

## ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ ДО ЗВЁЗД, И НЕ ТОЛЬКО

Я упоминал о методе параллакса в основной части статьи «Астрофизика». Метод известен давно, он не использует знаний квантовой физики или теорий Эйнштейна, то есть по сути идейно очень прост, о нём, как геометрическом (или иногда называют тригонометрическим) методе часто упоминают в популярных статьях об астрономии. Я, честно говоря, ранее в него не вникал. Но при написании об астрофизике я ощущал долг разобраться с ним подетальнее, стал копаться в Интернет, и обнаружил, что он не так прост, имеются «засады». И хотя в сети о нём попадается достаточно много материала, он в большинстве случаев излагается очень поверхностно, некорректно и даже ложно. Я стал придирчиво вникать в найденные статьи, и здесь предлагаю то, с чем я разобрался.

Этот текст можно было бы включить в качестве раздела «Дополнение» в статье «Астрофизика», но он получился достаточно объёмным, поэтому вынесен в самостоятельную статью. Основное содержание – именно о методе параллакса для измерения расстояний до звёзд, хотя в конце кратко изложены методы использования цефеид, сверхновых типа Ia и космологического красного смещения.

Параллакс – от греческого «параллаксис», что означает «отклонение». Как водится, ведём изложение с исторической ретроспективой. Параллакс основан на простых геометрических вычислениях. Наверно, все помнят, как в школьных учебниках излагается способ измерения до объекта, находящегося на другом берегу от наблюдателя (рисунок 1: задача из учебника А.В.Погорелова «Геометрия 7-9», 2014 г., стр. 178). Нужно измерить расстояние между двумя доступными точками (A и B) и два доступных угла,  $\alpha$  и  $\beta$ , далее по геометрическим формулам можно вычислить все характеристики треугольника: стороны AB и BC, высоту из вершины B, третий угол. В данном случае отрезок AC называется базой.

15. Объясните, как найти расстояние от точки A до недоступной точки B (рис. 273), зная расстояние AC и углы  $\alpha$  и  $\beta$ .

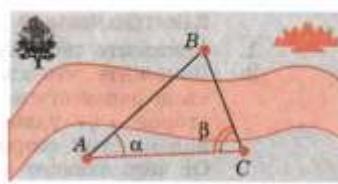


Рис. 273

Рисунок 1

Уже с античности были попытки определить расстояния до недоступных небесных объектов: Солнца, Луны, планет и звёзд. В голову, естественно, приходил геометрический метод, и он был основным в многочисленных попытках. Что интересно, с очень высокой точностью, совпадающей с современными измерениями, расстояние до Луны определил Гипарх за полторы сотни лет до нашей эры, правда, его метод не имел отношения к параллаксу, о котором пойдёт здесь речь. Измерения расстояний до Луны и планет Солнечной системы – отдельная увлекательная история, но мы давайте сразу говорить о расстояниях до звёзд.

Давайте по порядку. Как и в примере со школьным учебником, нужно выбрать базу. Достаточно быстро стало понятно, что до звезд очень далеко, и база в пределах Земли слишком мала для вычислений. Треугольник от базы до звезды получался невероятно вытянутый, и угол при звезде оказывался, ну, неощутимо маленьким.

Может показаться, что можно измерить углы, примыкающие к базе, как на рисунке, 1, но технически проще мерить очень маленькие углы, чем близкие к  $90^\circ$ . Дело в том, что измерения, так скажем, транспортиром, имеют несравненно худшую точность, чем измерения расстояний на небосводе, а по сути дуговых значений. Но точно измерять можно небольшие дуги, а не в половину небосвода (конечно, имеем в виду возможности приборов несколько столетий назад). Как соотносятся измерения дуг на небосводе и угол треугольника при звезде, мы подробнее

рассмотрим попозже. Но именно вычисление расстояния до далёких объектов на основании размеров базы и угла при далёком объекте называется методом параллакса.

Понятно, что чем длиннее база, тем больше угол при звезде, тем легче его измерить. Самой большой доступной базой оказалась орбита Земли вокруг Солнца (рисунок 2), правда измерения нужно было проводить не одновременно. К использованию диаметра орбиты Земли пришли уже после средневековья, когда Коперник высказал гипотезу о гелиоцентричности Солнечной системы, а Кеплер убедительно это доказал, и можно было рассчитать орбиту Земли. Но даже это солидное (в представлении 16 века) расстояние оказалось много-много меньше расстояния до звезд, и измерить угол при звезде долго не удавалось. В 16, 17 и 18 веках попытки измерений были безуспешными, вплоть до 19 века.

Заметим, что попытку оценки расстояний до звёзд делал ещё в 3 веке до нашей эры Аристарх Самосский. Он уже тогда предложил гелиоцентрическую систему мира и пытался прикинуть расстояние до небесной сферы, на которой, по тогдашним представлениям, были закреплены звёзды. Конечно, размеров орбиты Земли он не знал. Изменений углов до звёзд он не обнаружил, отсюда он сделал правильный вывод об огромном превышении расстояния до небесной сферы по сравнению с размерами орбиты Земли. А в средние века достижения античных учёных были как бы позабыты.

И вот в 19 веке сразу три астронома, Фридрих Георг Вильгельм Струве, Фридрих Вильгельм Бессель и Томас Джейн Хендерсон получили первые результаты. У нас в России любят больше Струве, потому что он из немецкого стал русским астрономом, первым директором Пулковской обсерватории, и даже превратился в Василия Яковлевича Струве. Но вот мне лично мне ближе кёнигсбержец Бессель, наверно, потому что я живу в Калининграде. К тому же у Бесселя самый убедительный и точный результат на примере расстояния до 61 Лебедя. Ну а про англичанина Хендерсона вообще говорить не будем.

Теперь о параллаксе поговорим поподробнее. В случае измерения расстояний до очень далёких объектов, схема вычислений, с одной стороны, выглядит проще, чем на рисунке 1, с другой стороны, есть несколько трудностей и засад. Главная особенность, о чём уже говорилось выше, невероятная вытянутость треугольника.

В методе параллакса берут за основу для вычислений половину угла при звезде, который опирается на базу, на рисунке 2 это  $\angle BAC$ , его половина  $\angle BAO$ , обозначена как  $p$ , его то и называют параллаксом. Если базой является диаметр земной орбиты, метод называют годичным звёздным параллаксом. Бывает ещё суточный, когда для измерения расстояний до планет в качестве базы брался диаметр Земли, и вековой, когда учитывается движение Солнца в Нашей галактике, но мы далее будем говорить только о годичном параллаксе и слова «годичный звёздный» будем опускать. Да, иногда мы будем называть Нашу галактику Млечным путём, это синонимы.

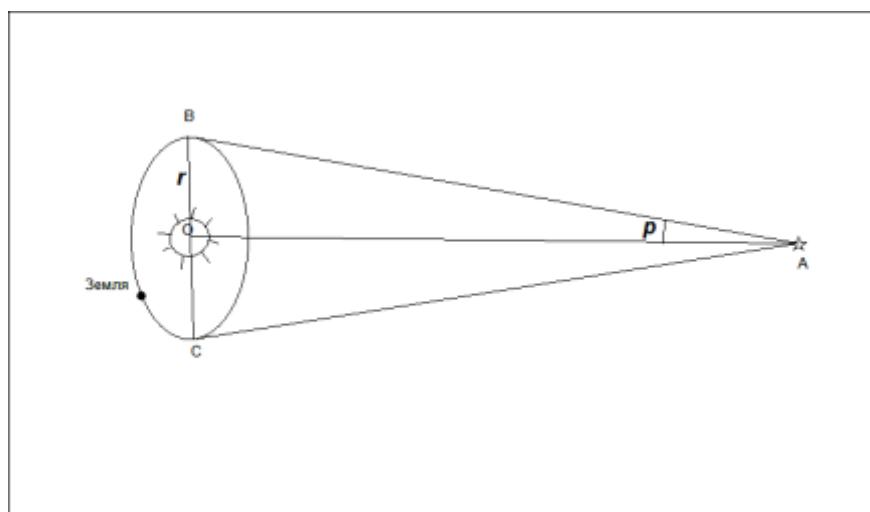


Рисунок 2

Чтобы не перетягивать статью, будем излагать по возможности упрощённо (есть два варианта чертежа на рисунке 2).

Итак, к 19 веку (спасибо Кеплеру и Ньютону) астрономы точно знали диаметр земной орбиты, точнее, диаметров, с учётом того, что это не окружность, а эллипс, соответственно знали радиус  $r$  земной орбиты, и расстояние  $x$  от Солнца до звезды вычисляли из соотношения  $\tan p = r/x$ , отсюда  $x = r/\tan p$ . А поскольку угол  $p$  чрезвычайно мал, как оказалось, для любой звезды он меньше одной секунды, и если выражать  $p$  в радианах, то можно приближённо считать, что

$$p = \tan p = \sin p.$$

Отсюда  $x = r/p$ . Из этой формулы астрономы взяли удобную для себя единицу, парсек (**параллакс - секунда**). Это расстояние до объекта, годичный параллакс которого равен одной секунде. Заметим, что среди звёзд таких объектов нет, у всех звёзд параллакс меньше секунды, соответственно расстояние до них больше парсека. В более привычных для нас расстояниях в световых годах один парсек равен 3.2616 с.г.

Таким образом, измеряя угол  $2p$ , то есть двойной параллакс, можно вычислить расстояние до звезды. Успеху измерения параллакса поспособствовало то, что наконец то в 19 веке создали прибор (гелиометр), позволяющий измерять очень малые углы, и именно с его помощью Бессель измерил параллакс 61 Лебедя. И как-то везде подразумевается, что этим прибором (а позднее более совершенными телескопами) измеряли угол между крайними положениями исследуемой звезды на небосводе. Покажем на рисунке 3, это  $\angle z_1Bz_2 = s$ . Но господа, этот угол же не равен  $2p$ , очевидно, поменьше! Что же это нам подсовывают?! Как же измерить именно  $\angle BAC$  или равный ему  $\angle z_1Az_2$ ?

В многочисленных описаниях метода параллакса предполагается, что угол  $2p$  измеряется как угол на небесной сфере между двумя положениями звезды  $z_1$  и  $z_2$ , полученные с разницей в полгода (рисунок 3). Стоп, а как же мы его измерим угол  $2p$ , мы же находимся не на звезде, а на Земле? Можно, конечно, ляпнуть, что можно измерить  $\angle ABC$  и  $\angle ACB$ , вычесть их сумму из  $180^\circ$  и получить  $2p$ . Но, как выше мы уже отмечали, технически это крайне сложно сделать с приемлемой точностью, тем более в 19 веке. Если же мы с Земли будем измерять угол между  $z_1$  и  $z_2$ , то мы получим значение  $\angle z_1Bz_2 = s$  (рисунок 4), и легко доказать, что  $s < 2p$ .

Но, оказывается, если звезды  $z_1$  и  $z_2$  существенно дальше от Солнца, чем наша звезда A, то  $s$  приблизительно равна  $2p$ !

Покажем это. Пусть, например,  $Az_1 = 100^\circ$ . Проведём через B отрезок, параллельно  $Az_1$ , пусть до некой звезды  $z_3$  (рисунок 5). Тогда  $\angle z_2Bz_3 = 2p$ .

Пусть  $\angle z_1Bz_3 = t = \angle Bz_1C$ . Имеем  $s = 2p - t$ . Прикинем, чему равен  $t$ . Поскольку  $z_1C$  близко к перпендикуляру к  $BC$  и  $t$  очень мал, в радианах приблизительно  $t = \tan t = BC/z_1C = BC/100AC = 2p/100$ . Имеем, что угол  $s$ , который мал и который астроном может измерить, отличается от  $2p$  на один процент, и в случае, когда фон, то есть далёкие звёзды дальше, чем A, в десятки или сотни раз, то действительно, можно измерять угол  $s$  и считать его равным  $2p$ .

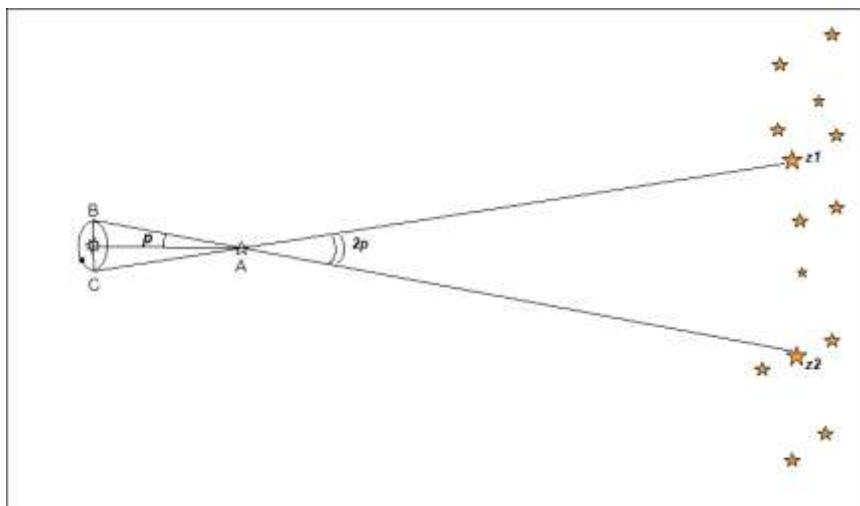


Рисунок 3

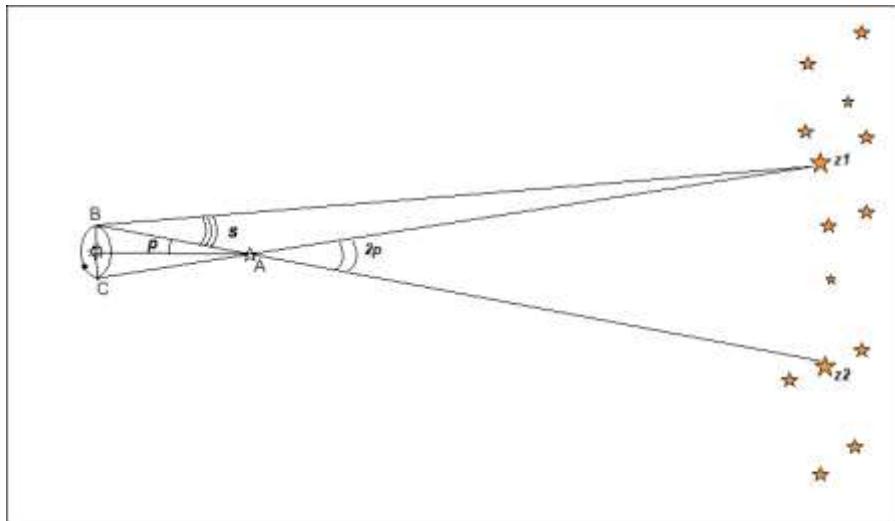


Рисунок 4

А как можно быть уверенным, что звёзды фона очень далеко? Тусклость звёзд далеко не всегда говорит об их удалённости. Но близкие звёзды, как и звезда А, при фиксации их из точки С, затем из точки В, меняют своё местоположение, а вот чем звезда дальше, тем меньше она изменяет своё положение. Во времена Бесселя в качестве фона брали, скорее всего, зрительно неподвижные звёзды и туманности, лет через 50-70 такие звёзды можно было определять на фотографиях звёздного неба, лет через 100 после Бесселя такими могут быть звёзды или изображения других галактик, а в настоящее время пиксели цифровых фотографий звёздного неба можно жёстко закреплять в небесной координатной системе при помощи позиций квазаров, которые обычно очень и очень далеки, в миллиардах световых лет от нас, в десятки тысяч раз дальше любой звезды Нашей галактики, естественно, в нашей точности измерений абсолютно неподвижны.

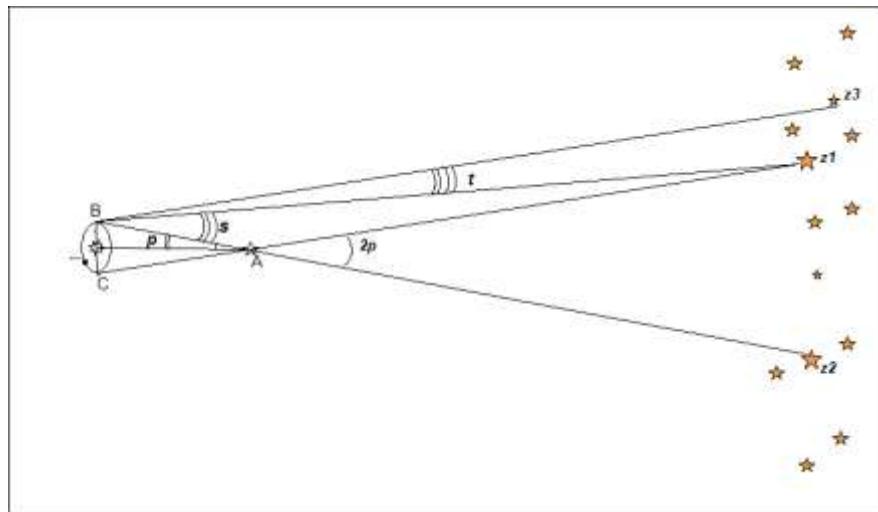


Рисунок 5

Уф, с измерением параллакса, казалось бы, разобрались. Фиксируем положение звезды в точке  $z_1$ , через полгода в точке  $z_2$ , измеряем  $s$ , делим пополам и считаем, что это параллакс  $p$ . Движемся дальше. А всегда ли можно считать, что мы можем в расчётах брать, что база у нас – радиус орбиты Земли, то есть полагать, что измерили диаметр? Можно, только измерять тогда нужно не в произвольное время. Очевидно, что звезда может находиться не точно над головой, то есть в зените эклиптики, а где-то ближе к краю плоскости орбиты Земли. В Википедии есть об

этом наглядная картинка (рисунок 6). Предполагается, что на звёздную карту отображается движение Земли непрерывно, там получается окружность, эллипс и даже вырождение в отрезок.

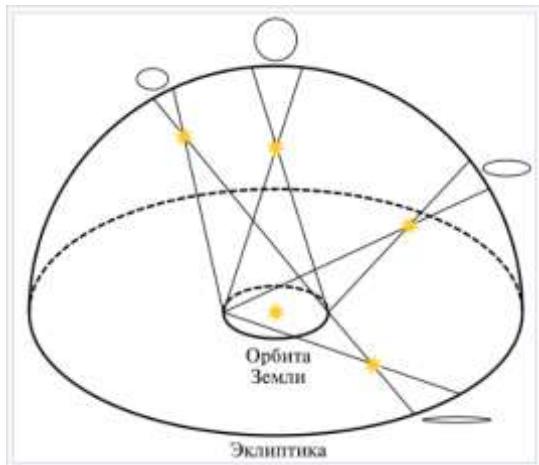


Рисунок 6

Видим, что в небесном эллипсе всегда можно выбрать отображение диаметра орбиты Земли в виде большого диаметра эллипса, оно соответствует двум определённым временам года для конкретной звезды.

Движемся к следующей засаде. Я нашёл несколько сайтов, где уверенно пишут, что для измерения параллакса достаточно двух измерений, в противоположных по времени временам года. Так вот нет, господа! А если звезда движется относительно нашего Солнца? Так наверняка звёзды движутся, и с заранее непредсказуемой скоростью. По современным данным, скорость некоторых звёзд побыстрее на порядок, чем скорость перемещения Земли на противоположную сторону своей орбиты. Вот для примера, пусть звезда перемещается с равной с Землей скоростью, ровно в ту же сторону. Мы зафиксируем положение z2 в начале (в точке В), z1 через полгода (в точке С), и очевидно, на фоне далёких звёзд они совпадут! Да и вообще, даже если не совпадут, как узнать собственную угловую скорость звезды? Предложим, для очевидной картины, измерить положение звезды А ещё через полгода, снова в точке В, зафиксируем некую точку z4. Поскольку это с интервалом в один год, вот Вам и угловая скорость (от точки z2 до z4), и направление движения звезды относительно Солнца. Поправляете дуговой угол z2z1 на эти величины и получаете правильный параллакс звезды А!

Чтобы не быть голословным, на рисунке 7 след некоторой звезды, полученной современным космическим телескопом Gaia (о нём поподробнее попозже) при частой съёмке за три года. Не похоже на эллипс! Но восстановить его можно, не буду занудно рассказывать, читатель сам может придумать.

Если зайдёте на страницу

[www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Keywords/Description/Parallax/\(result\\_type\)videos](http://www.esa.int/ESA_Multimedia/Keywords/Description/Parallax/(result_type)videos)

то найдёте там видео этой съёмки. Завораживающее зрелище! Там не только измеряемая звезда движется, ещё несколько светил шныряют туда-сюда.

Так что астрономы никак не могут ограничиться двумя фиксациями положения звезды. Да и трёх на практике мало, особенно в докосмические-докомпьютерные времена. Хотя механика телескопов совершенствовалась, имелись помехи, влияющие на точность измерений. Тряхнуло где-то землетрясение, закашлял астроном (шутка!), а главное – атмосфера! Она нестабильна, и её помехи убрать практически невозможно. Поэтому траекторию звезды измеряли много раз, затем получали лучшее приближение к истинной с использованием методов статистики. Работа была кропотливой, долгой и трудоёмкой.

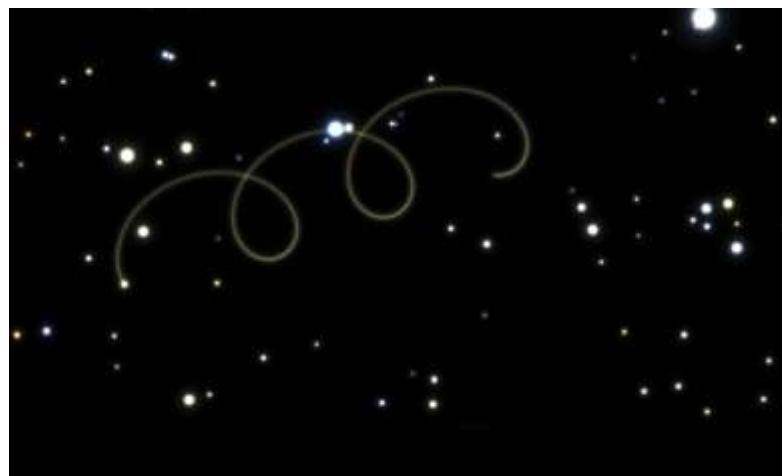


Рисунок 7

Ещё раз выразим расстояние до звёзд через параллаксы. Вспомним формулу  $x = r/p$ , то есть расстояние обратно пропорционально параллаксу. Поскольку есть один парсек есть расстояние при параллаксе в одну секунду, то если параллакс равен  $p$  (пусть  $p$  тоже в секундах), то расстояние до звезды будет

$x = 1''/p$  парсеков. По формуле  $d = x * 3.2616$  получим значение в привычных для нас световых годах.

Во времена до применения фотографий, к концу 19 века точность определений параллаксов была не выше  $0.1''$ , то есть определялись звезды до 10 парсеков, или примерно до 32 световых лет. Посчитано было параллаксов не более сотни.

В начале 20 века астроном Шлезингер разработал методику использования фотографий, точность измерений была доведена до  $0.01''$ , соответственно можно было измерять расстояния до 326 световых лет. К 1924 году в каталоге Шлезингера было уже 1870 надёжно вычисленных параллаксов. Они уже образовывали интересную пространственную картину в ближайшей окрестности Солнца.

Вообще астрономы до конца 20 века у меня вызывают большое сочувствие и восхищение. Всю жизнь ночные смены! Практически не видели ни жены, ни детей. Какие-то из обсерваторий сооружали повыше в горах, на 2000 м с гаком. Терскольский филиал ИНАСАН аж на высоте 3127 метров! Зябко, никаких пляжей поблизости. Но к концу 20 века телескопы стали компьютеризовать. Телескоп настраивается автоматически по программам исследований, снимки производятся на ПЗС-матрицы (то есть в пиксели), запоминаются в растром виде в базах данных, с развитием интернет вообще стали доступны дистанционно. Обработка производится умными компьютерными программами, чем дальше, тем более автоматизировано. У астрономов наступила совсем другая жизнь, ночью спят, жильё заводят хоть в Сочи. Большая часть работы уже не вычисления столбиком на бумаге (а во времена Бесселя гусиным пером!). Производительность, естественно, возросла немеряно.

Вскоре телескопы стали запускать в космос, на орбиту. В 1989 году был запущен космический телескоп Hipparcos, специально для измерений параллаксов. Отсутствие атмосферы повысило разрешение съёмки. Несмотря на не совсем удачное выведение, он позволил измерять параллаксы звёзд с точностью до  $0.001''$ , это до 1000 парсек, более 3200 световых лет. За 37 месяцев работы измерил с хорошей точностью расстояние до 100 тысяч звезд. Жаль, что из-за неправильной орбиты упал на Землю преждевременно.

В одном из дополнений статьи «Астрофизика» я описал космический телескоп «Хаббл», который запустили на орбиту в 1990 году, но заработал с проектными характеристиками в 1993 году. Его тоже стали использовать для измерения параллаксов. Большое зеркало позволило определять параллаксы с точностью до 40 миллионных долей секунды, это до 5000 парсек = 11300 световых лет. На рисунке 8 (Википедия!) показано увеличение области доступных для измерения параллакса звёзд по сравнению наземными средствами на фоне нашей галактики.

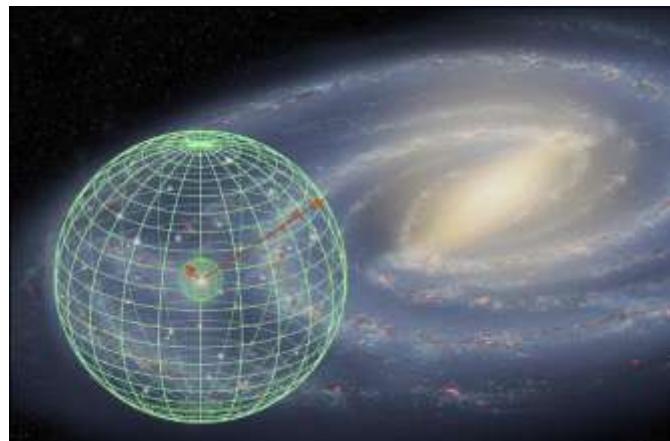


Рисунок 8

Только вот не принимайте этот рисунок буквально, думая, что тут в одном масштабе отображены галактика и зоны доступных измерений. Напомню, что диаметр Млечного пути около 100000 световых лет, поэтому соотношение размеров выглядит, как на рисунке 9, зона измерений телескопом «Хаббл» показана красной окружностью. Кстати, Солнце на рисунке 8 не там.

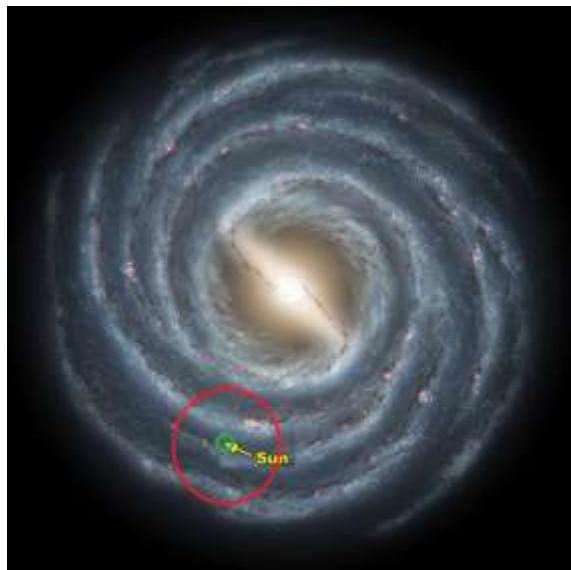


Рисунок 9

Зелёной окружностью на рисунке 9 показана зона, в которой наш невооружённый глаз может различить отдельные звёзды, причём самые ярко светящие. Вообще мы можем различить 2-3 тысячи звёзд, это меньше одной миллионной доли из 100-400 миллиардов звёзд Нашей галактики. Остальное – туманность млечный путь!

Но мы немного отвлеклись. В конце 2013 года Европейским агентством ESA в космос был выведен телескоп Gaia, основной задачей которого были измерения параллаксов звёзд по всей Нашей галактике. Название Gaia, по нашему Гея, как бы в честь греческой богини Земли. На самом деле, конечно, аббревиатура от «Global Astrometric Interferometer for Astrophysics». Расположился он довольно далеко от Земли, в точке Лагранжа L<sub>2</sub>. Кстати, в этой точке вообще любят располагать космические аппараты длительного наблюдения. Телескоп Gaia был выведен безупречно, и не подкачал. Проработал больше расчётных пяти лет, всего 11 лет, собрал информацию о миллиарде звёзд, причём о каждой около 150 измерений. Параллаксы будут посчитаны в конечном счёте (обработка ещё продолжается) для сотен миллионов звёзд. Разрешение Gaia составляла 25 миллионных долей секунды, это всё равно, что увидеть разрез волоса на расстоянии 1000 км. Gaia смогла измерить расстояние до некоторых звёзд на другом краю Млечного пути.

Gaia измеряла не только параллакс, но и яркостные и спектральные характеристики. Многократность наблюдений одной и той же звезды позволяет также измерить направление и скорость движения. Информация, собранная Gaia, позволяет создать динамичную трехмерную карту звёзд Нашей галактики. Результат совершенно фантастический, который трудно переоценить. Собранные данные позволили сделать множество научных открытий. Например, открыты звезды, прибывшие в Млечный путь из других галактик.

Какие бы чудо-телескопы не использовали, метод параллакса натыкается на ограничение, связанное с измерением всё меньших значений углов. И, как когда-то мешала атмосфера, начинает чувствоватьться межзвёздная пыль. По сути, методом параллакса ограничивается измерение расстояний до звёзд Нашей галактики. Но эти измерения являются базой, отправной платформой для определения расстояний до других объектов Вселенной: галактик, дальних сверхновых, квазаров. Об этом я написал в основной части статьи «Астрофизика», вновь пройдёмся об этом здесь.

Среди звёзд Млечного пути методом параллакса были измерены расстояния до цефеид. В начале 20 века до небольшого, а в наше время, Gaia, конечно, обнаружил гораздо больше, несколько сотен. Это позволило составить закон зависимости периода цефеид и их светимости и постоянно его уточнять, что даёт возможность рассчитывать расстояние до цефеид по их переменному блеску и наблюдаемой светимости, зная, что их светимость для наблюдателя обратно пропорциональна квадрату расстояния. При этом используется калибровка метода на основании достаточно точных измеренных расстояний методом параллакса до цефеид – вначале вблизи Солнца, в настоящее время, после работы телескопа Gaia, в целом по Нашей галактике. Поскольку цефеиды обнаруживаются и в других галактиках, то можно определять расстояние до этих галактик, где метод параллакса уже малопродуктивен или бессилен. Но цефеиды, хотя и очень яркие звёзды, в тысячи раз ярче Солнца, – это всё-таки обычные одинокие звёзды, то обнаруживать и определять их даже современными телескопами возможно до определённого расстояния, примерно до 60 миллионов световых лет. По меркам расстояния видимой Вселенной в 13.8 миллиарда световых лет, это всё же соседние галактики с Млечным путём. Как же определяют расстояния в миллиарды световых лет?

Основной способ нам предложил в 1929 году Эдвин Хаббл. Проанализировав расстояния до цефеид в соседних галактиках и спектры свечения этих галактик, он обнаружил простую зависимость величин Красного смещения и расстояний до галактик. Поскольку отсюда он ещё и вывел, что Вселенная не стационарна, а метрически (в смысле общей теории относительности) расширяется, вычислил коэффициент скорости этого расширения  $H_0$  (называется сейчас постоянной Хаббла), предложил простой закон для взаимозависимости скорости  $v$  этого расширения в точке галактики относительно Солнца (по простому, скорость убегания галактики от Солнца, но это не совсем корректное выражение) и расстояния  $d$  до галактики:

$$v = H_0 * d,$$

Отсюда расстояние  $d = v/H_0$ , а  $v$  определяется по красному смещению.

Свой коэффициент Хаббл вычислил с ошибкой в разы, не очень точно тогда определяли расстояние до цефеид. Всё более точные измерения характеристик цефеид на протяжении 20 века, уточняли и значение  $H_0$ . Ну уж в наши дни, конечно, телескоп Gaia позволил калибровать метод до беспрецедентной точности.

Но без засад в астрофизике не бывает. В конце 20 века выяснилось, что постоянная Хаббла, как скорость расширения Вселенной, на протяжении миллиардов лет не такая уж и постоянная. И помогли этому знанию сверхновые типа Ia. Как мы знаем, сверхновые – очень яркие объекты, некоторые светят как целая галактика, в современные телескопы их видно на миллиарды световых лет, и к таким относятся Ia. У них практически одинаковая светимость, что позволяет их использовать как «стандартные свечи» Вселенной, вычисляя до них расстояние по тому же правилу, что их видимая светимость обратно пропорциональна квадрату расстояния до них. Но поскольку до них расстояние можно вычислять и по красному смещению, вдруг выясняется, что Вселенная сначала расширялась с замедлением, а через 7.6 миллиарда лет после рождения Вселенной стала расширяться ускоренно! То есть постоянная Хаббла менялась в течение жизни Вселенной.

Таким образом, прогресс науки и технологий постоянно совершенствовал методы измерений до окрестностей Солнца и до предельно видимых нынешними космическими телескопами объектов, начиная со старого доброго параллакса и вплоть до современных средств. В нашем популярном изложении мы коснулись основных способов, конечно, упрощённо. Другие прямые и косвенные методы иногда подтверждают изложенные здесь методы, или всё же обнаруживаются расхождения. Так, при всех уточнениях современное значение постоянная Хаббла имеет три варианта значения:  $74 \pm 1.42$  километра в секунду на каждый мегапарсек, пишется  $(\text{км}/\text{сек})/\text{Мпк}$ ,  $67.4 \pm 0.5$   $(\text{км}/\text{сек})/\text{Мпк}$  и  $68.4 \pm 0.8$   $(\text{км}/\text{сек})/\text{Мпк}$ . Астрофизики чешут затылки, измысливая новые гипотезы и теории.

Вот на этом закончим о способах измерения расстояний в пределах Млечного пути и всей видимой Вселенной. Эти методы позволяют построить объёмные картины как Млечного пути, так и Вселенной, например, выявляя организацию скоплений и сверхскоплений галактик, загадочных пустых пространств. Методы измерений имеют значение не только для фундаментальной науки, но и для животрепещущего практического. В частности, я говорю о вычислении траекторий комет, астероидов и крупных метеоритов, угрожающих Земле. Как показали Тунгусский метеорит и Челябинский метеорит, их ощутимое проявление не такое уж редкое явление. Хотелось бы о столкновении с нашей планетой узнать как можно раньше, чтобы что-нибудь предпринять!

Автор: Алсынбаев Камиль Салихович, Калининград, ноябрь 2025 г.

[kamil.alsynbaev@mail.ru](mailto:kamil.alsynbaev@mail.ru)