

Астрономическое время. Понятие «астрономическое время» имеет несколько смыслов. В непосредственном смысле оно характеризует темпоральное поведение объектов, изучаемых астрономией и дополняется понятием «астрономические расстояния». Изучая объекты, возраст которых достигает до 10 % возраста Вселенной, астрономия «может уловить отблеск первоначальных времен» (Аллан Сендидж). Периодическое изменение блеска переменных звезд, у которых период связан со светимостью, служит основой для определения астрономических расстояний.

Астрономия открыла возможность точного измерения времени, изучая движение Земли по орбите вокруг Солнца и ее вращение. Время измеряют интервалом между последовательными событиями. Выбор событий определяется соглашением. Естественной мерой времени являются земные сутки и их дробные части. В качестве точки отсчета выбирают некоторую точку на небесной сфере, а момент совмещения избранной точки с плоскостью земного меридиана наблюдателя служит начальным моментом. Время, прошедшее после этого момента, одинаково для всех мест данного меридиана от полюса до полюса и называется по характерному месту: гринвичским, московским и т.п. Различие во времени между двумя пунктами можно определить, рассчитав разницу в градусах долготы: один градус равен четырем минутам.

Выбор точки отсчета на небесной сфере определяет термины: звездное время и солнечное время. Из-за движения Земли вокруг Солнца эти времена различаются. Совершая видимое годовое движение по эклиптике (проекции плоскости земной орбиты на небесную сферу) Солнце смещается на фоне звезд к востоку. Звездные сутки составляют $23^{\text{h}} 56^{\text{m}} 04,09966^{\text{s}}$, они короче солнечных: чтобы данная точка Земли оказалась под Солнцем на следующие сутки Земле надо повернуться еще почти на градус.

Поскольку звездное время в любой местности отличается от звездного, гринвичского времени на географическую долготу этой местности, звездное время используется для определения географической долготы, для изучения неравномерности вращения Земли.

Наряду со звездным в качестве основного принято среднее солнечное время. Начальным моментом истинного солнечного времени служит истинная полночь: момент нижней кульминации центра диска Солнца. На практике вместо истинного солнечного времени пользуются средним солнечным временем. Из-за наклона земной оси, т.е. несовпадения плоскости небесного экватора и плоскости эклиптики и неравномерного движения Земли по ее орбите продолжительность истинных солнечных суток на протяжении года непостоянна. Среднее солнечное время определяется по движению фиктивной точки равномерно движущейся по небесному экватору. Эту точку называют средним экваториальным Солнцем, оно всегда находится вблизи Солнца, то опережая, то отставая от него. Разность между средним и истинным солнечным временем называется уравнением времени. Уравнение времени равна нулю примерно 14 апреля, 14 июня, 1 сентября, 24 декабря. Наибольшие значения

уравнение времени принимает около 12 февраля (+14^m 18^s) и около 3 ноября (–16^m 24^s).

Среднее солнечное время Гринвичской обсерватории вблизи Лондона было принято в качестве гражданского времени Великобритании в 1880 г. Для протяженных стран, таких как Россия, США, Канада единое гражданское время не подходит, хотя до сих пор Китай, Индия и континентальная Европа от Испании до Польши пользуются единым временем.

Каждые 15 градусов долготы дают разницу во времени в 1 час, чем пункт западнее, тем время меньше. На меридиане 180° время с западной стороны на 12 часов больше, а на восточной на 12 часов меньше, чем на нулевом, гринвичском меридиане. По этому меридиану (180°) с небольшими отклонениями, огибая острова и мысы, проходит линия перемены дат (International Data Line). Герой романа Умберто Эко «L'isola del giorno prima» Роберто волею судеб заброшен на корабль, стоящий на якоре вблизи этой линии. Мало по малу им овладевает мысль, что на ближнем острове по ту сторону линии всегда вчерашний день, и если бы ему удалось сойти на тот берег, он обрел бы время, канувшее в прошлое, смог бы исправить свои ошибки и переделать мир.

Земная поверхность условно поделена на 24 часовых пояса, в которых время принимается равным времени центрального меридиана, проходящего через середину пояса. В густонаселенных районах границы поясов смещены от меридианов в сторону административных границ и границ государств. В первом часовом поясе поясное время на один час впереди времени нулевого пояса, или среднего солнечного времени гринвичского меридиана (GMT, Greenwich mean time), во втором поясе – впереди на два часа и т.п. В 1925 г. GMT было переименовано и стало называться время всемирное, мировое, или гринвичское (UT, universal time или WZ, Weltzeit). Хранение времени связано с учетом поправок на ряд эффектов, вносящих нерегулярность.

Исходное гринвичское время UT после учета малых перемещений полюсов Земли становится средним временем UT1 для множества обсерваторий, равномерно распределенных по земной поверхности.

Время UT2 учитывает постоянную составляющую изменения скорости вращения Земли на протяжении года.

Время UT3 учитывает воздействия гравитационных возмущений со стороны Луны и планет через поправку на основную их составляющую.

Различия между этими четырьмя временами незначительны:

$$|UT1-UT| < 30 \text{ миллисекунд,}$$

$$|UT2-UT1| < 60 \text{ миллисекунд}$$

$$|UT3-UT2| < 4 \text{ миллисекунд.}$$

Однако случайные вариации скорости вращения Земли и ее очень медленное уменьшение под действием приливного трения не позволяют построить на основе всемирного времени равномерную шкалу.

В 1956 г. секунда была определена как масштабная единица эфемеридного времени, которое используется в астрономии при расчетах

положения планет, но в 1967 г. в основу временной шкалы был положен атомный стандарт частоты.

Хранение времени перешло от астрономов к физикам. Существует достаточно большой набор атомных часов с равномерным и точным ходом как основа международного атомного времени (IAT international atomic time).

На протяжении трех десятилетий это время сверялось с динамическим, или эфемеридным временем, т.е. с движением планет, относительная точность составила 10^{-10} .

Однако международное атомное время невозможно непосредственно использовать в качестве гражданского, необходимо иметь связь с солнечным временем. Таким образом, приходим к координированному всемирному времени (UTC). Оно установлено с января, первого 1972 года. Время от времени директор IERS (International Earth rotation Service), Международной службы земного вращения, принимает решение добавить одну секунду, чтобы скомпенсировать неравномерность UT1, от замедления скорости вращения Земли. Поправка всегда вносится по истечении полугодия, 30 июня или 31 декабря. В первом полугодии 1972 г. была внесена поправка в 10 с, и после этого до мая 2001 г. было добавлено еще 22 секунды. Были годы, когда коррекция не потребовалась: 1980, 1984, 1986, 1988, 1991, 1996, 1999. Международное атомное время имеет двойной статус. С одной стороны, это весьма точное время атомного стандарта частоты, а с другой, поскольку сохраняется связь с вращением Земли, его можно использовать для определения долготы. Материалы IERS позволяют найти значения разности (UTC – UT1) на любой момент с точностью в одну миллисекунду.

Международное обозначение UTC дается записью, например, для июня 25, 2001 в 7 часов 42 минуты 3,26 сек UTC=2001–06–25–42–0326 UTC.

Для нужд астрономии введено строго регулярное время, вычисляемое теоретически с учетом релятивистских эффектов. Оно используется для изучения движения солнечной системы и называется: барицентрическое время (BT). Предполагается, что атомные часы помещены достаточно далеко от Солнца и неподвижны по отношению к центру масс, т.е. барицентру солнечной системы. В среднем барицентрическое время немного спешит по сравнению с IAT, хотя единица времени у обоих времен одна и та же. Относительная разница составляет около 0,5 с в год.

В настоящее время широко используется навигационная система GPS (Global Positioning System), позволяющая определить координаты любой точки земного шара в режиме реального времени благодаря 28 спутникам, которые распределены по шести орбитам с высотой 20350 км. Принцип работы системы заключается в определении расстояния до спутника по времени задержки сигнала, поступающего с него. Основным требованием является точность хода часов на борту спутника и у приемника. Бортовые часы имеют эталонную точность. Часы приемника такой точностью не обладают. Этот недостаток компенсируется дополнительными данными: приемом сигналов с нескольких спутников одновременно. Большинство современных GPS приемников могут одновременно принимать и обрабатывать сигналы с 12 спутников.

GPS измерения становятся одним из главных методов для оценки глобальных геодинамических параметров. Движение полюса и измерение всемирного времени UT1 определяются ежедневно странами–участницами Международной службы GPS для геодинамики (IGS) с точностью 0.1 мс и 30 мкс времени соответственно.

GPS измерения используются наряду с точным геодезическим методом мониторинга вращения Земли и установления общеземной системы координат. В основе этого метода лежит использование естественных источников: излучающих в радиодиапазоне объектов Вселенной, не имеющих собственного движения. Измерения проводятся методом радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами. Недостаток таких измерений состоит в том, что не обеспечивается режим реального времени.

Счет дней соответствует суточному ритму вращения Земли. Солнечному ритму отвечает промежуток времени между весенними равноденствиями, прохождениями центра диска Солнца через точку весеннего равноденствия, равный тропическому году. Продолжительность тропического года для календарных расчетов принята равной 365,2422 средних солнечных суток. В календаре число суток не может быть дробным, имеются годы по 365 и по 366 суток, последних примерно втрое меньше, чем первых. Секунда, рассчитанная в отношении тропического года равна $1/315569,9747$ тропического 1900 г. Продолжительность тропического года очень медленно уменьшается, но нет уверенности, что так было или будет всегда. Другие виды года определяются по прохождению центра диска Солнца через другие избранные точки на небесной сфере. Драконический год фиксируется в точке пересечения лунной орбиты с эклипкой (узла), он измеряется промежутком между двумя прохождениями Солнца через один и тот же узел лунной орбиты. Этот год равен 346,62 суткам. Звездный год длится 365,25636 средних солнечных суток, по истечении его Солнце возвращается на то же место среди звезд. В древнем Египте продолжительность года устанавливали как промежуток между двумя утренними восходами Сириуса после периода его невидимости в сиянии Солнца. Счет годов по Сириусу приводил к медленному отставанию календаря от природных явлений, поскольку продолжительность такого года периода Сотис в 365,25 суток, превышала тропический. В 1460 лет по Сириусу указывался 1461 год египетского календаря в 365 суток.

В астрономии измеряют кажущиеся, взаимные координаты светил на момент наблюдения по отношению к текущему положению полюса мира и точки весны.

Движение полюсов земли и плоскостей эклиптики и экватора достаточно хорошо изучено, и видимые места звезд и других астрономических объектов пересчитывают к среднему на начало года. Этим началом служит момент, когда прямое восхождение среднего экваториального солнца равно 18^h40^m . Оно же является началом бесселева года, его продолжительность равна тропическому. Даты в бесселевом году определяются не числами месяцев, а числом дней и их долей, протекших от начала бесселева года до рассматриваемого момента. В астрономии употребляется счет количественными числительными, т.е.

указывается, сколько времени прошло от условного начала, например, «январь 0,2^h24^m». Это значит, что новый год для астрономов начинается на сутки раньше, 31 декабря, потому что момент «декабрь 31,000» есть последний момент в декабре и в предыдущем году. Таким же образом ведется счет годов: за начало счета принимается не начало первого года нашей эры, а момент за один год перед этим. От него вперед идет счет годов положительных, назад – счет годов отрицательных. В отличие от счета годов в истории, который ведется порядковыми числительными и 1^й год до Р.Х. непосредственно примыкает к 1^{му} году по Р.Х., в астрономии 1^й год до Р.Х. называют нулевым.

Задача о числе суток, протекших между заданными датами, решается счетом юлианских дней. Юлианские дни считаются непрерывно через годы, столетия и тысячелетия от 1 января 4713 до н.э., или, по-астрономически, начиная с момента –4712 г., январь 1.0. Это начало и начало каждого дня считается в средний гринвичский полдень.

Для счета юлианских дней пользуются таблицами или формулой

$$J.D. = (4712 + J) \times 365,25 + \left\lfloor \frac{J}{400} \right\rfloor - \left\lfloor \frac{J}{100} \right\rfloor + K,$$

где K принимает значения 1; 1,75; 1,50; 1,25, если J – високосный год, или 1-й, 2-ой, 3-ий следующие за ближайшим високосным годы соответственно. В этой формуле учтено, что в календаре на каждые 400 лет приходится не 100, а только 97 високосных лет.

Измерение времени в астрономии основано, таким образом, на периодическом изменении взаимного положения небесных тел в пространстве. Существуют также иные часовые механизмы, позволяющие использовать их стабильность для определения расстояний во Вселенной. Особую роль в астрономии играют пульсирующие переменные звезды, относящиеся к классу цефеид. Для этих звезд характерно ритмичное изменение блеска с амплитудами от одной десятой до двух звездных величин и стабильными периодами от одних до 70 суток, у большинства цефеид близкими к неделе. Светимости долгопериодичных цефеид достаточно велики чтобы их можно было наблюдать с межгалактических расстояний, и они достаточно распространены во Вселенной. Благодаря зависимости между периодом пульсаций цефеиды и ее абсолютной светимостью из наблюдений можно найти абсолютную звездную величину. Разность видимой и абсолютной звездных величин позволяет рассчитать, как далеко цефеида от наблюдателя.

Переменные источники излучения существуют не только в видимом, но и в радио– и рентгеновском диапазонах. Пульсары, например, излучают в радиодиапазоне короткими импульсами, повторяющимися через строго определенный промежуток времени, хотя амплитуда сигнала не остается постоянной. Периоды большинства пульсаров составляют до нескольких секунд, продолжительность импульсов варьирует от одного до 10 % длительности периода. Измерение разницы момента прихода импульса на разных частотах позволяет определить расстояние до пульсара.

Переменность цефеид объясняется пульсациями этих звезд–гигантов с огромными радиусами фотосфер и малыми плотностями. Механизм

пульсаров иной: это очень быстро вращающиеся нейтронные звезды, представляющие собой остатки взрывов сверхновых звезд. Поток излучения от активной зоны, жестко связанный с вращающейся звездой, описывает в пространстве конус. Если наблюдатель попадает в его пределы, он фиксирует импульс радиоизлучения.

Один из астрономических объектов, двойная система PSR 1913+16, отличается столь регулярным темпоральным поведением, что может служить эталоном времени. Пара нейтронных звезд (одна из них пульсар), обращается вокруг их барицентра. Согласно общей теории относительности большая полуось орбиты должна уменьшаться вследствие потерь энергии на излучение гравитационных волн. Это приводит к сближению звезд по спирали. Данные многолетних наблюдений согласуются с теорией, построенной на основе небесной механики с учетом всех релятивистских поправок. отличие не выходит за пределы 10^{-14} , и эта точность ограничивается, вероятно, лишь точностью хода земных часов (10^{-11}).

Литература

1. Блажко С.Н. Курс сферической астрономии. М.: 1954
2. Куликов С. Нить времен: малая энциклопедия календаря с заметками на полях газет. М.: «Наука», 1991
3. Шкловский И.С. Звезды: их рождение, жизнь и смерть». М.: «Наука», 1984

И.Н.Гансвинд