

Пространственные скорости звёзд

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

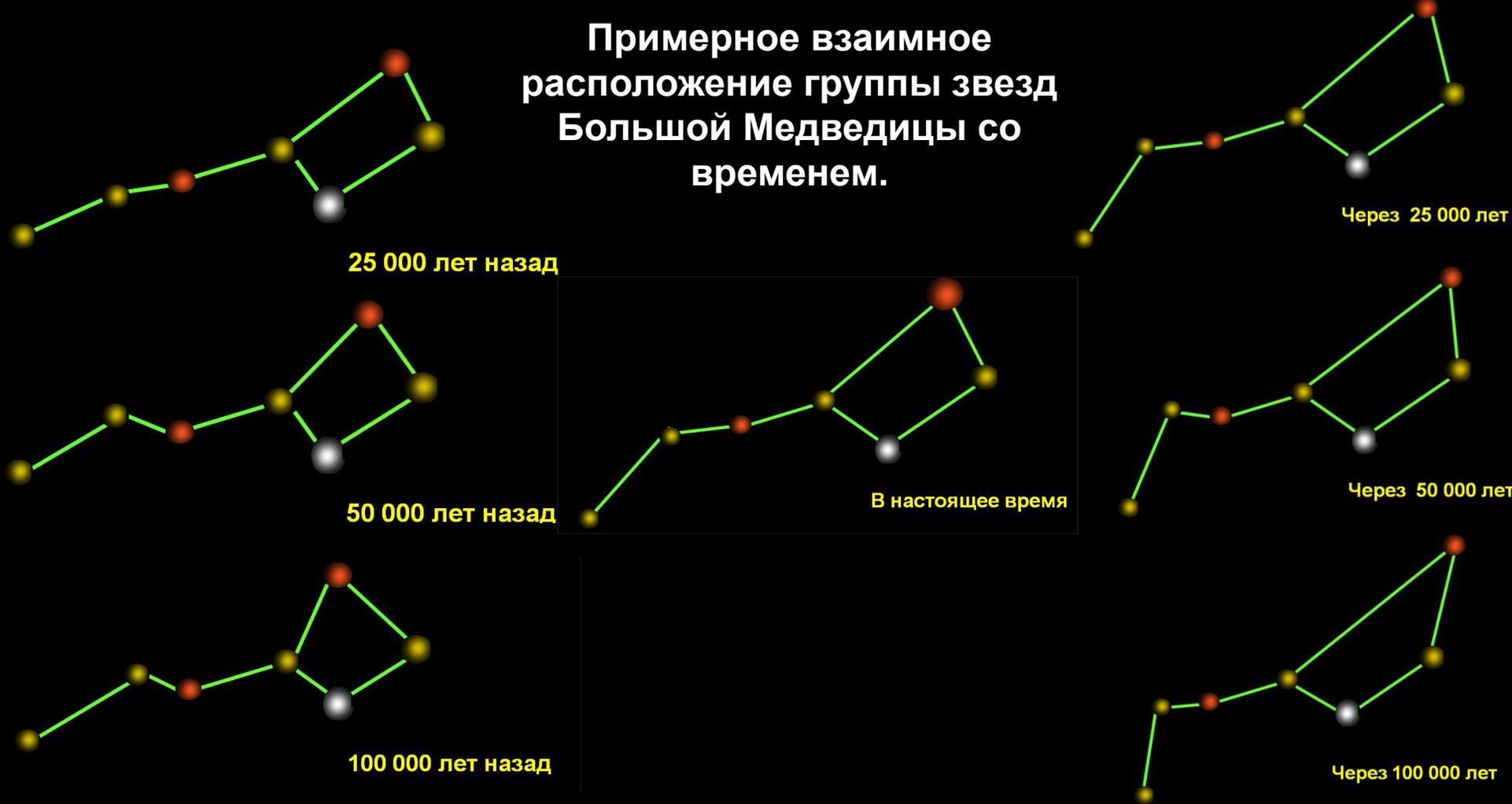


В 720 г. И. Синь (Чжин Суй, 683-727, Китай) в ходе углового измерения расстояния между 28 звездами, впервые высказывает предположение о перемещении звезд.

Изменение положения звезд на небе

Звезды движутся с разными скоростями, в разном направлении и находятся на разном расстоянии от нас. Вследствие этого взаимное расположение звезд меняется со временем, что можно заметить в течение тысячелетий.

Примерное взаимное расположение группы звезд Большой Медведицы со временем.



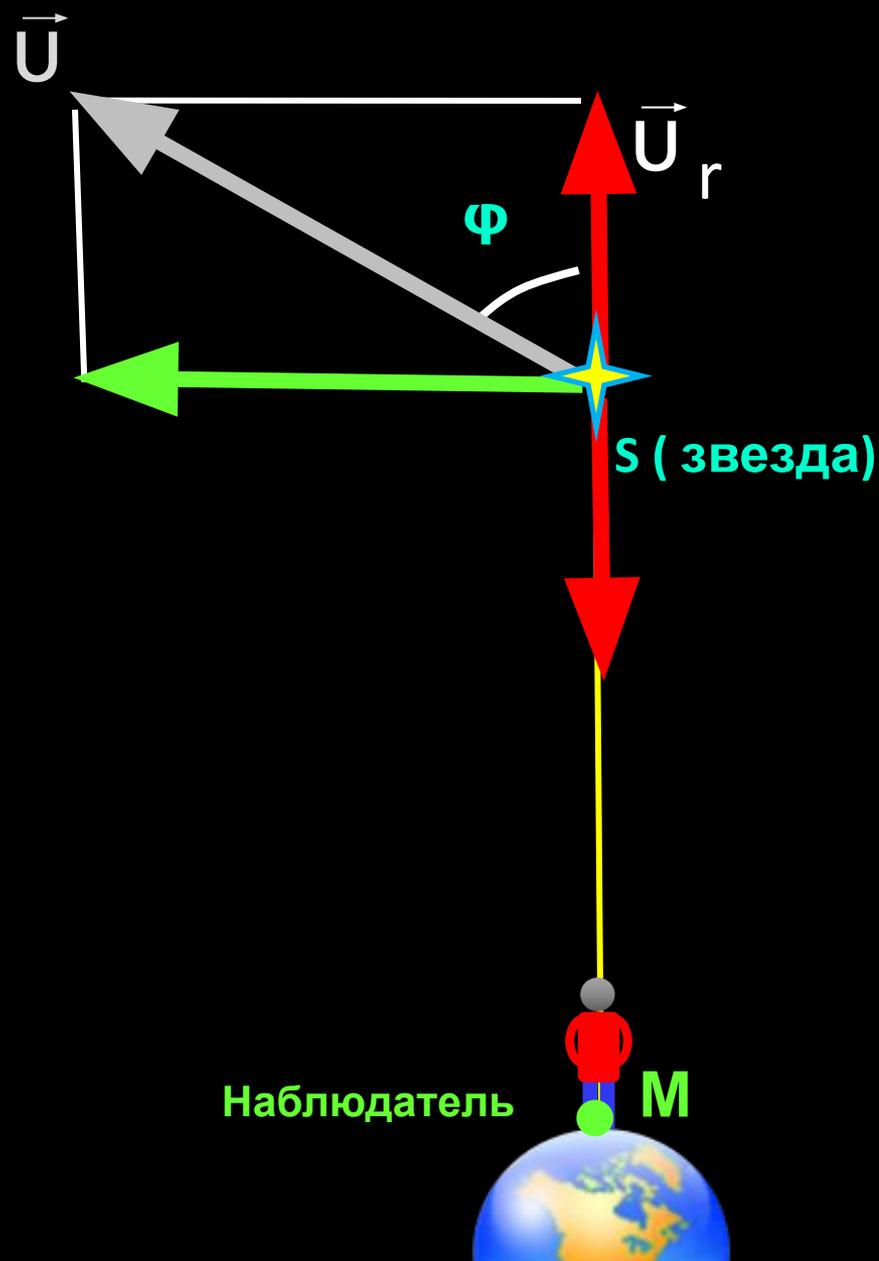
Пространственная скорость звёзды

\vec{U}_r - лучевая скорость

\vec{U}_T - тангенциальная скорость

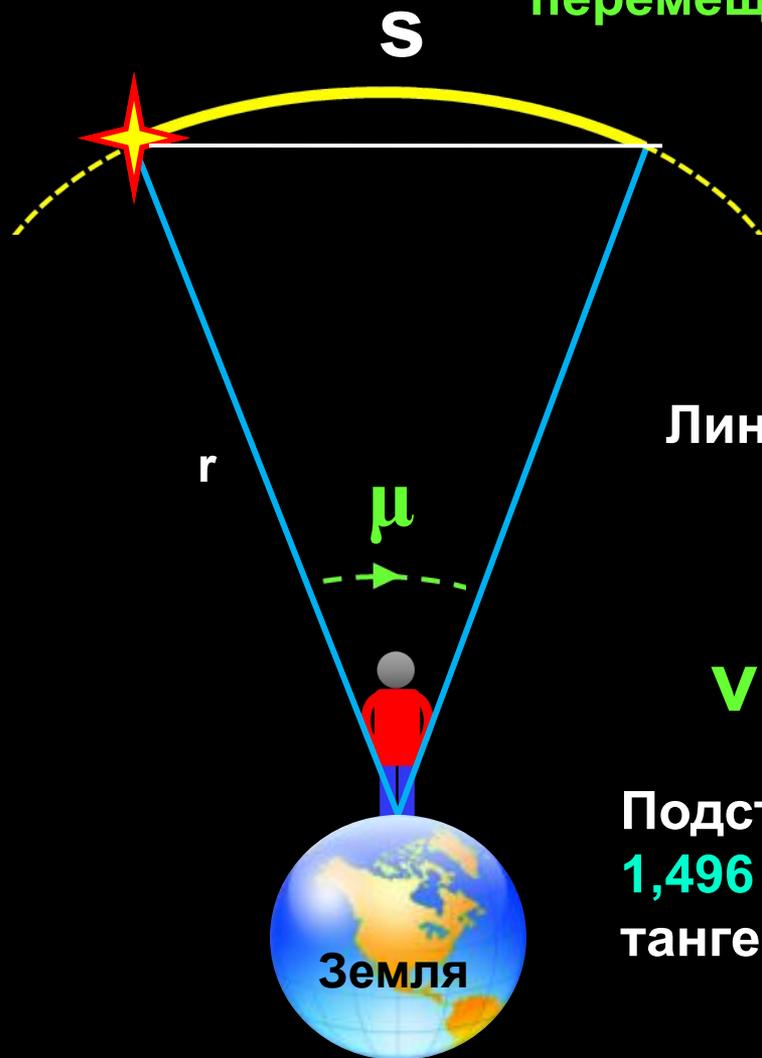
\vec{U} - пространственная
скорость

$$U = \sqrt{U_T^2 + U_r^2}$$



Собственное движение и тангенциальная скорость звёзд

Небесная сфера



Собственное движение звезды (μ) – это угловое перемещение звезды на небесной сфере за год.

Собственное движение измеряется в секундах дуги в год μ (″/год).

$$r = a/\pi \quad (\text{где } a = 1 \text{ а.е.})$$

Линейное смещение $S = r\mu$ (μ в радианах)

$$r\mu = a \cdot \mu/\pi$$

$$v = s/t \quad v_T = r\mu/t = a\mu/\pi t$$

Подставляя числовые данные $a = 1 \text{ а.е.} = 1,496 \cdot 10^8 \text{ км}$, $t = 1 \text{ год} = 3,16 \cdot 10^7 \text{ с}$, получим тангенциальную скорость в км/с:

$$v_T = 4,74 \cdot \mu/\pi$$

Собственное движение звезды



В 1718 г. Э. Галлей (1656-1742, Англия) открывает собственное движение звезд, исследуя и сравнивая каталоги Гиппарха (125 г. до нэ) и Дж. Флемстида (1720 г.).

Галлей обнаружил собственное движение у звезды Арктур (α Волопаса), находящуюся в 36 св.г. и имеющей собственное движение $2,3''$ /год, а также у Альдебарана, Сириуса из сопоставления современных ему координат с координатами в Альмагесте Птолемея.



Собственное движение звезды



В дальнейшем определением движений звезд занимались Тобиас Майер (1723 – 1762) и Никола Лакайль (1713 – 1762).



В. Гершель в 1783 г., сравнив известные собственные движения 13 звезд (к концу 18 века измерено собственное движение 13 звезд) в окрестностях Солнца, обнаружил его движение в пространстве и указал довольно точно его направление (апекс) к созвездию Геркулеса.



Собственное движение звезды

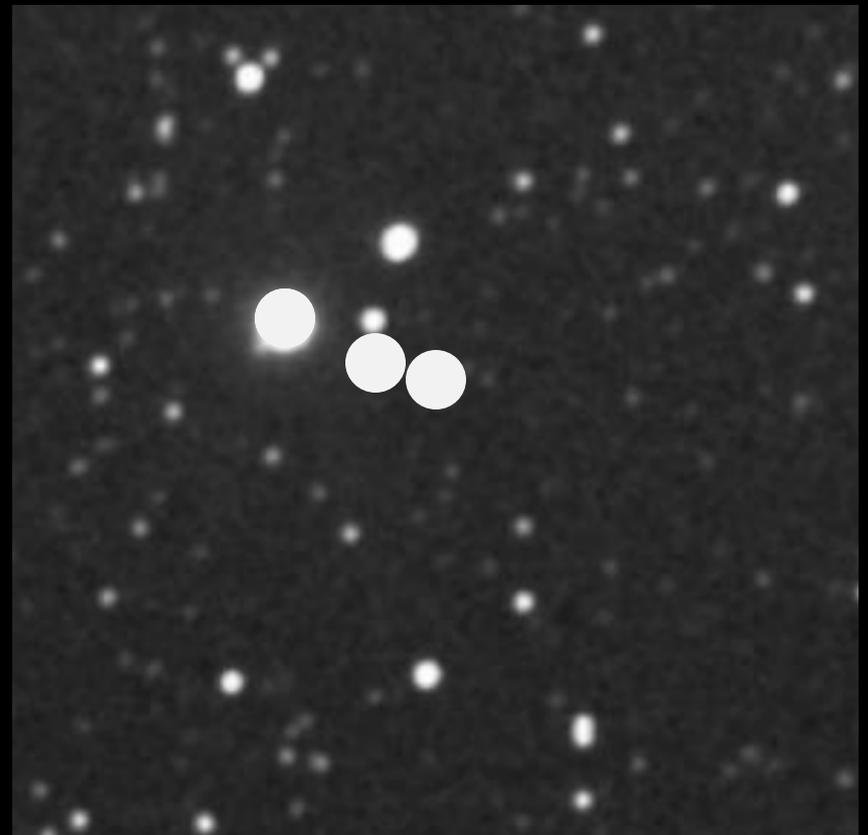
Звезда, открытая Э.Э. Барнардом в 1916г., до сих пор является звездой с самым большим собственным движением. Неофициальное название звезды (звезда Барнарда) теперь общепризнано. Звезда находится в созвездии Змееносца на расстоянии 1,828 пк (5,96 светового года) от Земли. Ее собственное движение составляет 10,31 дуговых секунды в год.

Звезда Барнарда - одна из самых близких к Солнцу звезд (следующая после Проксимы Центавра и двойной системы Альфа Центавра А и В). Кроме того, звезда Барнарда движется и в направлении Солнца, приближаясь к нему на 0,036 светового года в столетие. Через 9000 лет она станет самой близкой звездой, заняв место Проксимы Центавра.

Собственное движение звезды



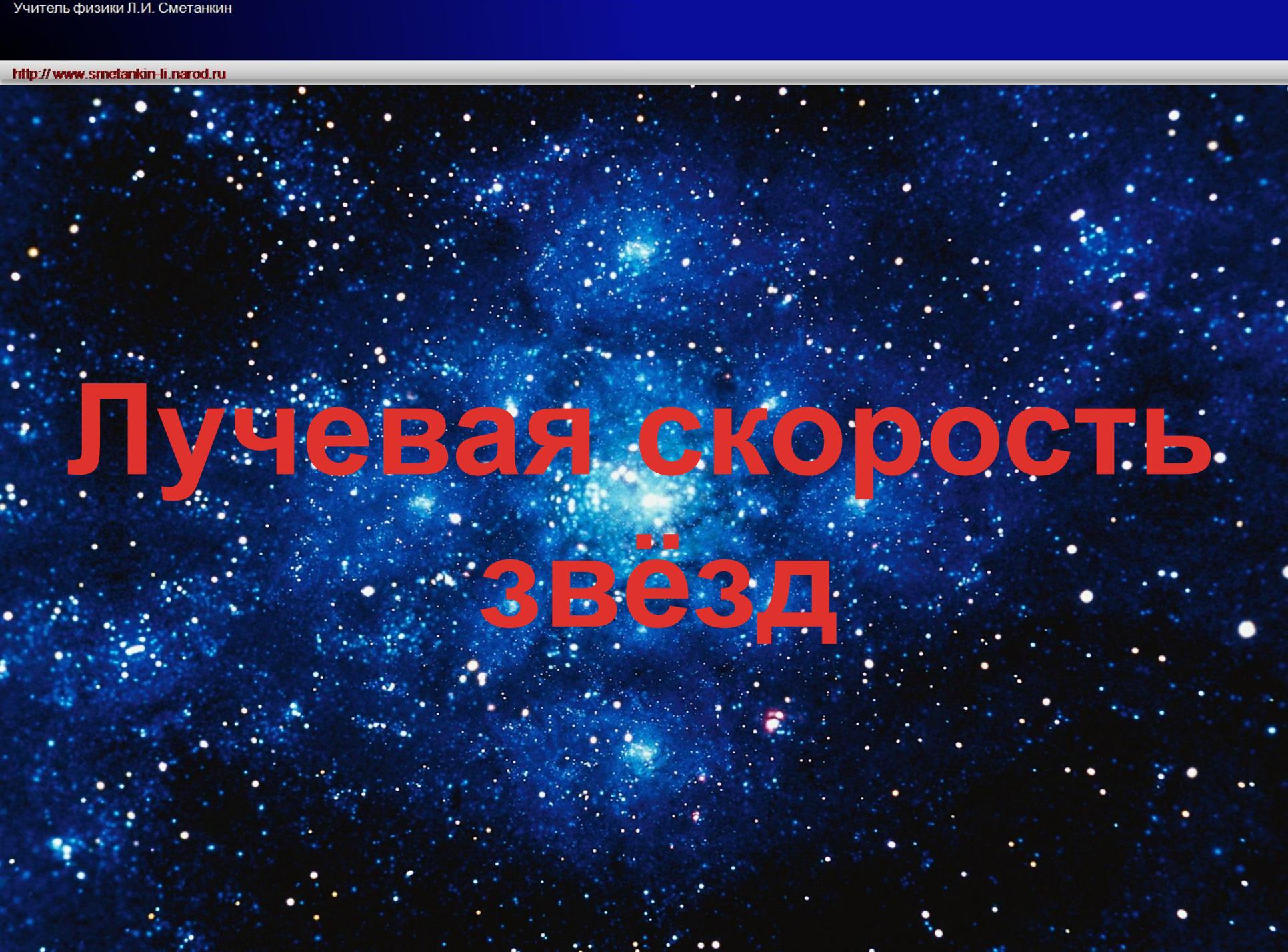
Июль 2001 г. Июнь 2004 г. Июнь 2007 г. Июнь 2010 г.



**Звезда Бернарда в созвездии
Змееносца быстро перемещающаяся
(10,31"/год) звезда на небе.**

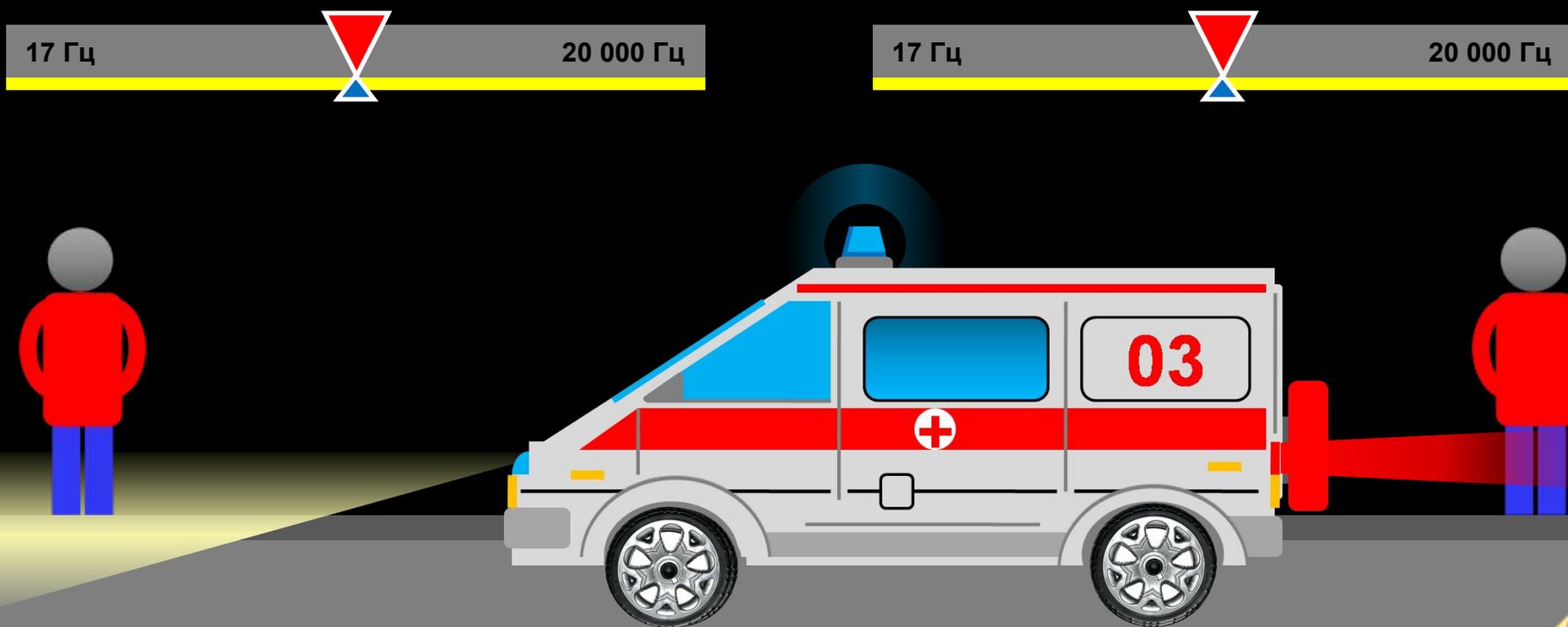
В анимации указано примерное перемещение звезды Бернарда путем наложения фотографий.

Лучевая скорость звёзд



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.



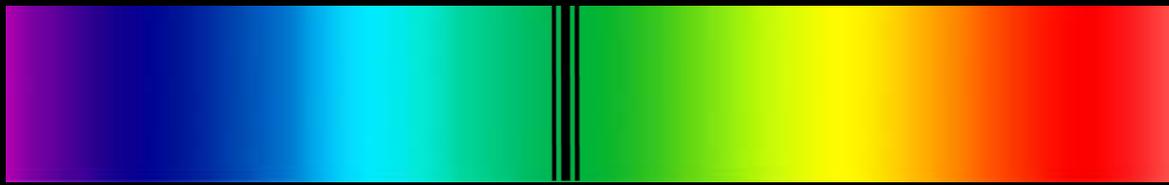
Смещение спектральной линии в спектре звезды в зависимости от направления ее движения относительно Земли.



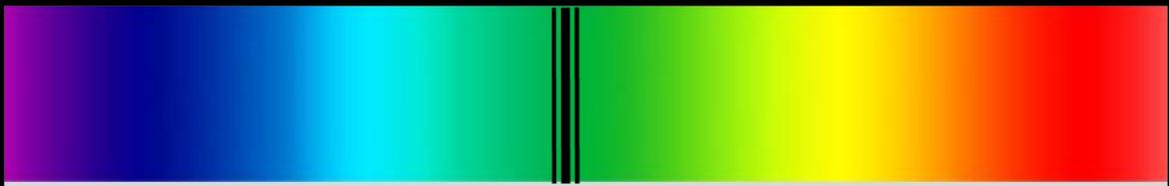
Иллюстрация эффекта Доплера применительно к звезде.

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).



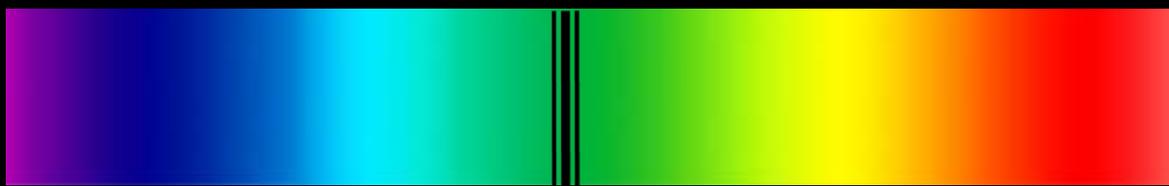
Приближение –
смещение к
фиолетовой части



Спектр звезды



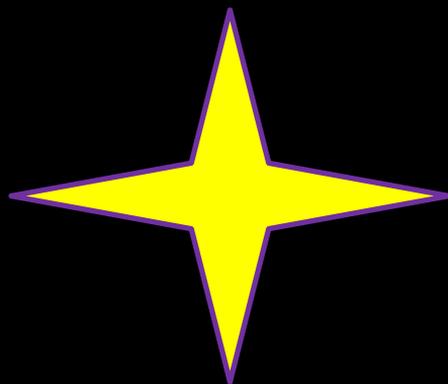
Удаление –
смещение к красной
части



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**).



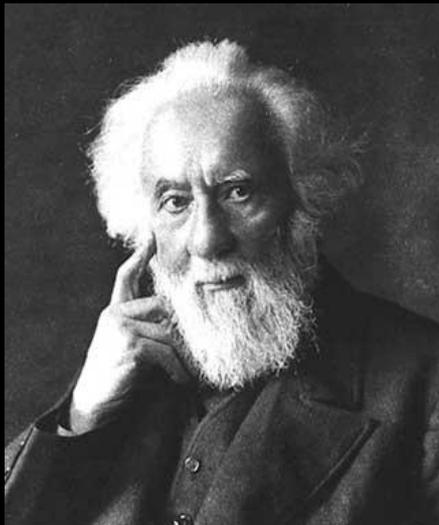
**Эффект
Доплера**



Как можно определить будет ли дождь?

. Сами того, возможно, не сознавая, вы при этом наблюдаете фундаментальнейшее (и полезнейшее) свойство волн.





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

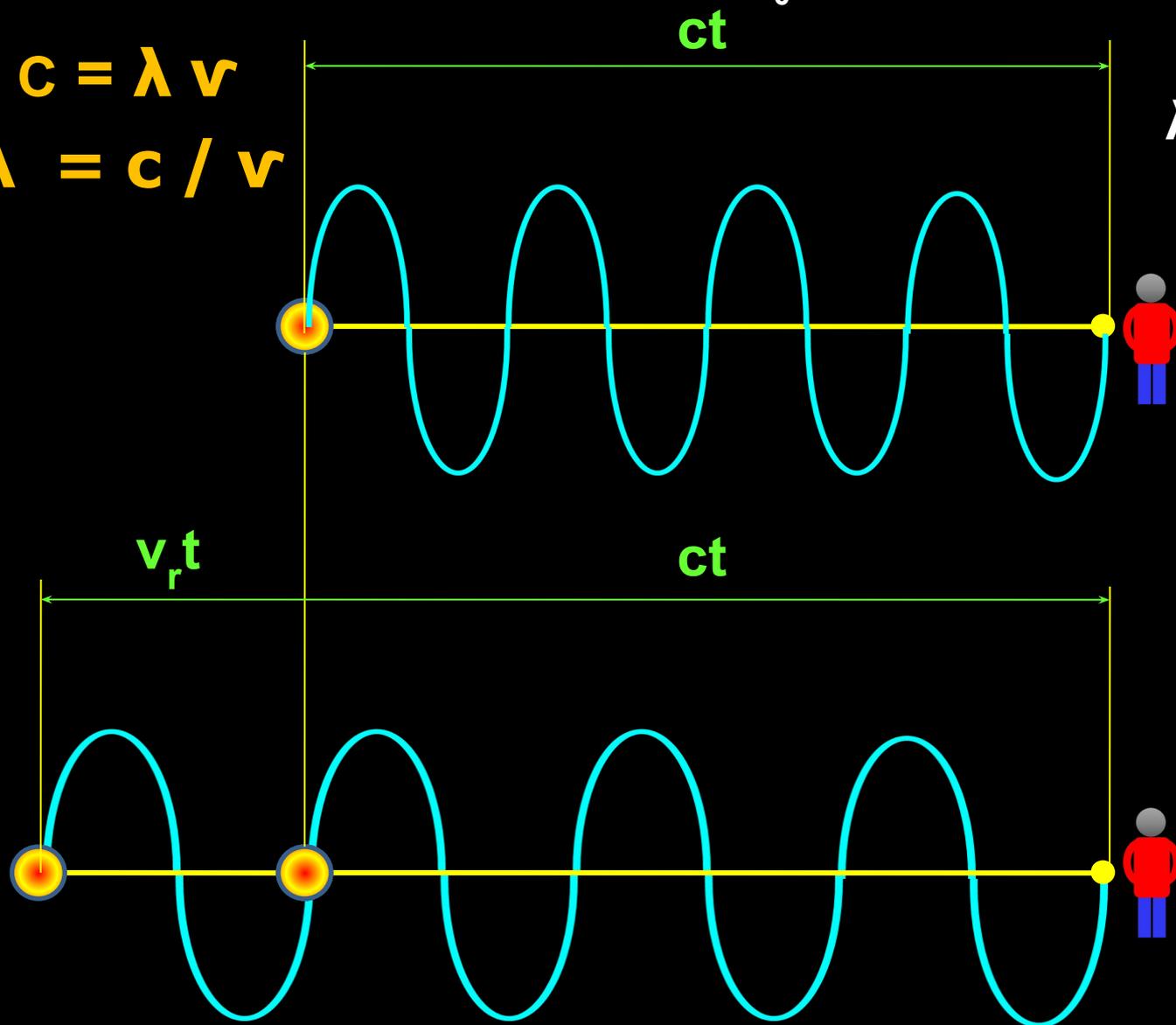
С 1893г впервые в России Аристарх Аполлонович Белопольский (1854 - 1934) приступил к фотографированию звезд и, проведя многочисленные точные измерения, определил лучевые скорости 220 ярких ($2,5-4^m$) звезд.



За время t источник испускает $v_0 t$ волн.

$$c = \lambda v$$

$$\lambda = c / v$$



$$\lambda_0 = ct / v_0 t$$

$$\lambda = (ct + v_r t) / v_0 t$$

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

$$\Delta \lambda = v_r / v_0$$

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

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

$\ll + \gg$

v_r

$\ll - \gg$

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.).

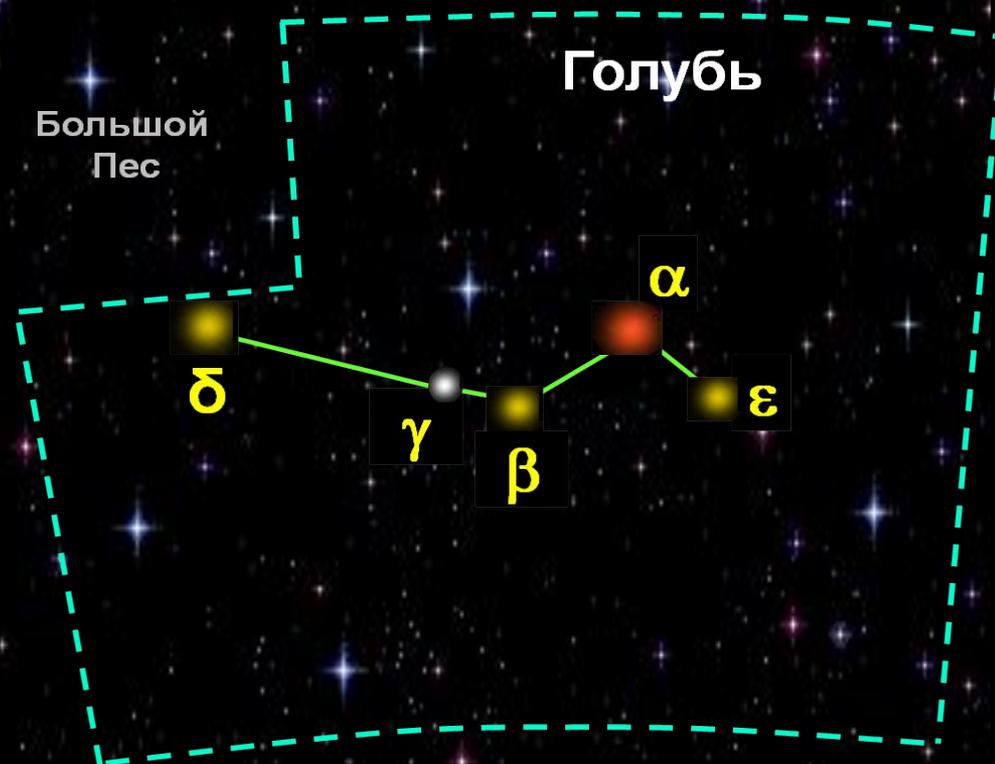
$$\Delta \lambda = \lambda_0 v_r / c$$

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

Собственные движения и лучевые скорости ярких звезд

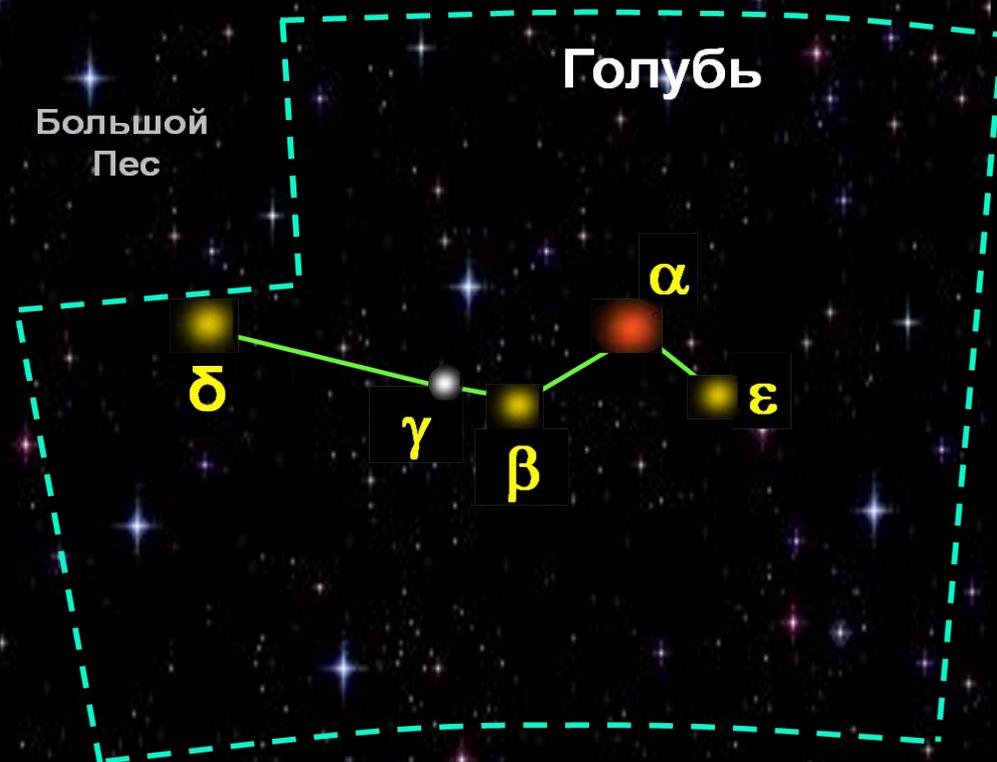
| Звезда | m | u_r | Звезда | m | u_r | Звезда | m | u_r | Звезда | m | u_r |
|------------|-------|-------|-------------|-------|-------|----------|-------|-------|--------|-------|-------|
| Альдебаран | 0,199 | +54 | Бетельгейзе | 0,029 | +21 | Кастор | 0,254 | +5,2 | Регул | 0,249 | +6 |
| Альтаир | 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 Sol). 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 3^m и две - 4^m. 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».

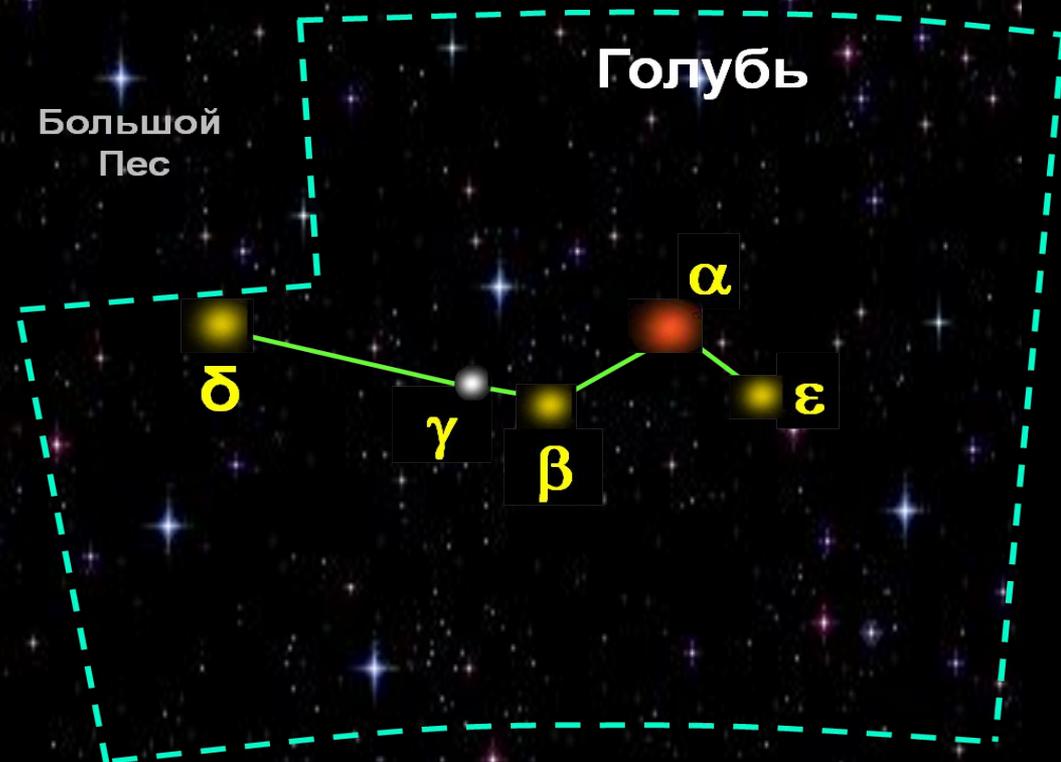


Мифология

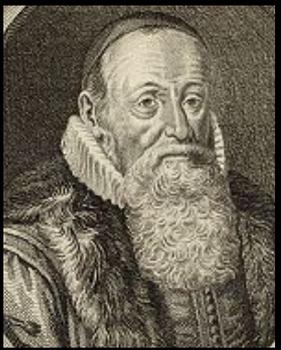
Греческие мифы отсылают нас к путешествию Аргонатов. В своем плавании на восток, в Колхиду, они должны были проплыть между страшных, можно сказать, *гадских*, Симплегадских скал. Симплегадские - "сталкивающиеся" - скалы, сторожили вход в Эвксинское (Черное, тогда еще называлось Аксинское) море из Пропонтиды (Мраморного моря). Так аргонаты 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?



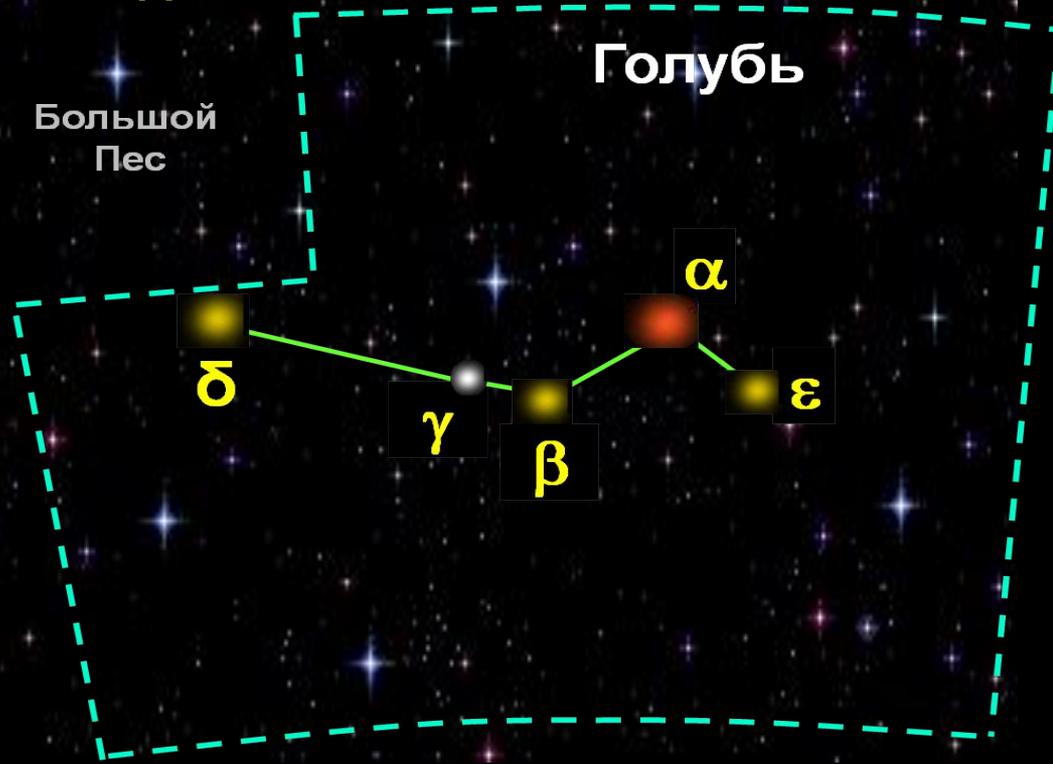
История



Созвездие Голубь было предложено Петером Планциусом на вставках карте мира 1592 года. Голубь включен немецким астрономом Иоганном Байером (1572 - 1625) в его атлас «Уранометрия» 1603 года.



Формально созвездие утвердил на небе французский астроном Августин Ройе в 1679 г. Он опубликовал небесные карты, на которых было выделено созвездие Голубя.



? Вычислите не указанные в таблице значения.

$$v_T = 4,74 \cdot \mu / \pi$$

| Звезда | μ'' | V_r км/с | π'' |
|------------|---------|------------|---------|
| Арктур | ? | -5,3 | 0,375 |
| Бернарда | 10,31 | ? | 0,552 |
| Альдебаран | 0,2 | +54 | 0,05 |

? Вычислите лучевую скорость Альдебарана, если его пространственная скорость равна 57, 2 км/с. Определите смешение линии в спектре, соответствующей длине волны 0,5 мкм. При решении задачи используйте таблицу.

$$u = \sqrt{u_T^2 + u_r^2}$$

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