

**«Расстояния до звёзд.
Характеристики
излучения звёзд»**



Мысли о том, что звезды – это далекие солнца, высказывались еще в глубокой древности.

Еще Аристотель понимал, что если Земля движется, то, наблюдая положение кой-либо звезды из двух диаметрально противоположных точек земной орбиты, можно заметить, что направление на звезду изменится.

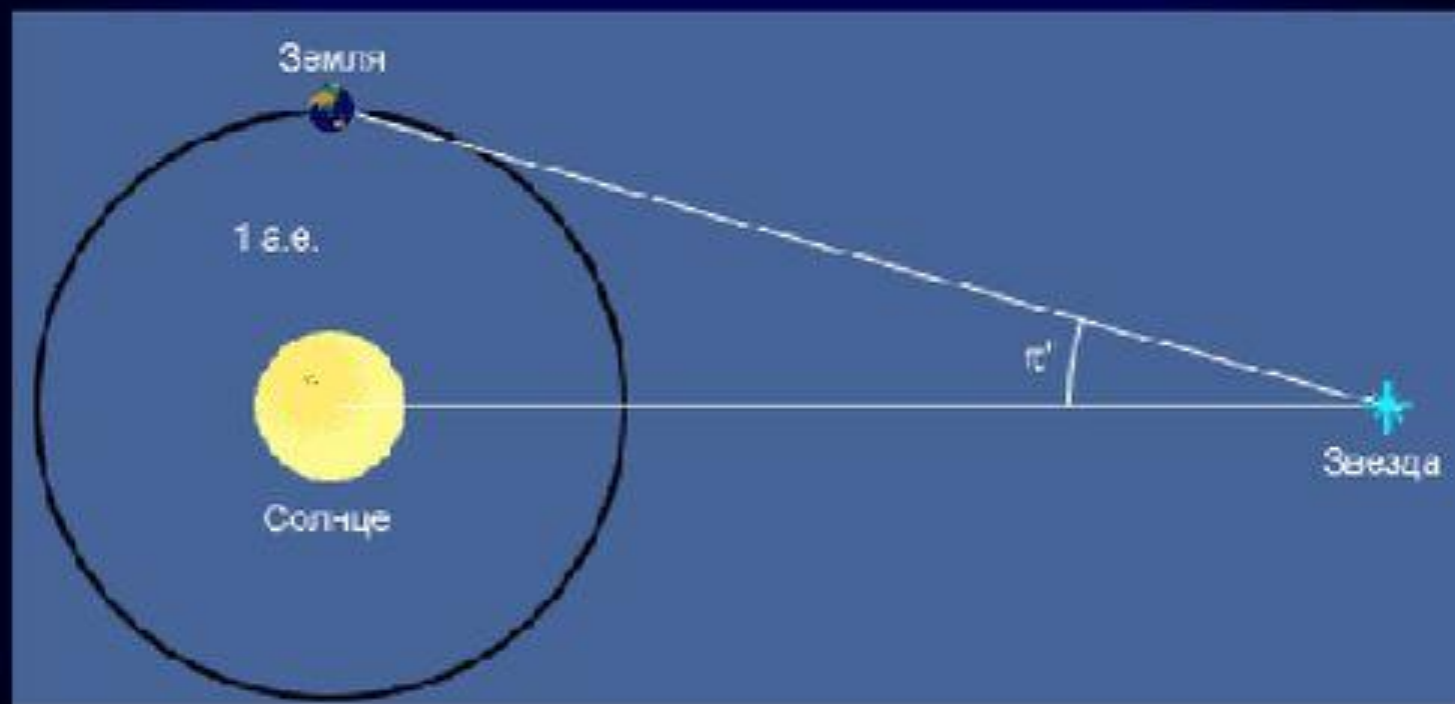
Это кажущееся (параллактическое) смещение звезды будет служить мерой расстояния до нее:
чем смещение больше, тем ближе к нам расположена звезда.

При наблюдении за звездами можно заметить, что их координаты медленно меняются со временем вследствие их перемещения по небу.



В 720 г. И. Синь (Чжин Суй, 683-727, Китай) в ходе углового измерения расстояния между 28 звездами, впервые высказывает предположение о перемещении звезд.

Для сравнительно близких звезд, удаленных на расстояние, не превышающие нескольких десятков парсек, расстояние определяется методом параллакса. Он известен более 2 тыс. лет, а к звездам его стали применять 160 лет назад.



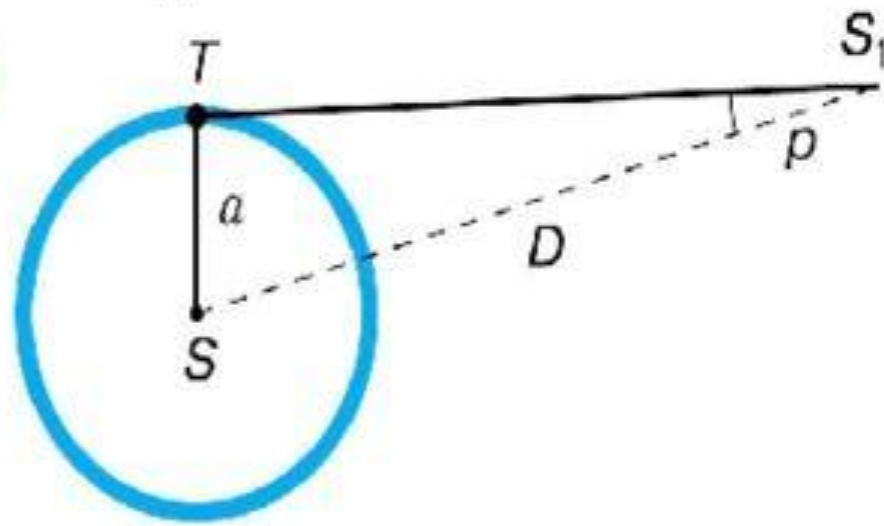
При этом измеряют ничтожно малые угловые смещения звезд при их наблюдении с разных точек земной орбиты, то есть разное время года.



Годичный параллакс

Годичным параллаксом

звезды **p** называют угол, под которым со звезды можно было бы видеть большую **полуось земной орбиты** (равную 1 а. е.), перпендикулярную направлению на звезду

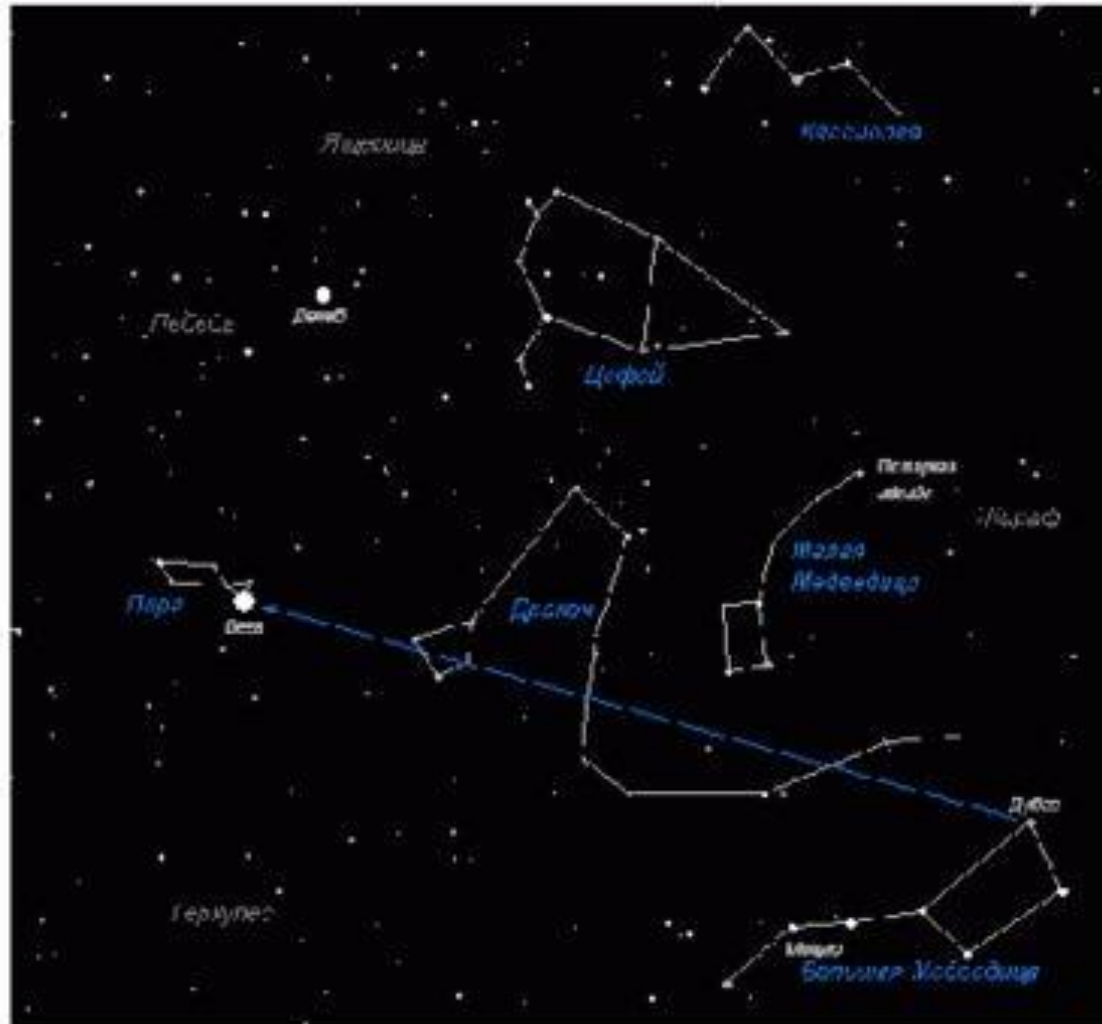


$$D = \frac{a}{\sin p},$$

$$D = \frac{206\,265''}{p}.$$

В 1837 г. впервые были осуществлены надежные измерения **годового параллакса**.

Русский астроном Василий Яковлевич Струве (1793–1864) провел эти измерения для ярчайшей звезды Северного полушария **Веги** (α Лирь).



Василий Яковлевич Струве



Почти одновременно в других странах определили параллаксы еще двух звезд, одной из которых была α Центавра.

Эта звезда, которая с территории России не видна, оказалась ближайшей к нам.

Даже у нее годичный параллакс составил всего $0,75''$.

Под таким углом невооруженному глазу видна проволочка толщиной 1 мм с расстояния 280 м .

Расстояние до ближайшей звезды, параллакс которой $p = 0,75''$, составляет

$$D = \frac{206265''}{0,75''} = 270\,000 \text{ а. е.}$$

Единицами для измерения столь значительных расстояний являются парсек и световой год.

Параллаксы даже самых близких звезд меньше 1". С понятием параллакса связано название одной из основных единиц в астрономии – **парсек**. Парсек – это расстояние до воображаемой звезды, годичный параллакс которой равен 1":

$$R=1/p$$

где R – расстояние в парсеках, p – годичный параллакс в секундах.

1 парсек = 3,26 светового года = 206 265 астрономических единиц = $3,083 \cdot 10^{15}$ м.

Световой год равен:

9 460 730 472 580 800 метрам $\approx 9,46 \cdot 10^{15}$ метра

63 241,077 астрономической единицы (а.е.)


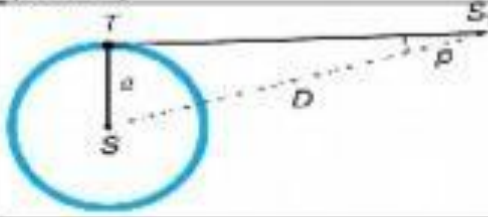
0,306 601 парсека

Единицы измерения расстояний

Парсек — это такое расстояние, на котором параллакс звёзд равен $1''$. Отсюда и название этой единицы: пар — от слова «параллакс», сек — от слова «секунда». Расстояние в парсеках равно обратной величине годового параллакса.

Световой год — это такое расстояние, которое свет, распространяясь со скоростью 300 тыс. км/с, проходит за год.

$$\mathbf{1 \text{ пк (парсек)} = 3,26 \text{ светового года} = 206\,265 \text{ а. е.} = 3 \cdot 10^{13} \text{ км.}}$$

	Планета	Звезда
1. Определение	планета — это космический объект, в котором за всё время его существования не происходят никакие реакции термоядерного синтеза. § 22 стр. 144	звезда — это пространственно обособленный, гравитационно связанный, непрозрачный для излучения космический объект, в котором в значительных масштабах происходят, происходят или будут происходить термоядерные реакции превращения водорода в гелий. § 22 стр. 144
2. Параллакс (определение)	Горизонтальным параллаксом (p) называется угол, под которым со светила виден радиус Земли, перпендикулярный лучу зрения. § 22 стр. 145	Годичным параллаксом звезды p называют угол, под которым со звезды можно было бы видеть большую полуось земной орбиты (равную 1 а. е.), перпендикулярную направлению на звезду. § 22 стр. 145
3. Базис измерения	R — радиус Земли	a - Большая полуось земной орбиты (1 а. е.)
4. Условный рисунок		
5. Граница применения метода параллакса	Масштаб Солнечной системы	Расстояния, не превышающие 1000 пк
6. Формулы для расчета расстояний	$D = \frac{R}{\sin p}$ $D = \frac{206\,265''}{p} R,$	$D = \frac{a}{\sin p}$ $D = \frac{206\,265''}{p} a.$



Сверхгигант в созвездии
Скорпиона - Антарес

В созвездии Центавр находится третья по блеску звезда неба после Сириуса и Канопс – Альфа Центавра или Толдман. Альфа Центавра является тройной звездой. Главная звезда похожа на Солнце, имеет тот же спектральный класс G2 и примерно такую же светимость, что и Солнце. На расстоянии 17,7" расположена вторая звезда красноватого цвета. Это красный карлик, который по светимости втрое меньше нашего Солнца. Период обращения этой пары звезд примерно 80 лет. Рядом с ними обращается еще один красный карлик, светимость которого в 20 000 раз меньше, чем нашего Солнца. Это и есть ближайшая к нашему Солнцу звезда – Проксима Центавра («Ближняя»).

Пример решения задачи

№1: Задание: Годичный параллакс Веги (α Лиры) равен $0,12''$. Каково расстояние до неё в парсеках и световых годах?

Дано:

$$\pi = 0,12''$$

Найти:

$r = ?$ Пк

$r = ?$ Св.лет

Решение:

$$r_{\text{Пк}} = \frac{1}{\pi}; \quad r_{\text{Пк}} = \frac{1}{0,12} \text{ Пк} = 8,33 \text{ Пк}$$

$$r_{\text{СВ.ЛЕТ}} = 3,26 \text{ св.лет} \cdot 8,33 = 27,1 \text{ св.лет.}$$

Ответ: $r_{\text{Пк}} = 8,33 \text{ Пк.}$

$r_{\text{СВ.ЛЕТ}} = 27,1 \text{ св.лет.}$



Расстояние до звезд можно оценить методом **спектрального параллакса**. График зависимости отношения интенсивности определенных пар спектральных линий от абсолютной звездной величины звезд строится по интенсивности линий в спектрах тех звезд, расстояние до которых надежно определено. Поэтому по спектральным линиям можно оценить светимость звезды, а затем найти расстояние до нее.

I_1 – блеск первой звезды, m – её зв. величина

I_2 – блеск второй звезды, m – её зв. величина

Яркие звёзды – звёзды первой величины (1 m)

Едва различимые – звёзды шестой величины (6 m)

Их блеск отличается в 100 раз т.е. $X = 100^5$

X – различие в блеске в одну зв. величину Тогда получаем:

$5 \lg x = \lg 100$, откуда $5 \lg x = 2$, или $\lg x = 0,4$.
Тогда $x = 2,512$

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

Светимость звёзд

Светимостью называется полная энергия, излучаемая звездой в единицу времени.

Видимая звёздная величина, которую имела бы звезда, если бы находилась от нас на расстоянии $D_0 = 10$ пк, получила название

абсолютной звёздной величины

$$I : I_0 = D_0^2 : D^2.$$

$$2,512^{M-m} = D_0^2 : D^2.$$

$$M = m + 5 + \lg p$$

$$M = m + 5 - 5 \lg D$$

$$\lg L = 0,4(5 - M)$$

Пример решения задачи

№2: Задание: Во сколько раз Капелла ярче Денеба? Зв. Величины берём из таблицы (см. учебник)

Решение:

Дано:
 $m_1 = +0,2^m$

$m_2 = +1,3^m$

Найти:

$$\frac{I_1}{I_2} = ?$$

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

$$\lg \frac{I_1}{I_2} = (m_2 - m_1) \lg 2,512$$

а так как $\lg 2,512 = 0,4$ то

$$\lg \frac{I_1}{I_2} = 0,4 \cdot 1,1 = 0,44; \quad \frac{I_1}{I_2} = 2,75.$$

Ответ: $\frac{I_1}{I_2} = 2,75.$

Спектральные классы звёзд

Цвет звезды зависит от температуры,
в зависимости от температуры и цвета
все звезды разбили на 7 классов:

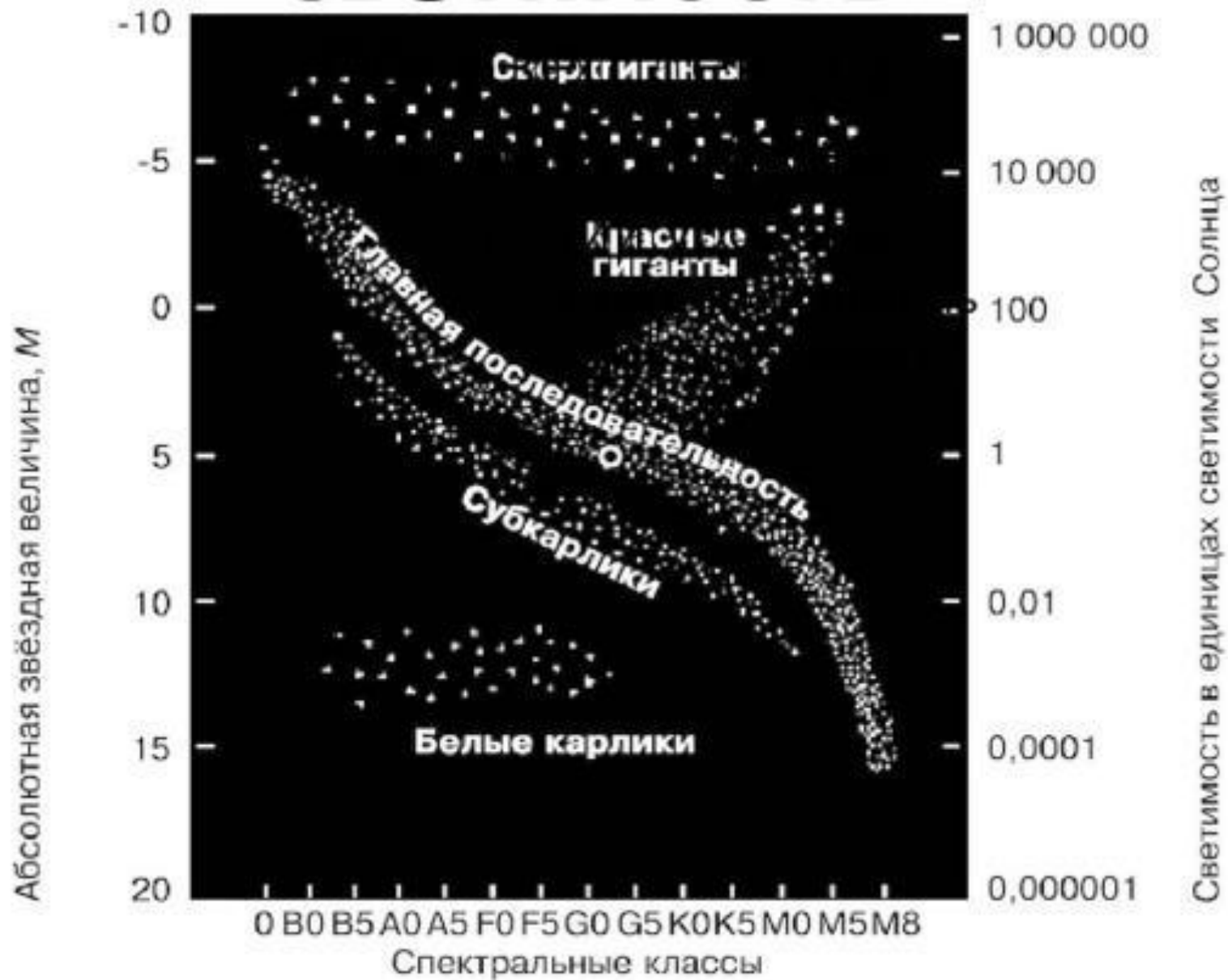
О, В, А, F, G, K, M

Один Бритый Англичанин
Финики Жевал Как Морковь

V. Наиболее яркие звёзды, видимые на территории России

Звезда	Звёздная величина, <i>m</i>	Прямое восхождение		Склонение		Спектральный класс, <i>R</i>	Темпе- ратура, 10^3 К	Расстояние пк
		ч	мин	град	мин			
α Тельца	1,06	4	33,0	+16	25	K5	3,5	20,8
β Ориона	0,34	5	12,1	-8	15	B8	12,8	330,0
α Возничего	0,21	5	13,0	+45	57	G0	5,2	13,7
α Ориона	0,92	5	52,5	+7	24	M0	3,1	200,0
α Б. Пса	-1,58	6	42,9	-16	39	A0	16,8	2,7
α Близнецов	1,99	7	31,4	+32	00	A0	10,4	13,0
α М. Пса	0,48	7	36,7	+5	21	F5	6,9	3,5
β Близнецов	1,21	7	42,3	+28	09	K0	4,6	10,7
α Льва	1,34	10	05,7	+12	13	B8	13,2	25,6
α Девы	1,21	13	22,6	-10	54	B2	16,8	47,7
α Волонаса	0,24	14	13,4	+19	27	K0	4,1	11,1
α Скорпиона	1,22	16	26,3	-26	19	M0	3,1	52,5
α Лиры	0,14	18	35,2	+38	41	A0	10,6	8,1
α Орла	0,89	19	48,3	+8	44	A5	8,4	5,0
α Лебедя	1,33	20	39,7	+45	06	A2	9,8	290,0

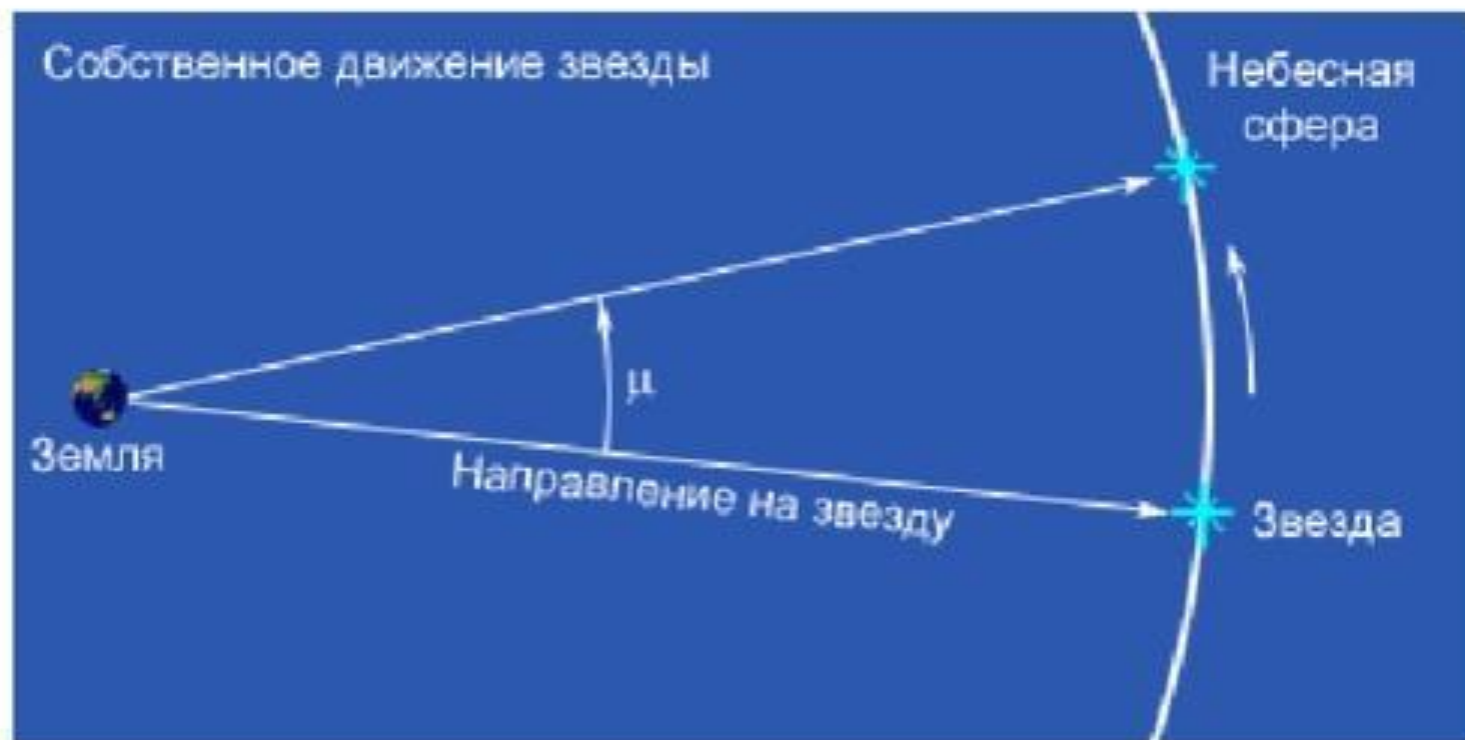
Диаграмма «Спектр — СВЕТИМОСТЬ»



Пространственные скорости звёзд

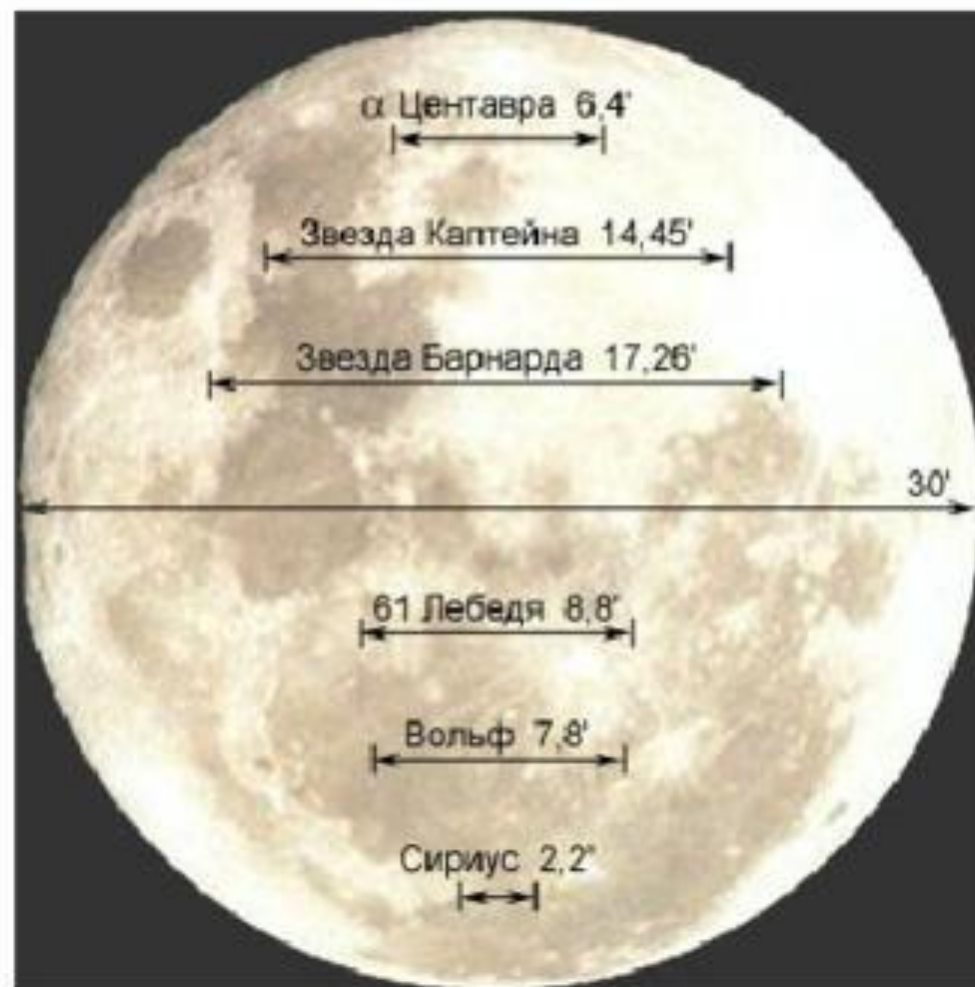
Из наблюдений было обнаружено, что координаты звезд медленно изменяются вследствие их собственного движения.

Собственное движение звезды μ выражают в секундах дуги в год.



Собственное движение звезды

Звезда в созвездии Змееносца Барнарда обладает самым быстрым собственным движением. За 100 лет она проходит $17,26'$, а за 188 лет смещается на величину поперечника лунного диска. Звезда находится на расстоянии $1,81$ пк.



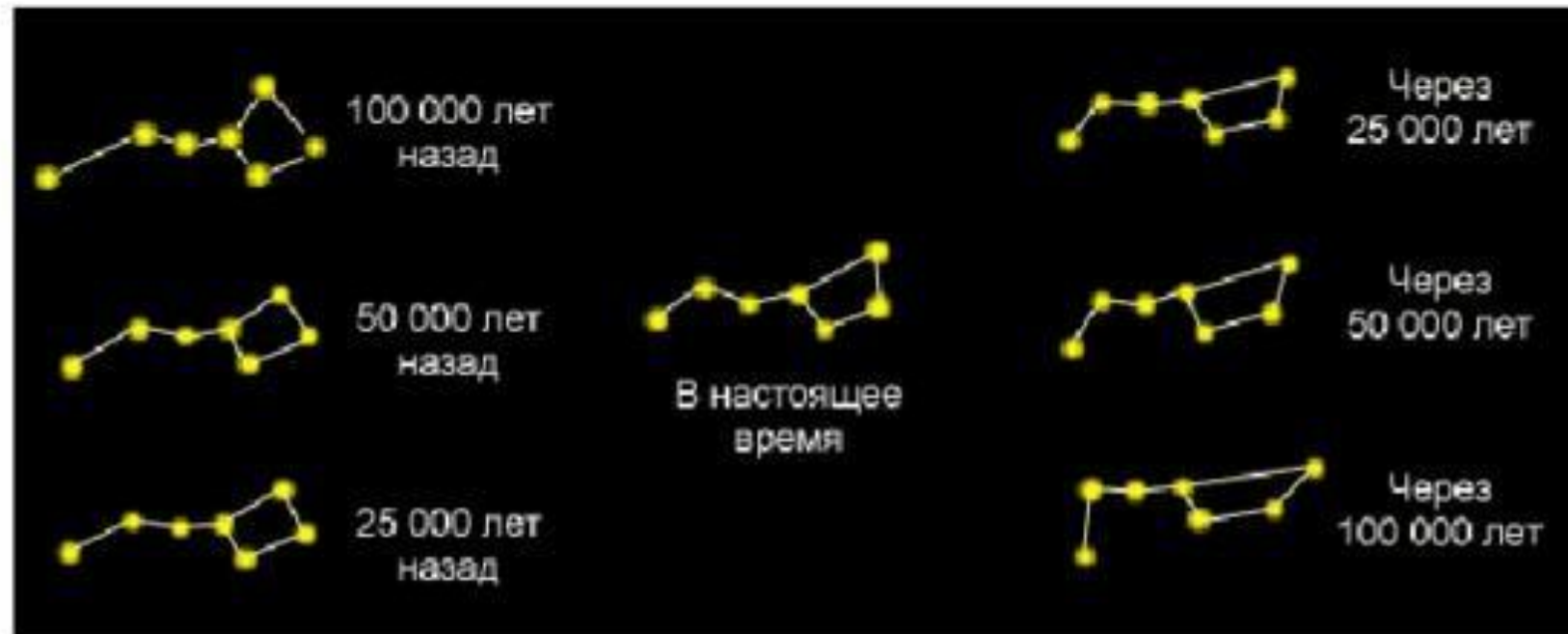
Смещение звезд за 100 лет

Звезды движутся с разными скоростями и удалены от наблюдателя на различные расстояния.

Вследствие этого взаимное расположение звезд меняется с течением времени.

В течение одной человеческой жизни обнаружить изменения контура созвездия практически невозможно.

Если проследить эти изменения в течение тысячелетий, то они становятся вполне заметными.

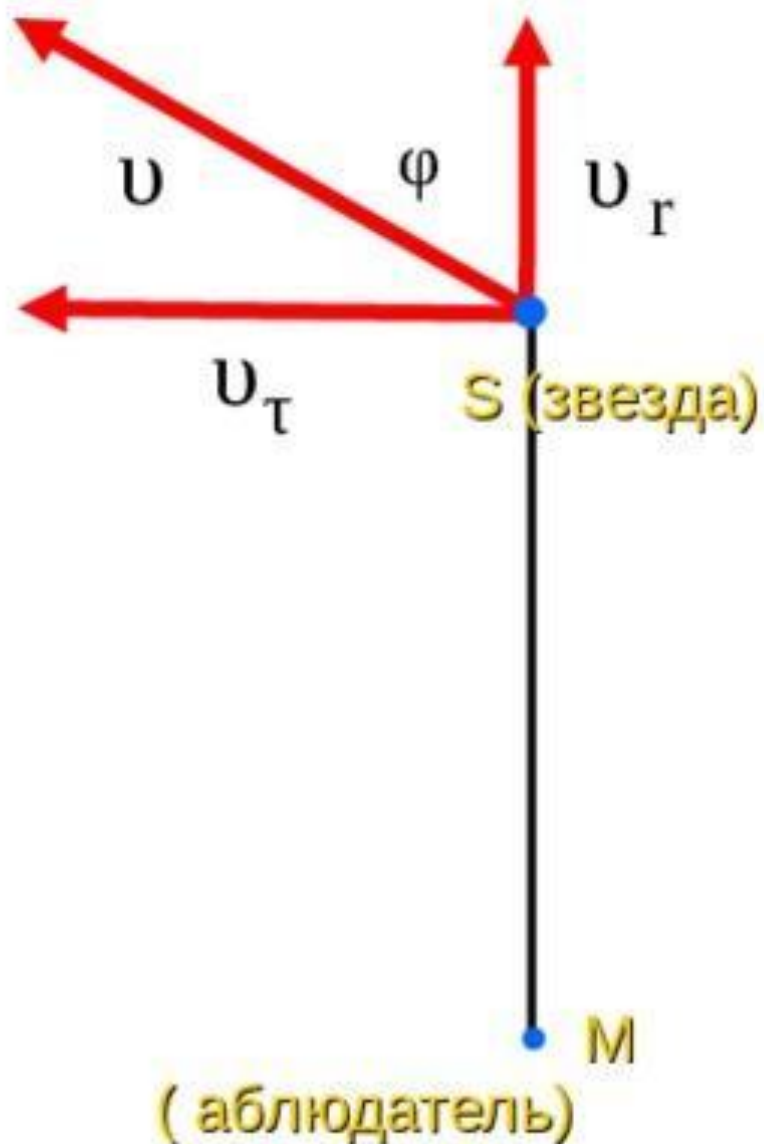


Пространственная скорость звёзд

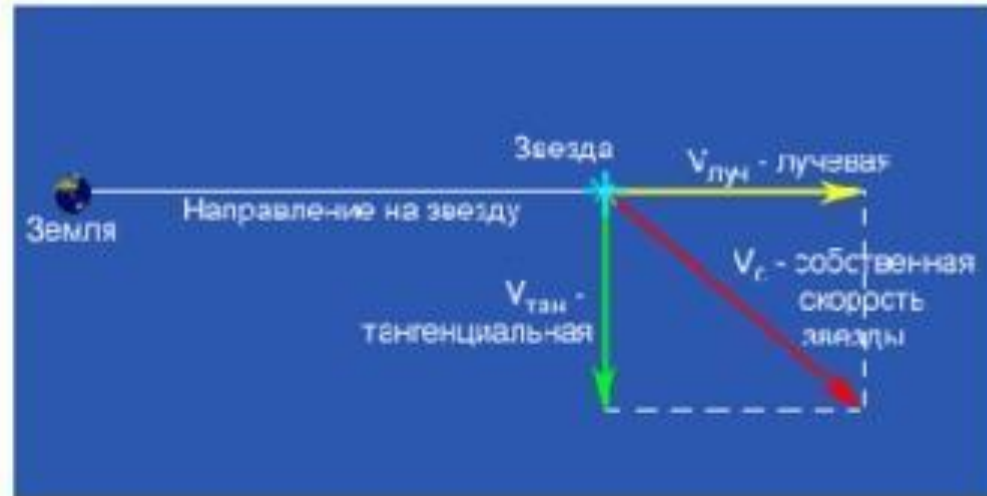
U_{τ} -тангенциальная
скорость

U_{Γ} -лучевая скорость

$$U = \sqrt{U_{\tau}^2 + U_{\Gamma}^2}$$



Компоненты собственного движения звезд



Пространственная скорость звезды – скорость, с которой звезда движется в пространстве относительно Солнца.

$$v = \sqrt{v_r^2 + v_t^2}$$

$$v_r = 4,74 \frac{\mu}{\pi}$$

μ – собственное движение звезды
 π – годичный параллакс звезды

Сущность эффекта Доплера:

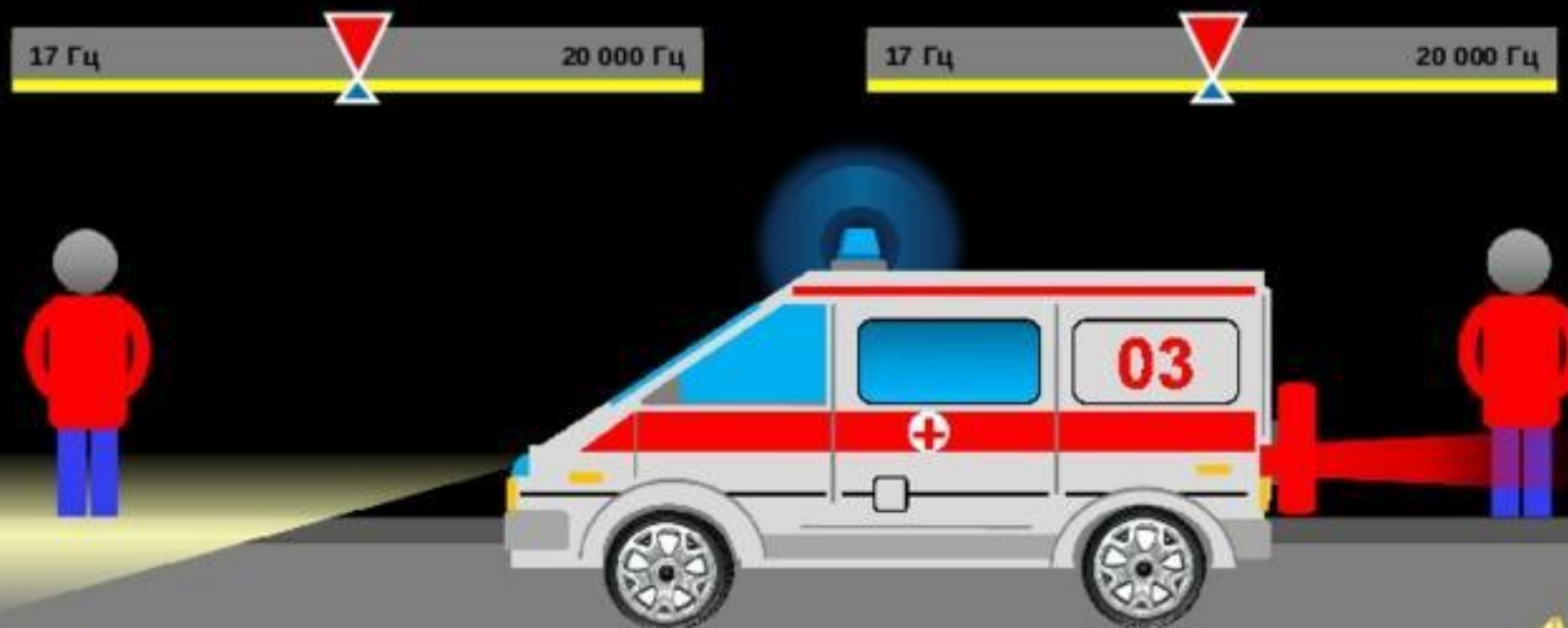
Линии в спектре источника, приближающегося к наблюдателю, смещены к фиолетовому концу спектра, а линии в спектре удаляющегося источника – к красному концу спектра (по отношению к положению линий в спектре неподвижного источника).

$$v_r = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} c = \frac{\Delta \lambda}{\lambda_0} c$$

λ_0 – длина волны в спектре звезды
 λ – длина волны неподвижного источника
 $\Delta \lambda$ – сдвиг спектральной линии
 c – скорость света ($3 \cdot 10^8$ км/с)

Эффект Доплера

Если источник звука приближается к наблюдателю, высота звука возрастает по сравнению с тем, когда источник звука покоился. Если же источник звука удаляется от наблюдателя, то высота звука понижается. Это явление называется эффектом Доплера и имеет место для всех типов волн.



Лучевая скорость



Смещение спектральной линии в спектре звезды в зависимости от направления ее движения относительно Земли.

Иллюстрация эффекта Доплера применительно к звезде.

Вертикальные линии показывают, где находилась бы спектральная линия излучения в случае стационарного источника.

Верхний спектр - фиолетовое смещение (источник излучения приближается к наблюдателю).

Нижний спектр - красное смещение (источник удаляется от наблюдателя).



Приближение –
смещение к
фиолетовой части



Спектр звезды



Удаление –
смещение к красной
части



При приближении источника излучения к наблюдателю спектр источника смещается в фиолетвую область (т.е. длины волн всех линий уменьшаются – **фиолетовое смещение**). Наоборот, если излучающий объект удаляется от наблюдателя, то длины волн увеличиваются (**красное смещение**).

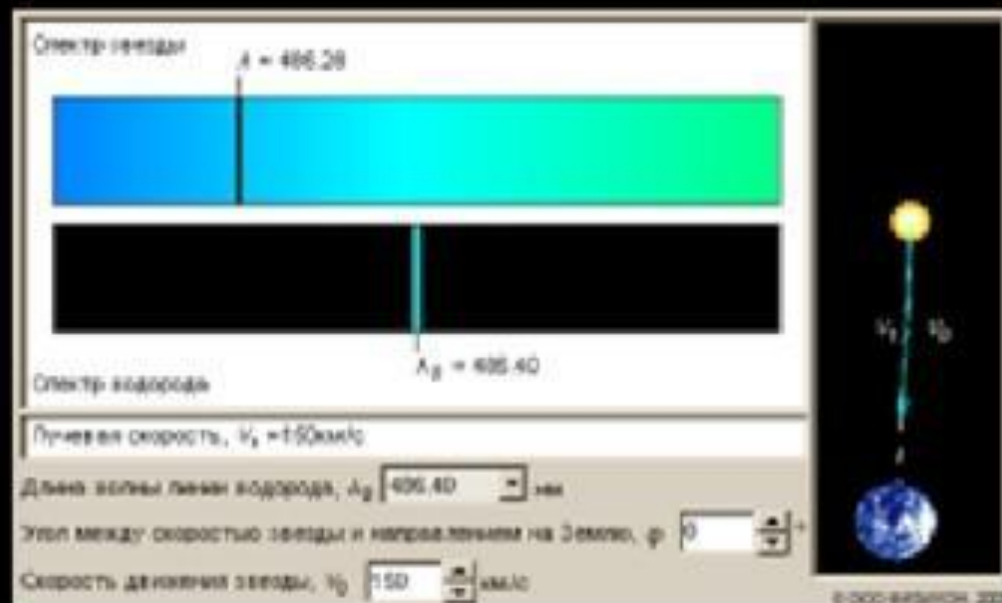


Эффект
Доплера



Смещение линий в спектре звезды относительно спектра сравнения в **красную** сторону говорит о том, что звезда **удаляется** от нас.

Смещение в **фиолетовую** сторону спектра указывает на то, что звезда **приближается** к нам.





Первым измерил лучевые скорости нескольких ярких звезд в 1868 г. Уильям Хеггинс (1824 - 1910, Англия).

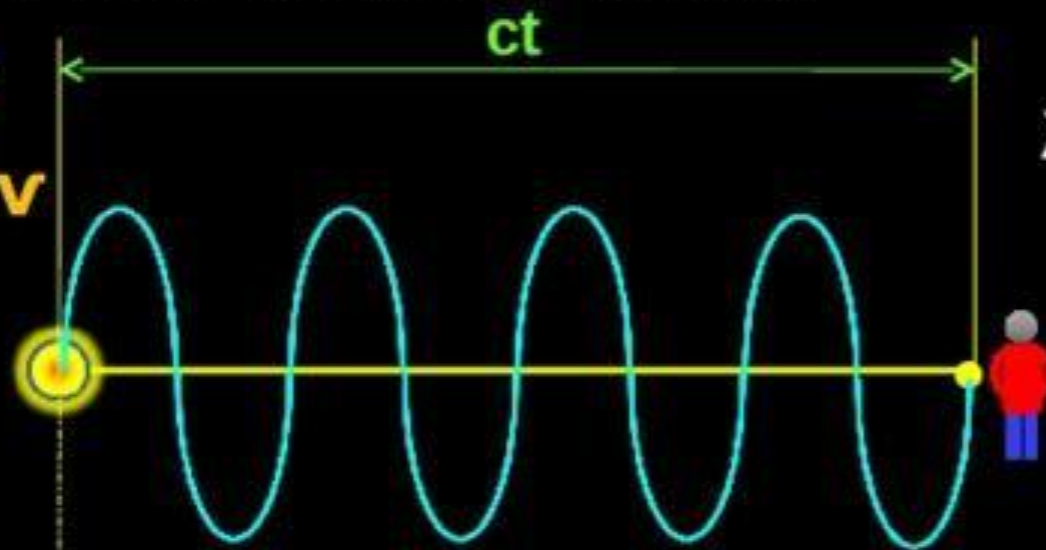
С 1893г впервые в России Аристарх Аполлонович Белопольский (1854 - 1934) приступил к фотографированию звезд и, проведя многочисленные точные измерения, определил лучевые скорости 220 ярких ($2,5-4^m$) звезд.



За время t источник испускает $\nu_0 t$ волн.

$$c = \lambda \nu$$

$$\lambda = c / \nu$$



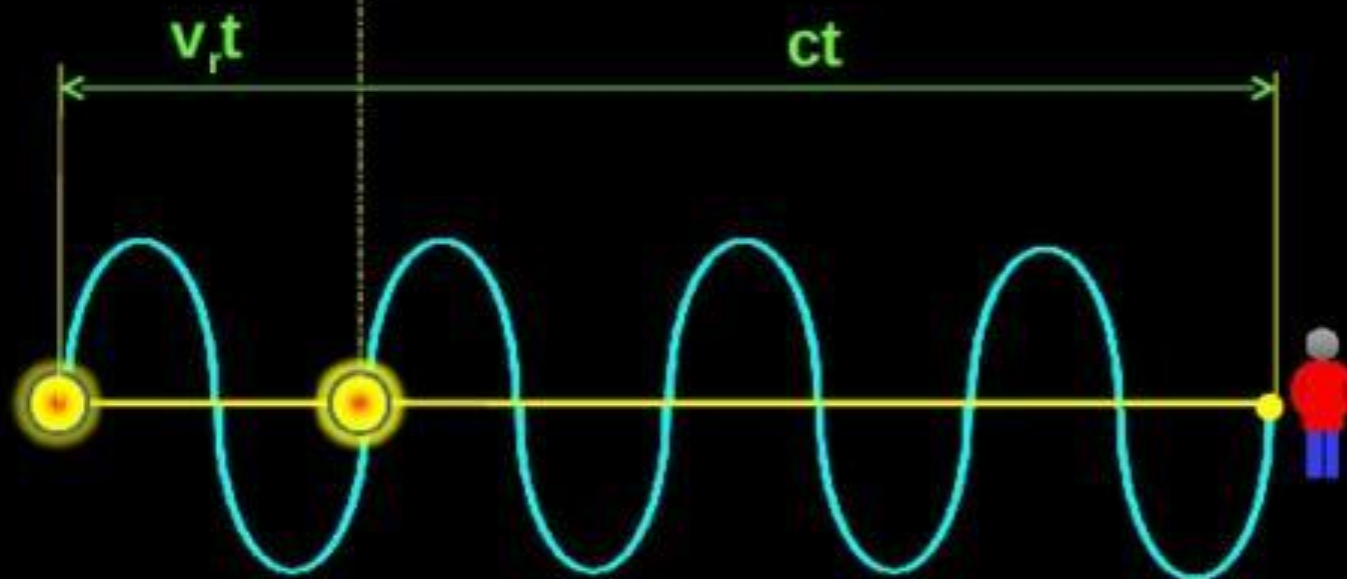
$$\lambda_0 = ct / \nu_0 t$$

$$\lambda = (ct + \nu_r t) / \nu_0 t$$

$$\Delta \lambda = \lambda - \lambda_0$$

$$\Delta \lambda = \nu_r / \nu_0$$

$$\Delta \lambda = \lambda_0 \nu_r / c$$



$$\nu_r = \frac{\Delta \lambda c}{\lambda_0}$$

<< + >>

ν_r

<< - >>



Резюме

Лучевые скорости звезд удалось обнаружить при исследовании их спектров.

Если источник, распространяющий какое - нибудь волновое движение - свет, радиоволны, звук и т. д. - приближается к нам, то число волн, достигающих нас в единицу времени, возрастает. Мы отметим увеличение частоты волнового движения и, следовательно, уменьшение его длины волны.



Удаление же источника волнового движения вызовет уменьшение частоты колебаний и увеличение их длины волны.

Величина этих изменений (смещение) пропорциональна лучевой скорости и определяется законом Доплера (эффект Х. Доплера (1803-1853, Австрия), установлен в 1842 г.).

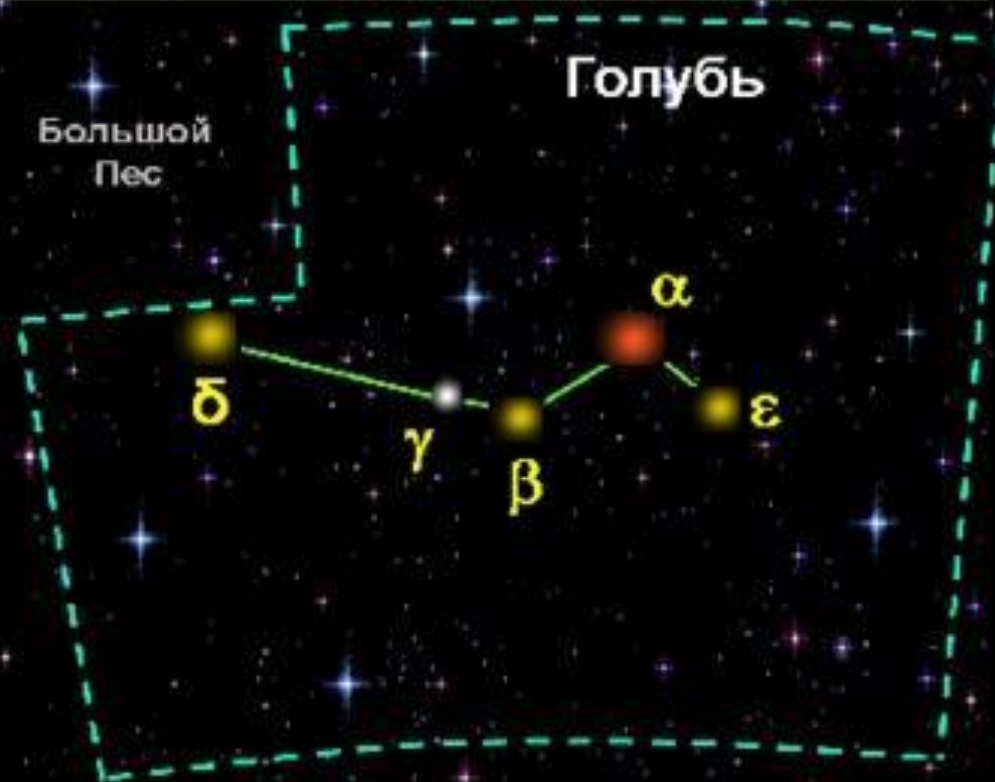
$$\Delta \lambda = \lambda_0 v_r / c$$

$$v_r = \frac{\Delta \lambda c}{\lambda_0}$$

Собственные движения и лучевые скорости ярких звезд

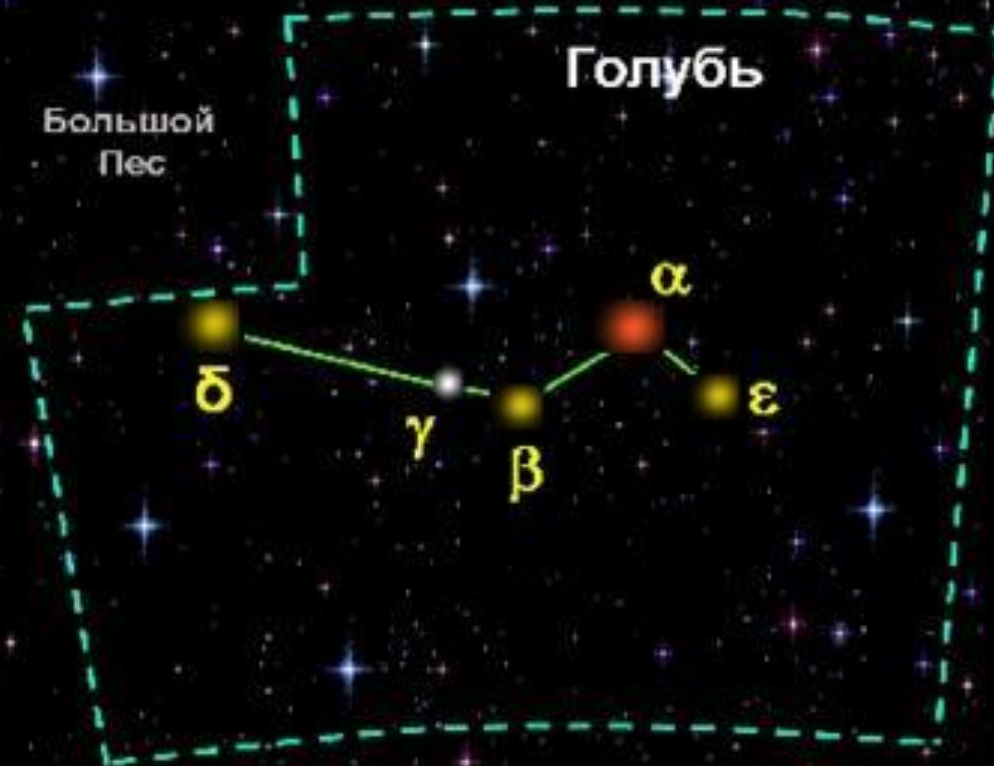
Звезда	m	u_r	Звезда	m	u_r	Звезда	m	u_r	Звезда	m	u_r
Альдебаран	0,199	+54	Бетельгейзе	0,029	+21	Кастор	0,254	+5,2	Регул	0,249	+6
Альтаир	0,661	-26	Вега	0,350	-14	Поллукс	0,628	+3	Ригель	0,002	+21
Антарес	0,025	-3	Денеб	0,002	-4,5	Полярная	0,046	-17	Сириус	1,339	-8
Арктур	2,279	-5,3	Капелла	0,434	+30	Процион	1,258	-4,1	Спика	0,054	+1

После измерения собственных движений более 50000 звезд, выяснилось, что самая быстрая звезда – в созвездии Голубя (μ - звезда Col). Она имеет пространственную скорость около 583 км/с.



Голубь - небольшое созвездие южного полушария неба, поднимается невысоко над горизонтом, и поэтому видимость его ограничена. Отыскать его на небе несложно, поскольку Голубь находится рядом с хорошо заметным созвездием Большого Пса. При хороших условиях видимости в ясную и безлунную ночь в созвездии можно увидеть невооружённым глазом около 40 звезд. Из них две самые яркие звезды имеют блеск 3m и две - 4m. Остальные находятся на границе видимости невооруженным глазом. Звезды Голубя не образуют никакой характерной геометрической фигуры.

Первоначально созвездие называлось «Голубь Ноя» поскольку оно находится непосредственно рядом с Кораблем «Арго», который в Средние века и Новое время иногда называли «Ноев ковчег».

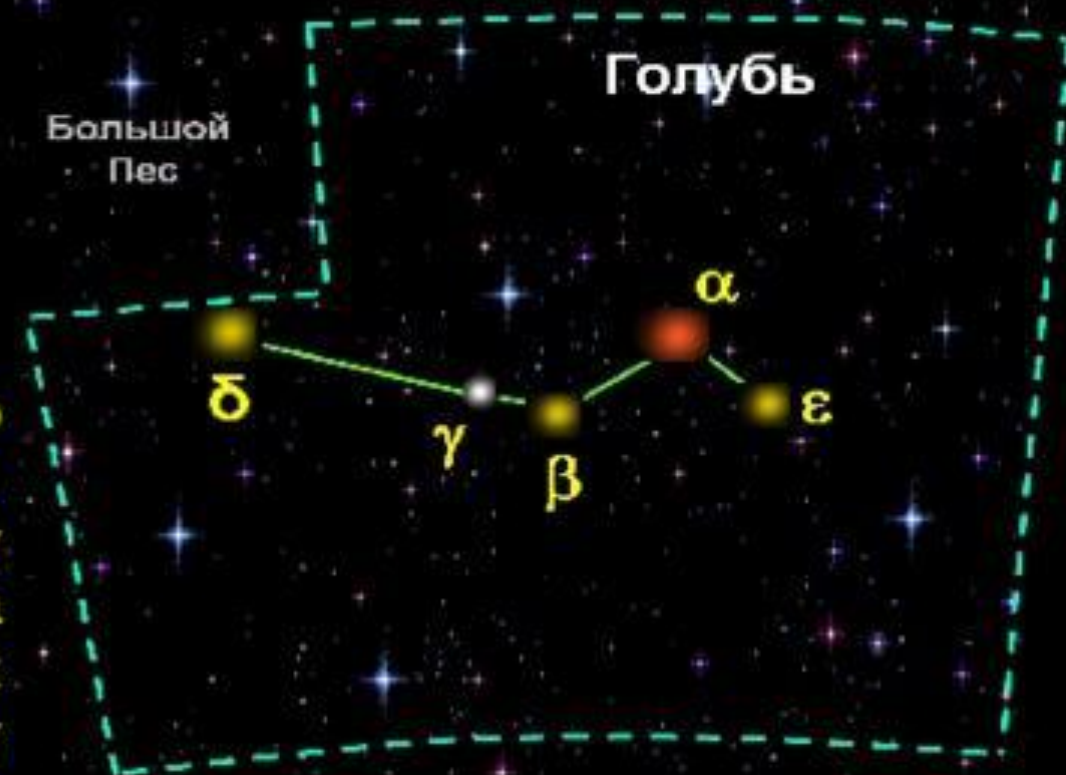


Мифология

Греческие мифы отсылают нас к путешествию Аргонавтов. В своем плавании на восток, в Колхиду, они должны были проплыть между страшных, можно сказать, гадских, Симплегадских скал. Симплегадские - "сталкивающиеся" - скалы, сторожили вход в Эвксинское (Черное, тогда еще называлось Аксинское) море из Пропонтиды (Мраморного моря). Так аргонавты открыли безопасный вход в Черное море, а голубь попал на небо, рядом с кораблем Арго.

Первоначально созвездие называлось «Голубь Ноя».

Другая версия уверяет, что это один из голубей, запрягавшихся в колесницу Афродиты, на которой она летала с Кипра в Финикию к своему возлюбленному Адонису. Почему бы и нет?



Спасибо за внимание!

Не забудьте выполнить тест