св.год**

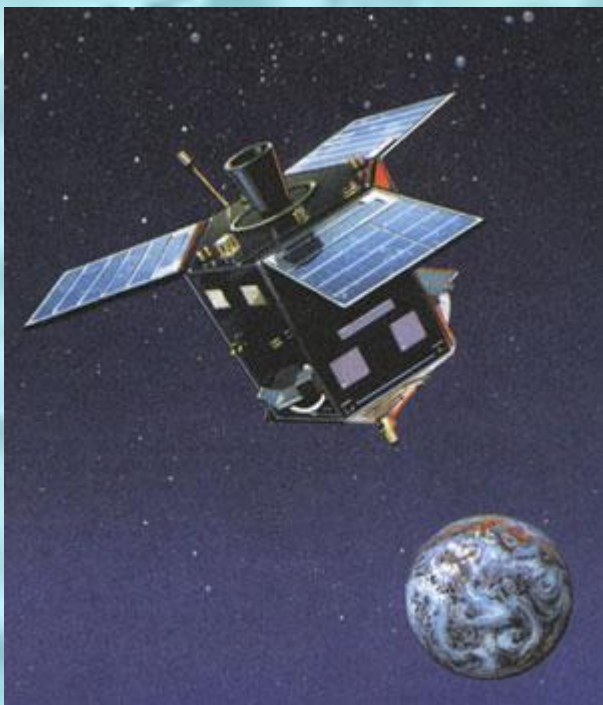
1 кпк (килопарсек) = 10^3 пк 1 Мпк (мегапарсек) = 10^6 пк

Параллакс даже самых близких звезд меньше 1", то есть нет звезд к нам ближе 1 парсека.

Расстояние до ближайших к нам звезд:

Солнце	8,3 св.мин	Сириус А	8,58 св.г
Проксима Центавра	4,22 св.г	Сириус В	8,58 св.г
Толиман α -Центавра А	4,36 св.г	Лейтен 726-8 А	8,72 св.г
α -Центавра В	4,36 св.г	Лейтен 726-8 В	8,72 св.г
Звезда Бернарда	5,96 св.г	Росс 154	9,68 св.г
Вольф 359	7,78 св.г	Росс 248	10,32 св.г
Лаланд 21185	8,29 св.г		

Определение параллаксов КА



Астрономический спутник «Гиппарх» (HIPPARCOS, ЕКА), запуск 8.08.1989г. На борту имел 29 см рефлектор с фокусным расстоянием 140 см. КА работая на орбите 37 месяцев. Для обзора всего неба аппарат вращался вокруг своей оси с периодом $2^{\text{h}} 05^{\text{m}}$, а ось вращения имела прецессионное движение с периодом 57 суток и амплитудой 43° . До 1993г с точностью до $0,001''$ определил параллаксы 118 218 звезд до $12,4^{\text{m}}$, находящихся от нас на расстоянии до 1000 пк.

По результатам его работы напечатан в июле 1997 году каталог **Hipparcos** (Перриман и др., 1997) являющимся одним из наиболее точных [на уровне 1 mas (milli arc second)], массовых каталогов положений, собственных движений и параллаксов 118 218 звезд. Кроме того составлен каталог **Tycho**, содержащий уже 1 058 332 звезд, с точностью измерения тех же параметров до 25 mas.

Gaia — космический телескоп Европейского космического агентства, преемник проекта Hipparcos. Предположительно будет выведен на орбиту в 2011г. Главная задача телескопа — составить подробную карту распределения звёзд нашей Галактики.

Звездная величина - блеск



Гиппарх Родосский (190-125г, Др.Греция) в 134г до НЭ впервые ввел понятие звездной величины [magnitude - величина (лат), обозначается m]. Считая, что чем ярче звёзды, тем они имеют больший размер. Берёт Вега (α Лиры) за 1^m , а еле видимые за 6^m .

К 125г до НЭ составил звёздный каталог из 1008 звёзд 48 созвездий.

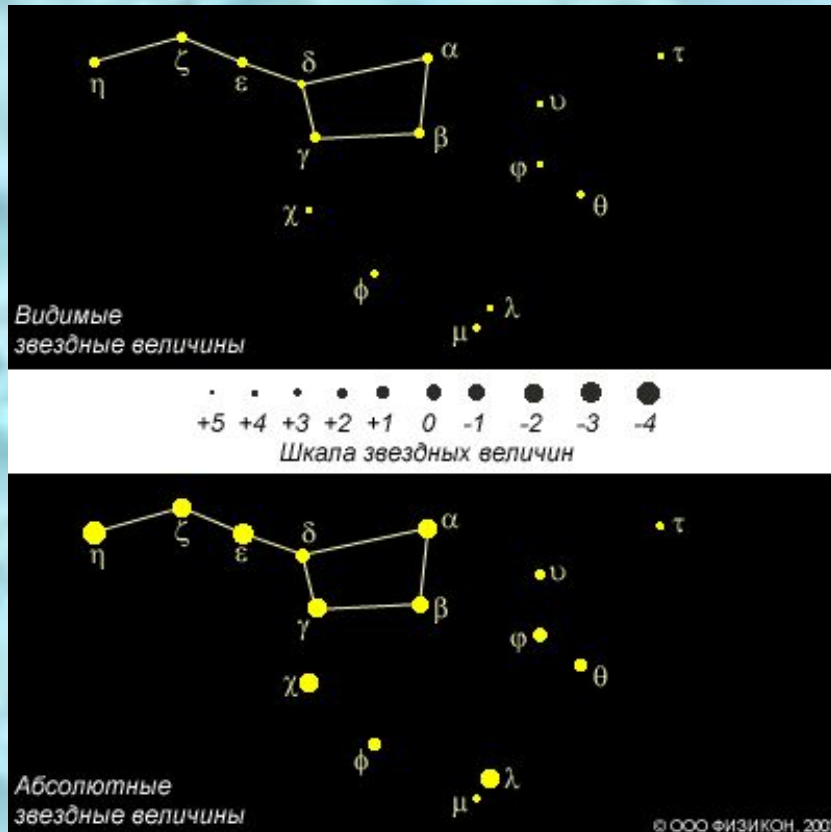
Невооруженным глазом на небе можно насчитать около 6000 звезд.

С помощью телескопов – миллиарды звезд. В 1603г Иоганн БАЙЕР (1572-1625, Германия) впервые обозначает звезды буквами греческого алфавита в порядке убывания их блеска.

Позже установили, что звездная величина характеризуется не размерами, а **БЛЕСКОМ (яркость) - освещенность, создаваемая звездой на Земле**. Шкалу Гиппарха сохранили.

Причем выяснилось, что **звезды 1^m в 100 раз ярче звезды 6^m .**

Обозначив X - разность в блеске на одну звездную величину, тогда $X^{6-1}=100 \rightarrow X^5=100$, отсюда **$\lg X=0,4$** , или **$X=2,512$.**



Визуальный способ



На окраинах ММО, молодое звездное скопление NGC 602. Фото телескопа Хаббл

через блеск (яркость) звезд и звездные величины.

Пусть 1-я звезда имеет m_1 и I_1 , а 2-я звезда m_2 , I_2 . Тогда, как установил в 1856г Н.Р. Погсон (1829-1891, Англия)

$$\frac{I_1}{I_2} = 2,512^{m_2 - m_1}$$

Блеск звезд и звездная величина бывает разная, даже отрицательная. Так самая яркая звезда неба Сириус имеет $m = -1,46^m$, Солнце $m = -26,58^m$

Но видимая звездная величина ничего не говорит о светимости звезд находящихся на разном расстоянии от нас. Для характеристики светимости (мощности излучения) применяют понятие **абсолютной звездной величины (M) - видимой звездной величины звезды с расстояния в 10 пк.**

Так наше Солнце имея $m = -26,58^m$, с 10 пк выглядело бы как звезда $M = 4,84^m$.

Тогда формула Погсона примет вид $I/I_0 = 2,512^{M-m}$

Т.к. освещенность обратно пропорциональна квадрату расстояния $I/I_0 = r_0^2/r^2$
то получим $10^2/r^2 = 2,512^{M-m}$, или логарифмируя получим:

$$M = m + 5 - 5 \cdot \lg R$$

Спектр



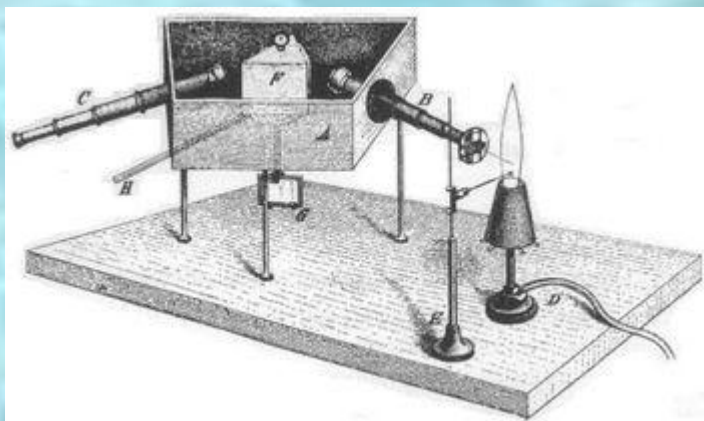
- $\lambda = 380 \div 470$ нм – фиолетовый, синий;
- $\lambda = 470 \div 500$ нм – сине-зеленый;
- $\lambda = 500 \div 560$ нм – зеленый;
- $\lambda = 560 \div 590$ нм – желто-оранжевый
- $\lambda = 590 \div 760$ нм – красный.

Распределение цветов в спектре = **К О Ж З Г С Ф**

Запомнить, например: *Как Однажды Жак Звонарь Городской Сломал Фонарь.*

В 1665г **Исаак Ньютон** (1643-1727) получил спектры солнечного излучения и объяснил их природу, показав, что цвет есть собственное свойство света.

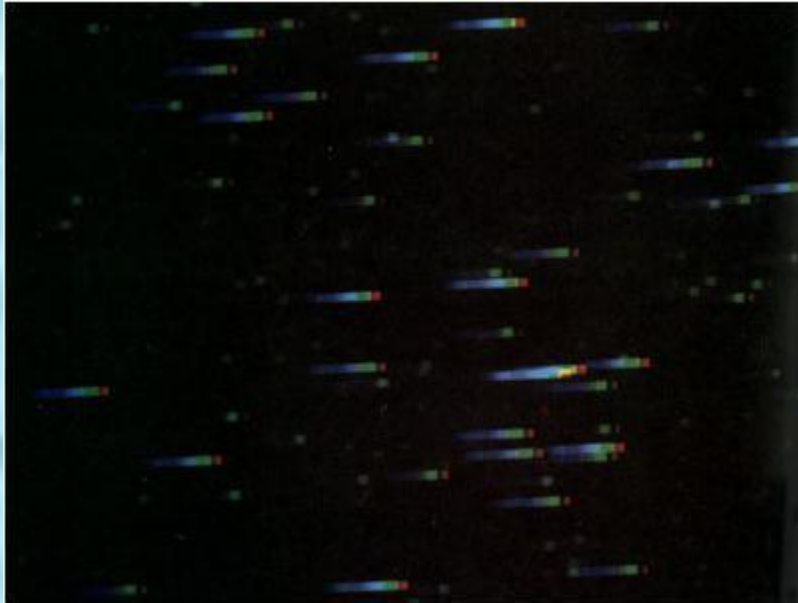
В 1814г **Йозеф фон ФРАУНГОФЕР** (1787-1826, Германия) обнаружил, обозначил и к 1817г подробно описал 754 линии в солнечном спектре (названы его именем), создав в 1814г прибор для наблюдения спектров - спектроскоп.



Спектроскоп Кирхгофа-Бунзена

В 1859г **Г.Р.Кирхгоф** (1824-1887, Германия) и **Р.В. Бунзен** (1811-1899, Германия) открыли спектральный анализ: *газы поглощают те же длины волн, которые излучают в нагретом состоянии.* У звезд на фоне сплошных спектров наблюдаются темные (фраунгоферовы) линии – это спектры поглощения.

Спектры звезд

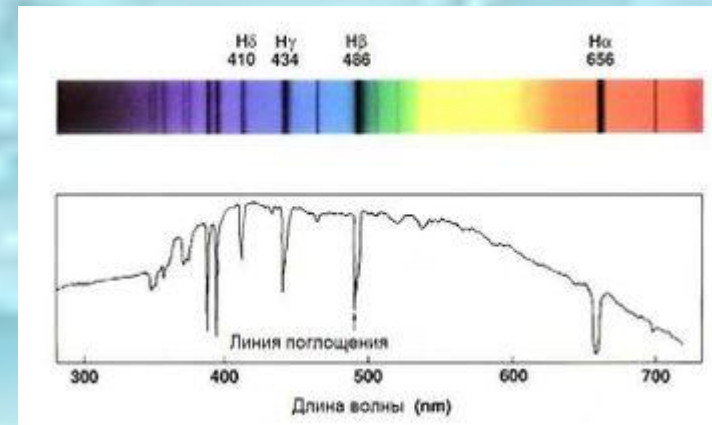


Уильям ХЕГГИНС (1824-1910, Англия) астроном, *первым применив спектрограф, начал спектроскопию звезд*. В 1863г показал, что спектры Солнца и звезд имеют много общего и что их наблюдаемое излучение испускается горячим веществом и проходит через вышележащие слои более холодных поглощающих газов.

Спектрограмма рассеянного скопления «Гиады».

Спектры звезд – это их паспорт с описанием всех звездных закономерностей. По спектру звезды можно узнать ее светимость, расстояние до звезды, температуру, размер, химический состав ее атмосферы, скорость вращения вокруг оси, особенности движения вокруг общего центра тяжести.

Изучение звездных спектров – это фундамент современной астрофизики.



Комбинированный спектр излучения звезды. Сверху «естественное» (видимое в спектрокопе), снизу — зависимость интенсивности от длины волны.

Цвет звезд



Подобно драгоценным камням звезды рассеянного скопления NGC 290 переливаются различными красками. Фото КТ им. Хаббла, апрель 2006г.

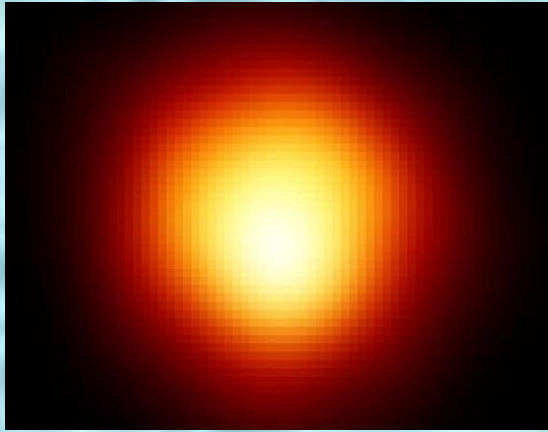
Во время наблюдений звездного неба могли заметить, что цвет (свойство света вызывать определенное зрительное ощущение) звезд различен. Цвет и спектр звезд связан с их температурой. Свет разных длин волн возбуждает разные цветовые ощущения. Глаз чувствителен к длине волны, несущей максимальную энергию

$$\lambda_{\text{max}} = b/T \quad (\text{закон Вина, 1896г}).$$

В 1903—1907гг. **Эйнар Герцшпрунг** (1873-1967, Дания) первым определяет цвета сотен ярких звезд.

Звезды имеют самые разные цвета. У Арктура желто-оранжевый оттенок, Ригель бело-голубой, Антарес ярко-красный. Доминирующий цвет в спектре звезды зависит от температуры ее поверхности. Газовая оболочка звезды ведет себя почти как идеальный излучатель (абсолютно черное тело) и вполне подчиняется классическим законам излучения **М.Планка** (1858—1947), **Й.Стефана** (1835—1893) и **В.Вина** (1864—1928), связывающим температуру тела и характер его излучения. Закон Планка описывает распределение энергии в спектре тела и указывает, что с ростом температуры повышается полный поток излучения, а максимум в спектре сдвигается в сторону коротких волн.

Температура звезд



Бетельгейзе (снимок телескопа им.Хаббла). В таких холодных звездах с $T=3000\text{K}$ преобладают излучения в красной области спектра. В спектрах таких звезд много линий металлов и молекул.

Температура звезд непосредственно связана с цветом и спектром. Первое измерение температуры звезд произведено в 1909г германским астрономом **Юлиус Шейнер** (1858-1913), проведя абсолютную фотометрию 109 звезд.

Температура определяется по спектрам с помощью закона Вина

$$\lambda_{\max} \cdot T = b, \text{ где } b = 0,289782 \cdot 10^7 \text{ \AA} \cdot \text{K} - \text{постоянная Вина.}$$

Большинство звезд имеют температуры
 $2500\text{K} < T < 50000\text{K}$

Звезда **HD 93129A** (созв. Корма) самая горячая – $T = 220000 \text{ K}$!

Самые холодные - **Гранатовая звезда** (т Цефея), **Мира** (о Кита) – $T = 2300\text{K}$
е Возничего A - 1600 K .

Спектральная классификация

В 1866г **Анжело Секки** (1818-1878, Италия) дал первую спектральную классическую звезд по цвету: **Белые, Желтоватые, Красные**.

Гарвардская спектральная классификация впервые была представлена в *Каталоге звездных спектров Генри Дрэпера* (1837-1882, США), подготовленного под руководством **Э. Пикеринга** (1846–1919) к 1884г. Все спектры были расставлены по интенсивности линий (позже в температурной последовательности) и обозначены буквами в алфавитном порядке от горячих к холодным звездам: O B A F G K M. К 1924г окончательно была установлена **Энн Кэннон** (1863-1941, США) и издана каталогом в 9 томов на 225330 звезд- каталог HD.

ГАРВАРДСКАЯ СПЕКТРАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ		
Спектральный класс	Эффективная температура, К	Цвет
O	30000–60000	Голубой
B	10000–30000	Бело-голубой
A	7500–10000	Белый
F	6000–7500	Желто-белый
G	5000–6000	Желтый
K	3500–5000	Оранжевый
M	2000–3500	Красный

Современная спектральная классификация

Дополнительными классами R, N и S обозначены спектры, похожие на K и M, но с иным химическим составом. Между каждыми двумя классами введены подклассы, обозначенные цифрами от 0 до 9. Например, спектр типа A5 находится посередине между A0 и F0.

Дополнительными буквами иногда отмечают особенности звезд: «d» – карлик, «D» – белый карлик, «r» – пекулярный (необычный) спектр.

Спектральный класс	Цвет	Температура, К	Особенности спектра	Типичные звезды
W	Голубой	80 000	Излучения в линиях гелия, азота, кислорода	γ 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 CrH, рубидия, цезия	Kelut-1
T	"Коричневый карлик"	1 500	Интенсивные полосы поглощения воды, метана, молекулярного водорода	Gliese 229B

Наиболее точную спектральную классификацию представляет система МК, созданная У.Морганом и Ф.Кинаном в Йеркской обсерватории в 1943г, где спектры расставлены как по температуре, так и по светимости звезд. Были дополнительно введены классы светимости, отмеченные римскими цифрами: Ia, Ib, II, III, IV, V и VI, соответственно указывающие на размеры звезд.

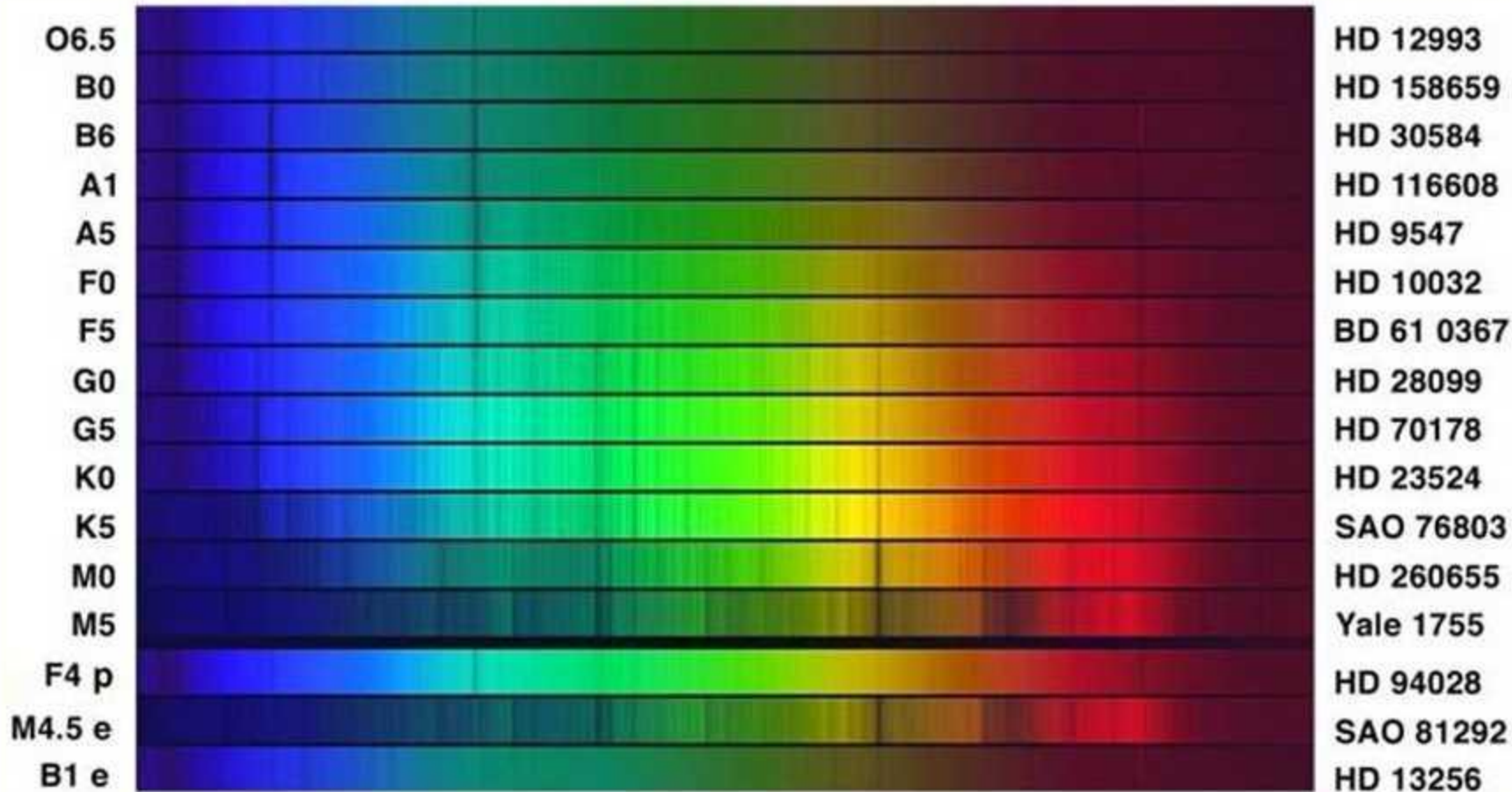
Наше Солнце относится к спектральному классу **G2 V**

Спектры звезд

Спектральный
класс

Спектры звезд

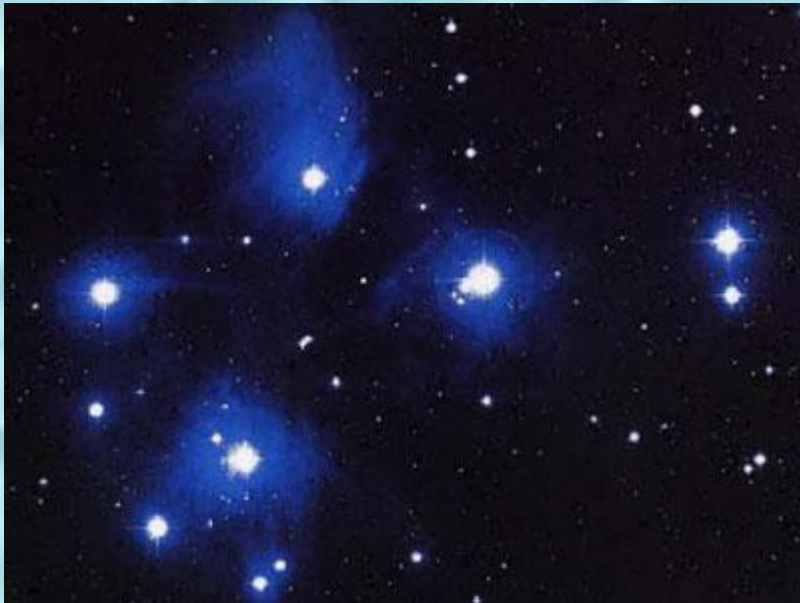
Обозначение
звезды



e - эмиссионные линии в спектре

p - пекулярный спектр (здесь: малометаллический)

Светимость звезд



Рассеянное скопление «Плеяды» содержит много горячих и ярких звезд, которые были сформированы в одно и то же время из газопылевого облака. Голубая дымка, сопутствующая «Плеядам», - рассеянная пыль, отражающая свет звезд.

$$L_{\odot} = 3,846 \cdot 10^{26} \text{Вт/с}$$

Звезда	Сириус	Канопус	Арктур	Вега
Светимость	22 L_{\odot}	4 700 L_{\odot}	107 L_{\odot}	50 L_{\odot}

Светимость звезд:
 $1,3 \cdot 10^{-5} L_{\odot} < L < 5 \cdot 10^5 L_{\odot}$

Одни звезды светят ярче, другие - слабее. **Светимость** – мощность излучения звезды – полная энергия, излучаемая звездой в 1 секунду. [Дж/с=Вт] Звезды излучают энергию во всем диапазоне длин волн

В 1856г **Норман Погсон** (1829-1891, Англия) устанавливает формулу для светимостей через абсолютные M звездные величины (т.е. с расстояния в 10 пк). $L_1/L_2 = 2,512^{M_2 - M_1}$.

Сравнивая звезду с Солнцем, получим

$$L/L_{\odot} = 2,512^{M_{\odot} - M}, \text{ или } \lg L = 0,4 (M_{\odot} - M)$$

Большую светимость имеют звезды-гиганты, меньшую - звезды-карлики.

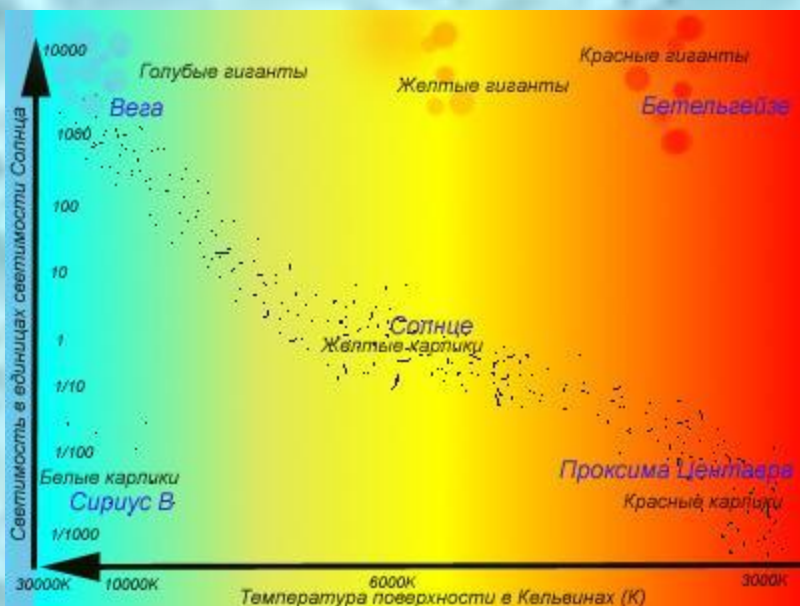
Наибольшей светимостью обладает голубой сверхгигант - звезда Пистолет (созв. Стрельца - 10000000 L_{\odot} ! Светимость красного карлика Проксимы Центавра около 0,000055 L_{\odot} .

Диаграмма Герцшпрунга - Ресселла



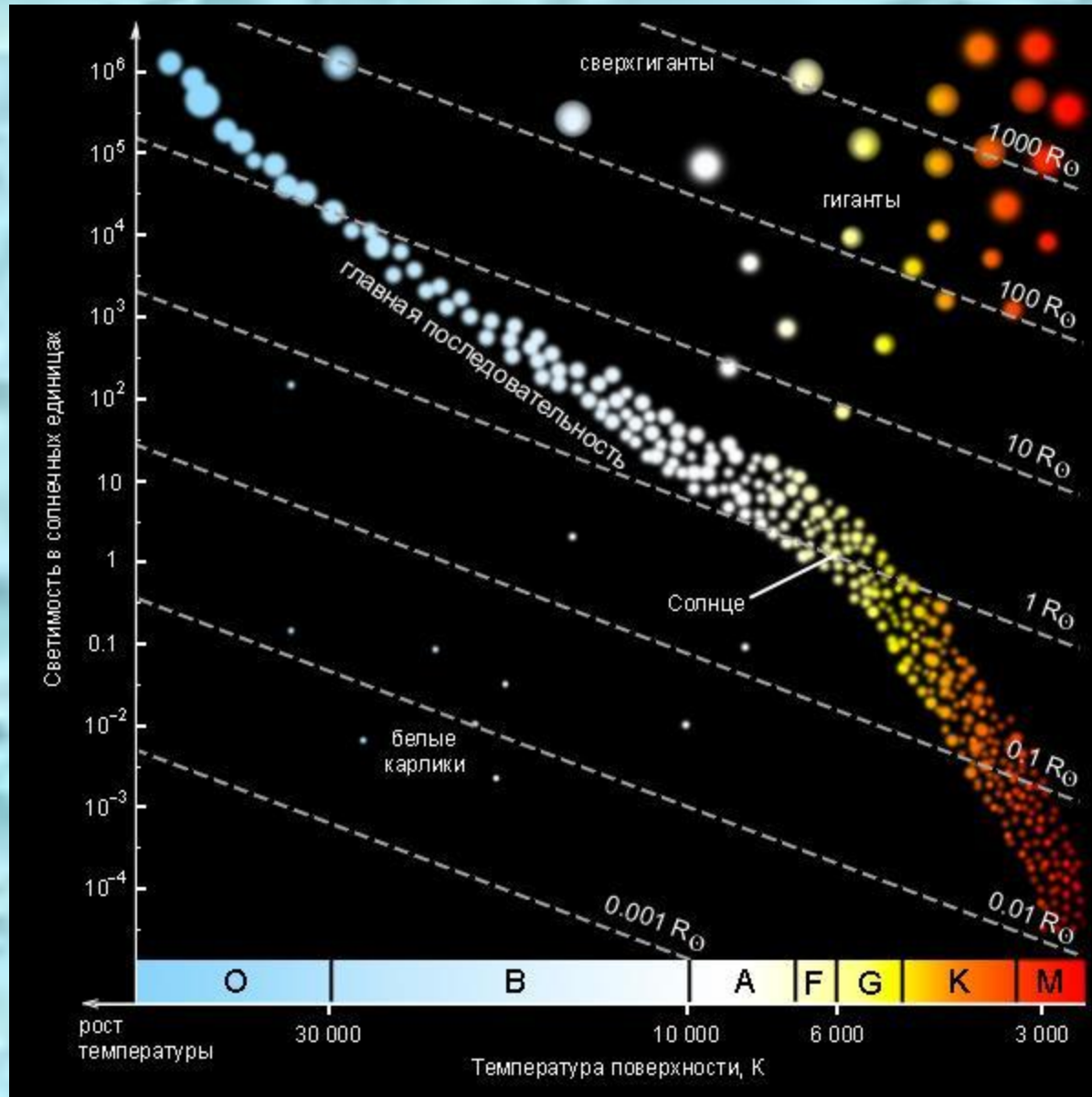
В 1911г Эйнар Герцшпрунг (1873-1967, Голландия) установил зависимость светимости звезд с их спектральными классами, сопоставляя данные наблюдений.

В 1913г Генри Норрис Рессел (1877-1957, США) также установил данную зависимость и представил ее графически.



Зависимость «спектр-светимость» носит название диаграммы Герцшпрунга-Рессела.

Диаграмма «спектр-светимость»



Главная последовательность:

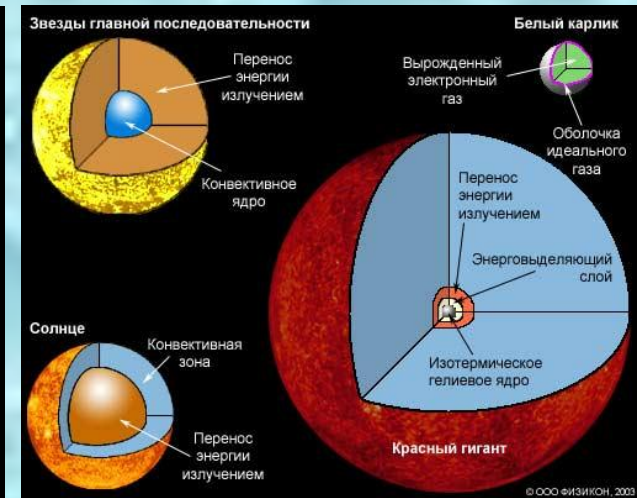
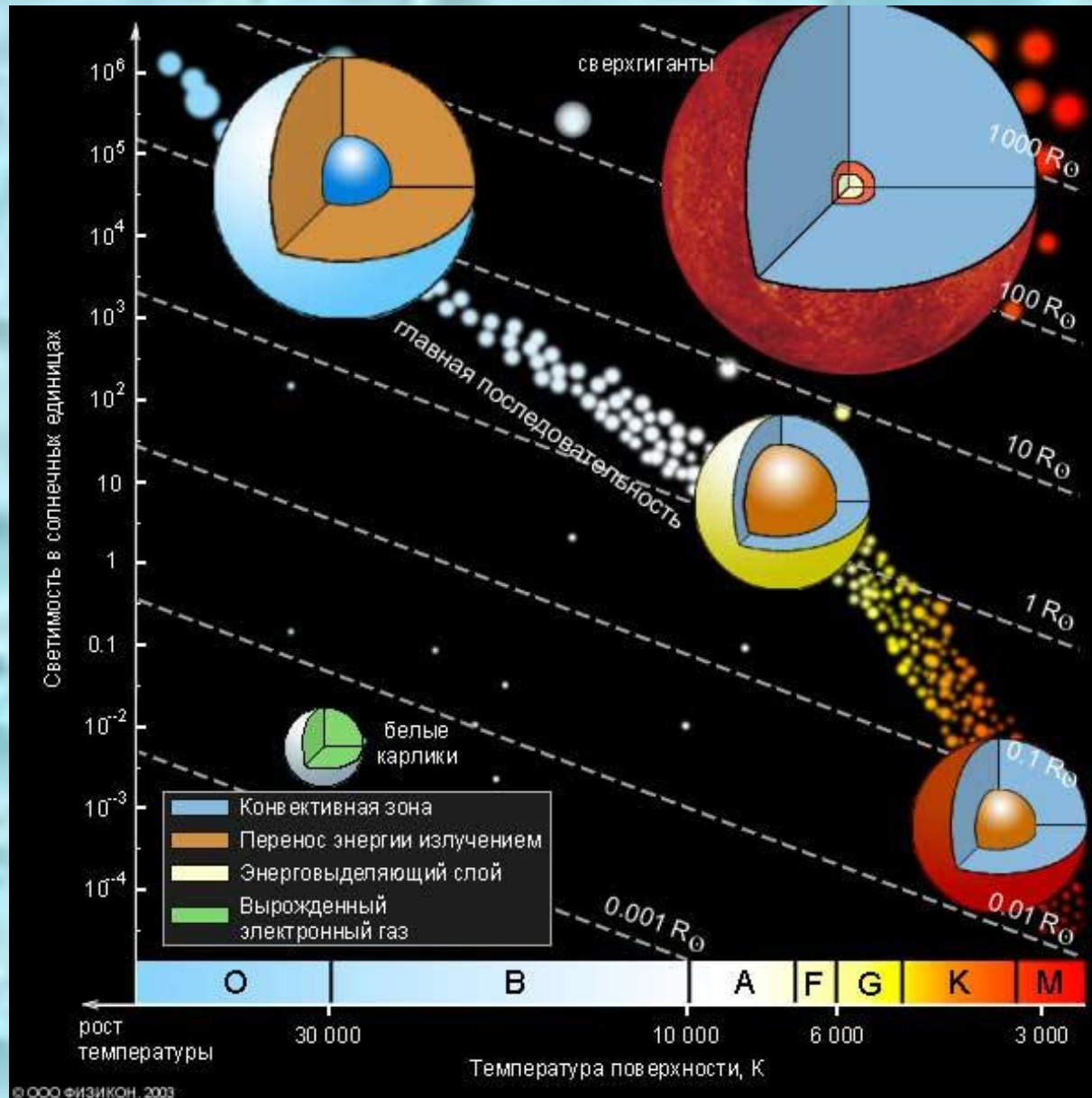
- это последовательность звезд разной массы. Самые большие (голубые гиганты) расположены в верхней части, а самые маленькие звезды – карлики – в нижней части главной последовательности
- это нормальные звезды похожие на Солнце в которых водород сгорает в термоядерной реакции.

Красные гиганты и сверхгиганты располагаются над главной последовательностью справа, белые карлики – под ней слева, поэтому начало левой части главной последовательности представлена голубыми звёздами с массами ~ 50 солнечных, конец правой — красными карликами с массами ~ 0.08 солнечных.

Существование главной последовательности связано с тем, что стадия горения водорода составляет $\sim 90\%$ времени эволюции большинства звёзд.

Диаграмма показывает зависимость между абсолютной звёздной величиной, светимостью, спектральным классом и температурой поверхности звезды.

Диаграмма и внутреннее строение звезд



Около 90 % звёзд находятся на главной последовательности. Их светимость обусловлена ядерными реакциями превращения водорода в гелий. Выделяется также несколько ветвей проэволюционировавших звёзд — гигантов, в которых происходит горение гелия и более тяжёлых элементов. В левой нижней части диаграммы находятся полностью проэволюционировавшие белые карлики.

1. Параллакс звезды Процион $0,28''$. Расстояние до звезды Бетельгейзе 652 св. года. Какая из этих звезд и во сколько раз находится дальше от нас?

Решение:

$$r = 1/\pi \text{ пк} \quad r(\text{Процион}) = 1/0,28 = 3,57 \text{ пк.}$$

$$1 \text{ пк} = 3,26 \text{ св.год}$$

$$r(\text{Бетельгейза})_{\text{пк}} = 652 \text{ св.год} , \text{то}$$

$$r(\text{Бетельгейза})_{\text{пк}} = 1 \text{ пк} * 652 \text{ св.год} / 3,26 \text{ св.год} = 200 \text{ пк}$$

$$X = 200 / 3,57 = 56 \text{ раз.}$$

2. Во сколько раз звезда первой звездной величины ярче самых слабых звезд, видимых невооруженным глазом (шестой звездной величины)?

Решение:

$$\frac{I_1}{I_2} = 2,512^{m_2 - m_1}$$

т.к. $m_2=6$, а $m_1=1$, то $2,512^5 = 100$ раз