



ДМИТРИЙ ВИБЕ, доктор физико-математических наук

Лестница в бесконечность



Астрометрический спутник «Гиппарх» за 4 года работы определил расстояния до 118 тысяч звезд

Как определить расстояние до звезд? Откуда известно, что до альфа Центавра — около 4 световых лет? Ведь по яркости звезды, как таковой, мало что определишь — блеск у тусклой близкой и яркой далекой звезд может быть одинаковым. И все же есть много достаточно надежных способов определить расстояния от Земли до самых дальних уголков Вселенной.

Что бы ни говорили физики о трехмерности, шестимерности или даже одиннадцатимерности пространства, для астронома наблюдаемая Вселенная всегда двумерна. Происходящее в Космосе видится нам в проекции на небесную сферу, подобно тому, как в кино на плоский экран проецируется вся сложность жизни. На экране мы легко отличаем далекое от близкого благодаря знакомству с объемным оригиналом, но в двумерной россыпи звезд нет наглядной подсказки, позволяющей обратить ее в трехмерную карту, пригодную для прокладки курса межзвездного корабля. Между тем расстояния — это ключ едва ли не к половине всей астрофизики. Как без них отличить близкую тусклую звезду от далекого, но яркого квазара? Только зная расстояние до объекта, можно оценить его энергетику, а отсюда прямая дорога к пониманию его физической природы.

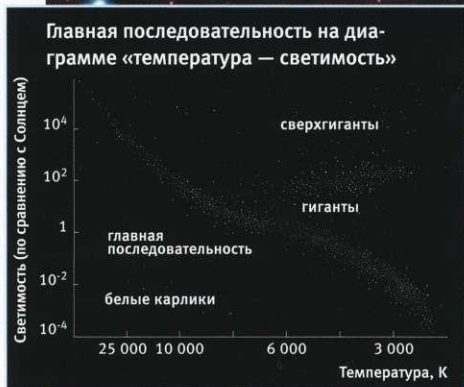
Недавний пример неопределенности космических расстояний — проблема источников гамма-всплесков, коротких импульсов жесткого излучения, примерно раз в сутки приходящих на Землю с различных направлений. Первоначальные оценки их удаленности варьировались от сотен астрономических единиц (десятки световых часов) до сотен миллионов световых лет. Соответственно, и разброс в моделях также впечатлял — от аннигиляции комет из антивещества на окраинах Солнечной системы до сотрясающих всю Вселенную взрывов нейтронных звезд и рождения белых дыр. К середине 1990-х было предложено более сотни разных объяснений природы гамма-всплесков. Теперь же, когда мы смогли оценить расстояния до их источников, моделей осталось только две.

Но как измерить расстояние, если до предмета не дотянуться ни линейкой, ни лучом локатора? На помощь приходит метод триангуляции, широко применяемый в обычной земной геодезии. Выбираем отрезок известной длины — базу, измеряем из его концов углы, под которыми видна недоступная по тем или иным причинам точка, а затем простые тригонометрические формулы дают искомое расстояние. Когда мы переходим с одного конца базы на другой, видимое направление на точку меняется, она сдвигается на фоне далеких объектов. Это называется параллактическим смещением, или параллаксом. Величина его тем меньше, чем дальше объект, и тем больше, чем длиннее база.

Для измерения расстояний до звезд приходится брать максимально доступную астрономам базу, равную диаметру земной орбиты. Соответствующее параллактическое смещение звезд на небе (строго говоря,▶

SPL/EAST NEWS (62)

Расстояние до звездных скоплений определяют методом подгонки главной последовательности



Измерение параллакс — единственный метод прямого определения расстояний до отдельных звезд

его половину) стали называть годичным параллаксом. Измерить его пытался еще Тихо Браге, которому пришлось не по душе идея Коперника о вращении Земли вокруг Солнца, и он решил ее проверить — параллаксы ведь еще и доказывают орбитальное движение Земли. Проведенные измерения имели впечатляющую для XVI века точность — около одной минуты дуги, но для измерения параллакс этого было совершенно недостаточно, о чем сам Браге не догадывался и заключил, что система Коперника неверна.

Следующее наступление на параллаксы предпринял в 1726 году англичанин Джеймс Брэдли, будущий директор Гринвичской обсерватории. Пона-

чалу казалось, что ему улыбнулась удача: выбранная для наблюдений звезда гамма Дракона действительно в течение года колебалась вокруг своего среднего положения с размахом 20 секунд дуги. Однако направление этого смещения отличалось от ожидаемого для параллакс, и Брэдли вскоре нашел правильное объяснение: скорость движения Земли по орбите складывается со скоростью света, идущего от звезды, и меняет его видимое направление. Точно так же капли дождя оставляют наклонные дорожки на стеклах автобуса. Это явление, получившее название годичной аберрации, стало первым прямым доказательством движения Земли во-

круг Солнца, но не имело никакого отношения к параллаксам.

Лишь спустя столетие точность угломерных инструментов достигла необходимого уровня. В конце 30-х годов XIX века, по выражению Джона Гершеля, «стена, мешавшая проникновению в звездную Вселенную, была пробита почти одновременно в трех местах». В 1837 году Василий Яковлевич Струве (в то время директор Дерптской обсерватории, а позднее — Пулковской) опубликовал измеренный им параллаксы Веги — 0,12 угловой секунды. На следующий год Фридрих Вильгельм Бессель сообщил, что параллаксы звезды 61-й Лебедя составляет 0,3". А еще через год шотландский астроном Томас Гендерсон, работавший в Южном полушарии на мысе Доброй Надежды, измерил параллаксы в системе альфа Центавра — 1,16". Правда, позднее выяснилось, что это значение завышено в 1,5 раза и на

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ РЕКОРДЫ

В последние годы все чаще публикуются результаты измерения расстояний до очень компактных источников радиоизлучения — мазеров. Их излучение приходится на радиодиапазон, что позволяет наблюдать их на радиоинтерферометрах, способных измерять координаты объектов с микросекундной точностью, недоступной в оптическом диапазоне, в котором наблюдаются звезды. Благодаря мазерам тригонометрические методы удается применять не только к далеким объектам нашей Галактики, но и к другим галактикам. Так, например, в 2005 году Андреас Брунталер (Andreas Brunthaler, Германия) и его коллеги определили расстояние до галактики M33 (730 клк), сопоставив угловое смещение

мазеров со скоростью вращения этой звездной системы. А годом позже Йе Зу (Ye Xu, КНР) с коллегами применили классический метод параллакс к «местным» мазерным источникам, чтобы измерить расстояние (2 клк) до одного из спиральных рукавов нашей Галактики.

Пожалуй, дальше всех удалось продвинуться в 1999 году Дж. Хернстину (США) с коллегами. Отслеживая движение мазеров в аккреционном диске вокруг черной дыры в ядре активной галактики NGC 4258, астрономы определили, что эта система удалена от нас на расстояние 7,2 Мпк. На сегодняшний день это абсолютный рекорд геометрических методов.

всем небе нет ни одной звезды с параллаксом больше 1 секунды дуги.

Для расстояний, измеренных параллактическим методом, была введена специальная единица длины — парсек (от *параллактическая секунда*, пк). В одном парсеке содержится 206 265 астрономических единиц, или 3,26 светового года. Именно с такой дистанции радиус земной орбиты (1 астрономическая единица = 149,5 миллиона километров) виден под углом в 1 секунду. Чтобы определить расстояние до звезды в парсеках, нужно разделить единицу на ее параллакс в секундах. Например, до самой близкой к нам звездной системы альфа Центавра $1/0,76 = 1,3$ парсека, или 270 тысяч астрономических единиц. Тысяча парсек называется килопарсеком (кпк), миллион парсек — мегапарсеком (Мпк), миллиард — гигапарсеком (Гпк).

Измерение чрезвычайно малых углов требовало технической изощренности и огромного усердия (Бессель, например, обработал более 400 отдельных наблюдений 61-й Лебеда), однако после первого прорыва дело пошло легче. К 1890 году были измерены параллаксы уже трех десятков звезд, а когда в астрономии стала широко применяться фотография, точное измерение параллаксов и вовсе было поставлено на поток.

Измерение параллаксов — единственный метод прямого определения расстояний до отдельных звезд. Но при наземных наблюдениях атмосферные помехи не позволяют параллактическим методом измерять расстояния свыше 100 пк. Для Вселенной это не очень большая величина. («Здесь недалеко, парсеков сто», — как говорил Громозeka.) Там, где падают геометрические методы, на выручку приходят фотометрические.

СТАНДАРТНЫЕ СВЕЧИ АСТРОНОМОВ

Чем дальше от нас находится источник излучения, тем он тусклее. Если узнать истинную светимость объекта, то, сравнив ее с видимым блеском, можно найти расстояние. Вероятно, первым применил эту идею к измерению расстояний до звезд Гюйгенс. Ночью он наблюдал Сириус, а днем сравнивал его блеск с крохотным отверстием в экране, закрывавшем Солнце. Подобрал размер отверстия так, чтобы обе яркости совпадали, и сравнив угловые величины отверстия и солнечного диска, Гюйгенс заключил, что Сириус находится от нас в 27 664 раза дальше, чем Солнце. Это в 20 раз меньше реального расстояния. Отчасти ошибка объяснялась тем, что Сириус на самом деле намного ярче Солнца, а отчасти — трудностью сравнения блеска по памяти.

Прорыв в области фотометрических методов случился с приходом в астрономию фотографии. В начале XX века Обсерватория Гарвардского колледжа вела масштабную работу по определению блеска звезд по фотопластинкам. Особое внимание уделялось переменным звездам, блеск которых испытывает колебания. Изучая переменные звезды особого класса — цефеиды — в Малом Магеллановом Облаке, Генриетта Левитт заметила, что чем они ярче, тем больше период колебания их блеска: звезды с периодом в несколько десятков дней оказались примерно в 40 раз ярче звезд с периодом порядка суток.

Поскольку все цефеиды Левитт находились в одной и той же звездной системе — Малом Магеллановом Облаке, — можно было считать, что они удалены от нас на одно и то же (пусть и неизвестное) расстояние. Значит, разница в их видимом блеске связана с реальными различиями в светимости. Оставалось определить геометрическим методом расстояние до одной цефеиды, чтобы прокалибровать всю зависимость и получить возможность, измерив период, определять истинную светимость любой цефеиды, а по ней расстояние до звезды и содержащей ее звездной системы.

Но, к сожалению, в окрестностях Земли нет цефеид. Ближайшая из них — Полярная звезда — удалена от Солнца, как мы теперь уже знаем, на 130 пк, то есть находится вне пределов досягаемости для наземных параллактических измерений. Это не позволяло перекинуть мостик напрямую от параллаксов к цефеидам, и астрономам пришлось возводить конструкцию, которую теперь образно называют лестницей расстояний.

Промежуточной ступенью на ней стали рассеянные звездные скопления, включающие от нескольких десятков до сотен звезд, связанных общим временем и местом рождения. Если нанести на график температуру и светимость всех звезд скопления, большая часть точек ляжет на одну наклонную линию (точнее, полосу), которая называется главной последовательностью. Температуру с высокой точностью определяют по спектру звезды, а светимость — по видимому блеску и расстоянию. Если расстояние неизвестно, на помощь опять приходит тот факт, что все звезды скопления удалены от нас практически одинаково, так что в пределах скопления видимый блеск все равно можно использовать в качестве меры светимости.

Поскольку звезды в скоплениях одинаковые, главные последовательности у всех скоплений должны совпадать. Различия связаны лишь с тем, что они находятся на разных расстоя-

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ РАССТОЯНИЙ

Закон Хаббла

Красные смещения галактик
10 Мпк — 4 Гпк



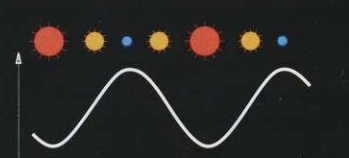
Сверхновые типа Ia
1 Мпк — 2 Гпк



Соотношение Талли — Фишера
10 Мпк — 1 Гпк



Цефеиды
200 кпк — 20 Мпк



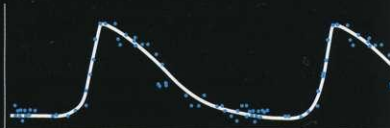
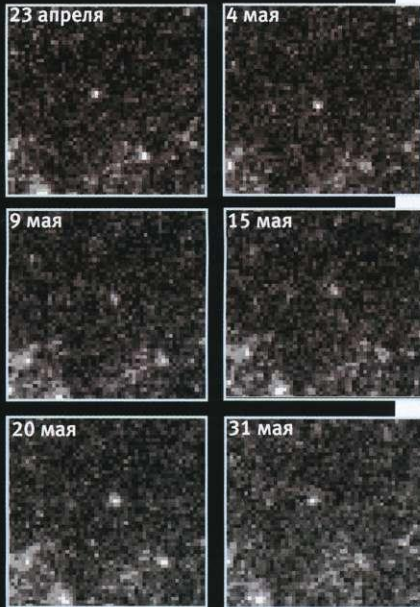
Групповые параллаксы
50 пк — 1 кпк



Годичные параллаксы
1 пк — 100 пк (с Земли)
до 1 кпк (с орбиты)
до 10 Мпк (радиоинтерферометры)



Суточные параллаксы
300 тыс. км — 5 а.е.



Изменение блеска цефеиды в галактике M100. По периоду колебаний блеска оценивается ее светимость. А по светимости и видимому блеску — расстояние до галактики

яниях. Если определить геометрическим методом расстояние до одного из скоплений, то мы узнаем, как выглядит «настоящая» главная последовательность, и тогда, сравнив с ней данные по другим скоплениям, мы определим расстояния до них. Этот метод называется «подгонкой главной последовательности». Эталон для него долгое время служили Плеяды и Гиады, расстояния до которых были определены методом групповых параллаксов.

К счастью для астрофизики, примерно в двух десятках рассеянных скоплений обнаружены цефеиды. Поэтому, измерив расстояния до этих скоплений с помощью подгонки главной последовательности, можно «дотянуть лестницу» и до цефеид, которые оказываются на ее третьей ступени.

В роли индикатора расстояний цефеиды очень удобны: их относительно много — они найдутся в любой галактике и даже в любом шаровом скоплении, а будучи звездами-гигантами, они достаточно ярки, чтобы измерять по ним межгалактические дистанции. Благодаря этому они заслужили много громких эпитетов, вроде «маяков Вселенной» или «верстовых столбов астрофизики». Цефеидная «линейка» протягивается до 20 Мпк — это примерно в сто раз больше размеров нашей Галактики. Дальше их уже не различить даже в мощнейшие современные инструменты, и, чтобы подняться на четвертую ступень лестницы расстояний, нужно что-то поярче.

К ОКРАИНАМ ВСЕЛЕННОЙ

Один из наиболее мощных внегалактических методов измерения расстояний основан на закономерности, известной как соотношение Талли — Фишера: чем ярче спиральная галактика, тем быстрее она вращается. Когда галактика видна с ребра или под значительным наклоном, половина ее вещества из-за вращения приближается к нам, а половина — удаляется, что приводит к расширению спектральных линий вследствие эффекта Доплера. По этому расширению определяют скорость вращения, по ней — светимость, а затем из сравнения с видимой яркостью — расстояние до галактики. И, конечно, для калибровки этого метода нужны галактики, расстояния до которых уже измерены по цефеидам. Метод Талли — Фишера весьма дальнбойный и охватывает галактики, удаленные от нас на сотни мегапарсек, но и у него есть предел, поскольку для слишком далеких и слабых галактик не получить достаточно качественных спектров.

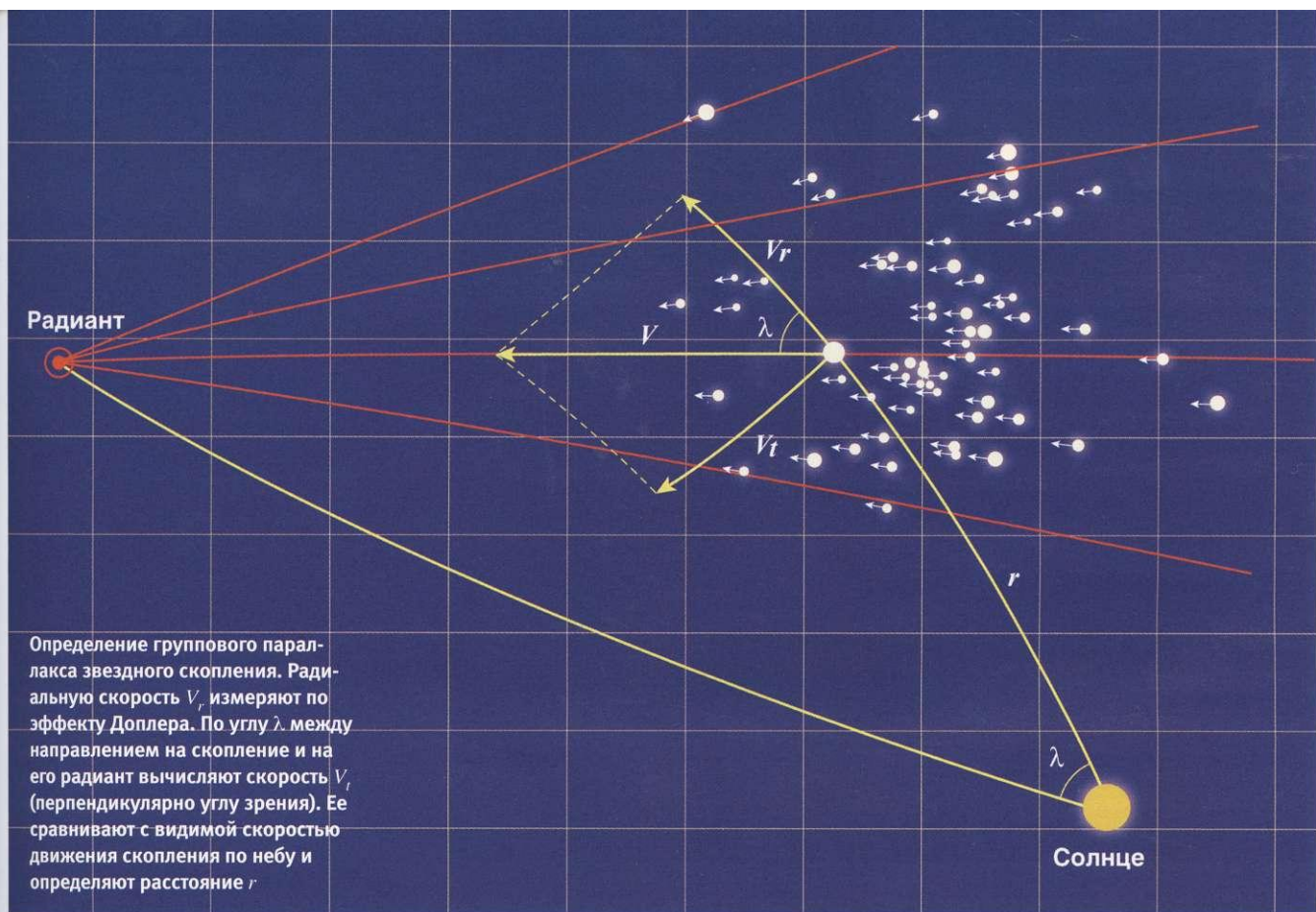
В несколько большем диапазоне расстояний действует еще одна «стан-

дартная свеча» — сверхновые типа Ia. Вспышки таких сверхновых представляют собой «однотипные» термоядерные взрывы белых карликов с массой чуть выше критической (1,4 массы Солнца). Поэтому у них нет причин сильно варьироваться по мощности. Наблюдения таких сверхновых в близких галактиках, расстояния до которых удастся определить по цефеидам, как будто бы подтверждают это постоянство, и потому космические термоядерные взрывы широко применяются сейчас для определения расстояний. Они видны даже в миллиардах парсек от нас, но зато никогда не знаешь, расстояние до какой галактики удастся измерить, ведь заранее неизвестно, где именно вспыхнет очередная сверхновая.

Продвинуться еще дальше позволяет пока лишь один метод — красные смещения. Его история, как и история цефеид, начинается одновременно с XX веком. В 1915 году американец Весто Слайфер, изучая спектры галактик, заметил, что в большинстве из них линии смещены в красную сторону относительно «лабораторного» положения. В 1924 году немец Карл Виртц обратил внимание, что это смещение тем сильнее, чем меньше угловые размеры галактики. Однако свести эти данные в единую картину удалось только Эдвину Хабблу в 1929 году. Согласно эффекту Доплера красное смещение линий в спектре означает, что объект удаляется от нас. Сопоставив спектры галактик с расстояниями до них, определенными по цефеидам, Хаббл сформулировал закон: скорость удаления галактики пропорциональна расстоянию до нее. Коэффициент пропорциональности в этом соотношении получил название постоянной Хаббла.

Тем самым было открыто расширение Вселенной, а вместе с ним возможность определения расстояний до галактик по их спектрам, конечно, при условии, что постоянная Хаббла привязана к каким-то другим «линейкам». Сам Хаббл выполнил эту привязку с ошибкой почти на порядок, которую удалось исправить только в середине 1940-х годов, когда выяснилось, что цефеиды делятся на несколько типов с разными соотношениями «период — светимость». Калибровку выполнили заново с опорой на «классические» цефеиды, и только тогда значение постоянной Хаббла стало близким к современным оценкам: 50—100 км/с на каждый мегапарсек расстояния до галактики.

Сейчас по красным смещениям определяют расстояния до галактик, удаленных от нас на тысячи мегапарсек. Правда, в мегапарсеках эти расстояния указывают только в популярных статьях. Дело в том, что они зави-



Определение группового параллакса звездного скопления. Радиальную скорость V_r измеряют по эффекту Доплера. По углу λ между направлением на скопление и на его радиант вычисляют скорость V_t (перпендикулярно углу зрения). Ее сравнивают с видимой скоростью движения скопления по небу и определяют расстояние r .

сят от принятой в расчетах модели эволюции Вселенной, и к тому же в расширяющемся пространстве не вполне ясно, какое расстояние имеется в виду: то, на котором была галактика в момент испускания излучения, либо то, на котором она находится в момент его приема на Земле, или же расстояние, пройденное светом, на пути от исходной точки до конечной. Поэтому астрономы предпочитают указывать для далеких объектов только непосредственно наблюдаемую величину красного смещения, не переводя ее в мегапарсеки.

Красные смещения — это единственный на сегодня метод оценки «космологических» расстояний, сопоставимых с «размером Вселенной», и вместе с тем это, пожалуй, самая массовая техника. В июле 2007 года опубликован каталог красных смещений 77 418 767 галактик. Правда, при его создании использовалась несколько упрощенная автоматическая методика анализа спектров, и поэтому в некоторые значения могли вкрасться ошибки.

Гиганты-цефеиды очень удобны как индикаторы расстояния — они яркие и присутствуют в любой галактике

ВНИЗ ПО ЛЕСТНИЦЕ, ВЕДУЩЕЙ ВВЕРХ

Выстраивая нашу лестницу к окраинам Вселенной, мы умалчивали о фундаменте, на котором она покоится. Между тем метод параллакса дает расстояние не в эталонных метрах, а в астрономических единицах, то есть в радиусах земной орбиты, величину которой тоже удалось определить далеко не сразу. Так что оглянемся назад и спустимся по лестнице космических расстояний на Землю.

Вероятно, первым удаленность Солнца попытался определить Аристарх Самосский, предложивший гелиоцентрическую систему мира за полторы тысячи лет до Коперника. У него получилось, что Солнце находится в 20 раз дальше от нас, чем Луна. Эта оценка, как мы теперь знаем, за-

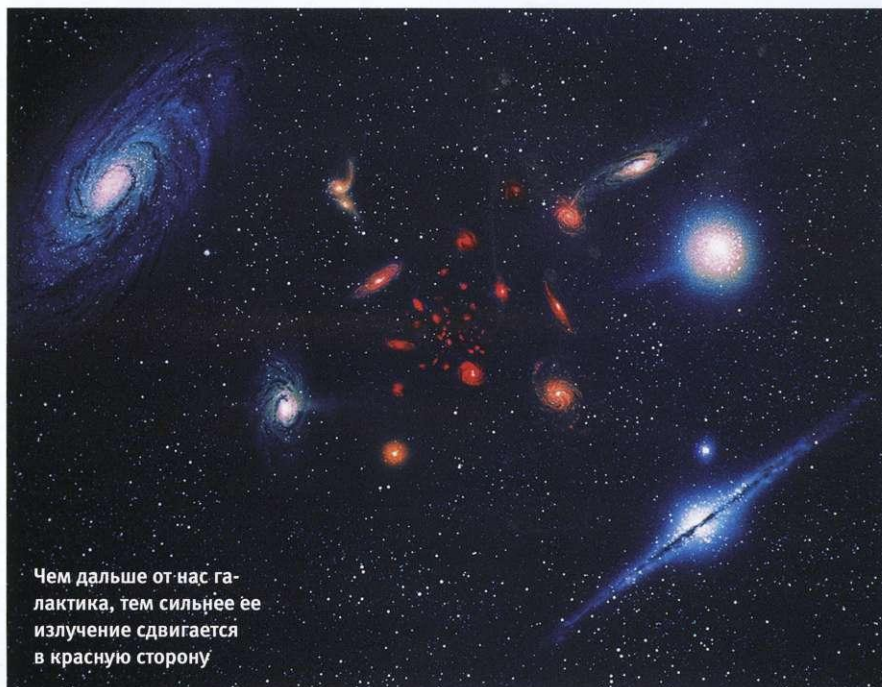
ниженная в 20 раз, продержалась вплоть до эпохи Кеплера. Тот хотя сам и не измерил астрономическую единицу, но уже отметил, что Солнце должно быть гораздо дальше, чем считал Аристарх (а за ним и все остальные астрономы).

Первую более или менее приемлемую оценку расстояния от Земли до Солнца получили Жан Доминик Кассини и Жан Рише. В 1672 году, во время противостояния Марса, они измерили его положение на фоне звезд одновременно из Парижа (Кассини) и Кайенны (Рише). Расстояние от Франции до Французской Гвианы послужило базой параллактического треугольника, из которого они определили расстояние до Марса, а затем по уравнениям небесной механики вычислили астрономическую еди-

ИГРА В КОМАНДЕ

Геометрические методы измерения расстояний не исчерпываются годичным параллаксом, в котором видимые угловые смещения звезд сравниваются с перемещениями Земли по орбите. Еще один подход опирается на движение Солнца и звезд друг относительно друга. Представим себе звездное скопление, пролетающее мимо Солнца. По законам перспективы видимые траектории его звезд, как рельсы на горизонте, сходятся в одну точку — радиант. Его положение говорит о том, под каким углом к лучу зрения летит скопление. Зная этот угол, можно разложить движение звезд скопления на две компоненты — вдоль луча зрения и перпендикулярно

ему по небесной сфере — и определить пропорцию между ними. Лучевую скорость звезд в километрах в секунду измеряют по эффекту Доплера и с учетом найденной пропорции вычисляют проекцию скорости на небосвод — тоже в километрах в секунду. Остается сравнить эти линейные скорости звезд с угловыми, определенными по результатам многолетних наблюдений, — и расстояние будет известно! Этот способ работает до нескольких сотен парсек, но применим только к звездным скоплениям и потому называется методом групповых параллакса. Именно так были впервые измерены расстояния до Гиад и Плеяд.



Чем дальше от нас галактика, тем сильнее ее излучение сдвигается в красную сторону

Европейский спутник «Гайа» будет измерять килопарсековые расстояния с погрешностью менее 20 процентов

ницу, получив значение 140 миллионов километров.

На протяжении следующих двух веков главным инструментом для определения масштабов Солнечной системы стали прохождения Венеры по диску Солнца. Наблюдая их одновременно из разных точек земного шара, можно вычислить расстояние от Земли до Венеры, а отсюда и все остальные расстояния в Солнечной системе. В XVIII—XIX веках это явление наблюдалось четырежды: в 1761, 1769, 1874 и 1882 годах. Эти наблюдения стали одними из первых международных научных проектов. Снаряжались масштабные экспедиции (английской экспедицией 1769 года руководил знаменитый Джеймс Кук), создавались специальные наблюдательные станции... И если в конце XVIII века Россия лишь предоставила французским ученым возможность наблюдать прохождение со своей территории (из Тобольска), то в 1874 и 1882 годах российские ученые уже принимали активное участие в исследованиях. К сожалению, исключительная сложность наблюдений привела к значительному разнобою в оценках астрономической единицы — примерно от 147 до 153 миллионов километров. Более надежное значение — 149,5 миллиона километров — было получено только на рубеже XIX—XX веков по наблюдениям астероидов. И, наконец, нужно учитывать, что результаты

всех этих измерений опирались на знание длины базы, в роли которой при измерении астрономической единицы выступал радиус Земли. Так что в конечном итоге фундамент лестницы космических расстояний был заложен геодезистами.

Только во второй половине XX века в распоряжении ученых появились принципиально новые способы определения космических расстояний — лазерная и радиолокация. Они позволили в сотни тысяч раз повысить точность измерений в Солнечной системе. Погрешность радиолокации для Марса и Венеры составляет несколько метров, а расстояние до угловых отражателей, установленных на Луне, измеряется с точностью до сантиметров. Принятое же на сегодня значение астрономической единицы составляет 149 597 870 691 метр.

ТРУДНАЯ СУДЬБА «ГИППАРХА»

Столь радикальный прогресс в измерении астрономической единицы по-новому поставил вопрос о расстояниях до звезд. Точность определения параллаксов ограничивает атмосферу Земли. Поэтому еще в 1960-х годах возникла идея вывести угломерный инструмент в космос. Реализовалась она в 1989 году с запуском европейского астрометрического спутника «Гиппарх». Это название — устойчивый, хотя формально и не совсем правильный перевод англий-

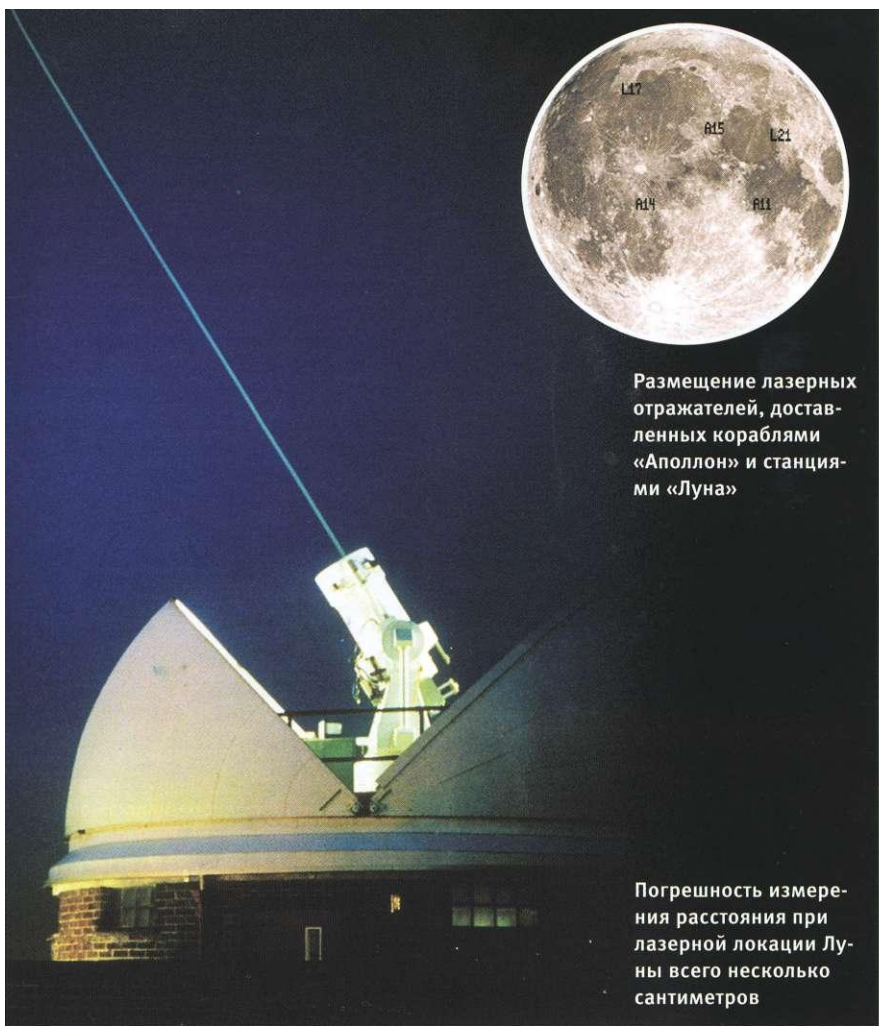
ского названия HIPPARCOS, которое является сокращением от High Precision Parallax Collecting Satellite («спутник для сбора высокоточных параллаксов») и не совпадает с англоязычным же написанием имени знаменитого древнегреческого астронома — Hipparchus, автора первого звездного каталога.

Создатели спутника поставили перед собой очень амбициозную задачу: измерить параллаксы более 100 тысяч звезд с миллисекундной точностью, то есть «дотянуться» до звезд, находящихся в сотнях парсек от Земли. Предстояло уточнить расстояния до нескольких рассеянных звездных скоплений, в частности Гиад и Плеяд. Но главное, появлялась возможность «перепрыгнуть через ступеньку», непосредственно измерив расстояния до самих цефеид.

Экспедиция началась с неприятностей. Из-за сбоя в разгонном блоке «Гиппарх» не вышел на расчетную геостационарную орбиту и остался на промежуточной сильно вытянутой траектории. Специалистам Европейского космического агентства все же удалось справиться с ситуацией, и орбитальный астрометрический телескоп успешно проработал 4 года. Еще столько же продлилась обработка результатов, и в 1997 году в свет вышел звездный каталог с параллаксами и собственными движениями 118 218 светил, в числе которых было около двухсот цефеид.

К сожалению, в ряде вопросов желаемая ясность так и не наступила. Самым непонятным оказался результат для Плеяд — предполагалось, что «Гиппарх» уточнит расстояние, которое прежде оценивалось в 130—135 парсек, однако на практике оказалось, что «Гиппарх» его исправил, получив значение всего 118 парсек. Принятие нового значения потребовало бы корректировки как теории эволюции звезд, так и шкалы межгалактических расстояний. Это стало бы серьезной проблемой для астрофизики, и расстояние до Плеяд стали тщательно проверять. К 2004 году несколько групп независимыми методами получили оценки расстояния до скопления в диапазоне от 132 до 139 пк. Начали раздаваться обидные голоса с предположениями, что последствия вывода спутника на неверную орбиту все-таки не удалось окончательно устранить. Тем самым под вопрос ставились вообще все измеренные им параллаксы.

Команда «Гиппарха» была вынуждена признать, что результаты измерений в целом точны, но, возможно, нуждаются в повторной обработке. Дело в том, что в космической астрометрии параллаксы не измеряются



Размещение лазерных отражателей, доставленных кораблями «Аполлон» и станциями «Луна»

Погрешность измерения расстояния при лазерной локации Луны всего несколько сантиметров

непосредственно. Вместо этого «Гиппарх» на протяжении четырех лет раз за разом измерял углы между многочисленными парами звезд. Эти углы меняются как из-за параллактического смещения, так и вследствие собственных движений звезд в пространстве. Чтобы «вытащить» из наблюдений именно значения параллакса, требуется довольно сложная математическая обработка. Вот ее-то и пришлось повторить. Новые результаты были опубликованы в конце сентября 2007 года, но пока еще не ясно, насколько при этом улучшилось положение дел.

Но этим проблемы «Гиппарха» не исчерпываются. Определенные им параллаксы цефеид оказались недостаточно точными для уверенной калибровки соотношения «период-светимость». Тем самым спутнику не удалось решить и вторую стоявшую перед ним задачу. Поэтому сейчас в мире рассматривается несколько новых проектов космической астрометрии. Ближе всех к реализации стоит европейский проект «Гайя» (Gaia), запуск которого намечен на 2012 год. Его принцип действия такой же, как у «Гиппарха», — многократные измерения углов между парами звезд. Однако благодаря мощной оптике он сможет наблюдать значительно более тусклые объекты, а использование метода интерферометрии повысит точность измерения углов до десят-

ков микросекунд дуги. Предполагается, что «Гайя» сможет измерять килопарсековые расстояния с ошибкой не более 20% и за несколько лет работы определит положения около миллиарда объектов. Тем самым будет построена трехмерная карта значительной части Галактики.

Вселенная Аристотеля заканчивалась в девяти расстояниях от Земли до Солнца. Коперник считал, что звезды расположены в 1 000 раз дальше, чем Солнце. Параллаксы отодвинули даже ближайшие звезды на световые годы. В самом начале XX века американский астроном Харлоу Шепли при помощи цефеид определил, что поперечник Галактики (которую он отождествлял со Вселенной) измеряется десятками тысяч световых лет, а благодаря Хабблу границы Вселенной расширились до нескольких гигапарсек. Насколько окончательно они закреплены?

Конечно, на каждой ступени лестницы расстояний возникают свои, большие или меньшие погрешности, но в целом масштабы Вселенной определены достаточно хорошо, проверены разными не зависящими друг от друга методами и складываются в единую согласованную картину. Так что современные границы Вселенной кажутся незыблемыми. Впрочем, это не означает, что в один прекрасный день мы не захотим измерить расстояние от нее до какой-нибудь соседней Вселенной! ●