

A black and white photograph of an observatory dome with a window, set against a star trail background. The dome is cylindrical with a hemispherical top, and the window is illuminated from within. The sky is filled with concentric circular star trails, suggesting a long exposure. The foreground is dark, with some foliage visible on the left and right sides.

РЕДАКТОР-СОСТАВИТЕЛЬ

Владимир
СУРДИН

Небо и телескоп

Издательство АСТ
Москва

УДК 52
ББК 22.6
НЗ9

Авторский коллектив:

К. В. Куимов, В. Г. Курт, Г. М. Рудницкий,
В. Г. Сурдин, В. Ю. Теребиж

НЗ9 **Небо и телескоп** / Ред.-сост. В. Г. Сурдин. — Изд. 6-е, испр. и доп. — М. : АСТ, 2026. — 448 с. ; ил. — (Понятная астрофизика).

ISBN 978-5-17-185153-8

Данная книга содержит обзор текущего состояния наук о Вселенной и посвящена базовым понятиям, используемым во всех разделах астрономии и астрофизики: измерению координат и времени, технике наблюдений в различных диапазонах спектра, астрономической терминологии и системе обозначения небесных объектов.

Изложение материала в основном ориентировано на студентов младших курсов естественно-научных факультетов университета и специалистов смежных областей науки. Особый интерес книга представляет для любителей астрономии.

УДК 52
ББК 22.6

Предисловие

Всякий, кто способен чувствовать, глядя на небо в ясную ночь, не может не спрашивать себя, откуда берутся звезды, куда они исчезают и что поддерживает порядок во Вселенной.

Ганс Селье, канадский биолог и врач

В начале нового тысячелетия полезно подвести итог текущего состояния науки. Для астрономии итоги второго тысячелетия новой эры замечательны в двух отношениях. С одной стороны, в конце XX в. практически закончена космография — описательная часть науки о Вселенной. Космические зонды побывали у всех больших планет Солнечной системы и даже добрались до планет-карликов, начиная с Цереры и Плутона. Телескопы в определенном смысле «дотянулись» до границ Метагалактики, и мы теперь в целом неплохо представляем себе «географию» Вселенной. Наблюдения во всех диапазонах электромагнитного излучения, по-видимому, открыли нам все основные типы излучающих космических тел. Во всяком случае, удалось обнаружить все теоретически предсказанные объекты: нейтронные звезды, черные дыры (излучение рождается вблизи них), гигантские газовые облака, планеты у других звезд и, наконец, связующее звено между звездами и планетами — коричневые карлики. Похоже, что возможности наблюдателей начинают опережать фантазию теоретиков, поскольку заказов на поиски принципиально новых излучающих объектов от теоретиков не поступает. Таким образом, у астрономов наконец-то есть основания думать, что они вполне представляют поле своих исследований, пространственно-временной масштаб Вселенной и весь «зоопарк» населяющих ее объектов.

Впрочем, уверен, что жизнь вскоре опровергнет это утверждение, ибо так было уже не раз! Ведь «юбилейное подведение итогов тысячелетия» — это лишь одна сторона медали. А с другой стороны — астрономия по-прежнему остается живой наукой, если подразумевать под этим высокое напряжение поиска и предвкушение новых открытий. Именно в последние два десятилетия, после периода относительной стабильности, астрономия и астрофизика испытывают стреми-

тельный подъем, выводящий их на лидирующую позицию в естественных науках. За короткое время были сделаны крупнейшие открытия практически на всех масштабах Вселенной:

- надежно зарегистрирован поток нейтрино от Солнца, чем независимо подтверждена теория внутреннего строения звезд; при этом открыты осцилляции нейтрино, доказывающие, что у «неуловимой» частицы есть масса покоя (Нобелевская премия по физике 2002 г.);

- на периферии Солнечной системы, в поясе Эджворта–Койпера, открыты многочисленные малые тела и даже планеты-карлики; наблюдаемые границы Солнечной системы раздвинулись в несколько раз;

- открыт новый класс небесных объектов – коричневые карлики, занимающие промежуточное положение по массе между звездами и планетами. Температура в их недрах слишком низка для термоядерных реакций, поэтому единственным долговременным источником их энергии служит гравитационное сжатие;

- обнаружено присутствие планет рядом с нормальными звездами и даже с нейтронными звездами-радиопульсарами. К началу 2026 г. в околосолнечной окрестности Галактики уже надежно обнаружено более 6000 планет с массами менее 30 масс Юпитера;

- приоткрыта тайна космических гамма-всплесков, часть из которых отождествлена с фантастически мощными взрывами массивных звезд, вероятно, сопровождающими рождение черных дыр;

- открыты пространственные флуктуации реликтового излучения, чем окончательно доказана теория Большого взрыва и поставлена на твердую основу теория происхождения галактик и звезд (Нобелевская премия по физике 2006 г.);

- с высокой вероятностью показано, что расширение Вселенной в последние миллиарды лет происходит с ускорением (Нобелевская премия по физике 2011 г.); это свидетельствует о существовании некой «темной энергии» со свойством антигравитации;

- открыты новые каналы изучения Вселенной: твердо встала на ноги нейтринная астрономия и первые шаги делает гравитационно-волновая астрономия. Впервые гравитационная волна была зарегистрирована 14 сентября 2015 г. двумя лазерными интерферометрами LIGO, и после тщательной проверки 11 февраля 2016 г. авторы открытия объявили об этом (Нобелевская премия по физике 2017 г.). К началу 2026 г. зарегистрированы сотни гравитационных всплесков, вызванных слияниями пар черных дыр и нейтронных звезд (в этих открытиях участвовал лазерный интерферометр Virgo).

Было бы странно, если бы черед великих открытий последнего десятилетия вдруг прервалась. Уже создаются наземные телескопы и космические обсерватории нового поколения, которые сулят нам невиданные возможности для проникновения не только в мир звезд и галактик, но и в природу новых далеких планет.

Разумеется, объявляя «под фанфары» об открытии очередного экзотического объекта, астрономы, как правило, скромно умалчивают о том, насколько они еще далеки от полного понимания физических процессов, происходящих в недрах этого объекта: достаточно вспомнить о все еще загадочных источниках гамма-всплесков. А уж если говорить о происхождении галактик, звезд и планет, то здесь приходится ограничиваться перечислением более или менее правдоподобных теорий. Десятилетиями четко сформулированные проблемы не находят решения: как сформировалась Солнечная система? Как рождались галактики? Что является носителем скрытой массы Вселенной и какое неизвестное свойство (вакуума?) ускоряет расширение Мира в нашу эпоху?

В каждой конкретной области астрономии есть множество своих текущих проблем, решение которых ежедневно приносит много радости специалистам. На границе между астрономией и другими дисциплинами существуют общеизвестные проблемы, вызывающие бурные дискуссии: одиноки ли мы во Вселенной, единственна ли наша Вселенная? Вероятно, они не будут решены в ближайшее время, но это не означает, что поиск в данном направлении не имеет перспективы: напротив, он еще долго будет стимулировать нашу любознательность.

Итогом XX в. стало одно малозаметное для непосвященных, но очень важное для астрономов обстоятельство: развитие всемирной компьютерной сети позволяет теперь каждому специалисту работать с материалами и даже с инструментами практически любой обсерватории мира, включая и космические обсерватории. Особенностью менталитета астрономов всегда был интернационализм: астроном не может келейно вести исследование и засекречивать его результаты, поскольку звезды открыты для всех. Более того, особенности работы на искривленной и быстро вращающейся поверхности Земли всегда вынуждали астрономов к кооперации, к тесному сотрудничеству друг с другом. Поэтому уже давно мы учредили всемирные центры координации исследований и организовали определенное распределение обязанностей. Рождение сети Интернет было с энтузиазмом использовано астрономами для того, чтобы коллегам во всем мире

стало доступно главное богатство ученых – каталоги и архивы наблюдений. К тому же Интернет открыл возможность для дистанционной работы на лучших инструментах – телескопах, установленных на вершинах труднодоступных гор и даже за пределами Земли.

Новыми возможностями хранения и передачи данных в той или иной степени воспользовались ученые всех специальностей, но, помимо, именно в астрономию Интернет принес наибольшие перемены. Он сделал устаревшим такое понятие, как «провинциальное научное учреждение». Теперь любой специалист, где бы он ни жил, может пользоваться плодами труда и даже участвовать в работе сильных научных коллективов – разумеется, если его собственная квалификация позволяет это. Более того, теперь в корне изменилось понятие «любитель астрономии». Если прежде для работы на профессиональном уровне любитель был вынужден искать вакансию или хотя бы получать временное разрешение для пребывания в профессиональной обсерватории, то теперь это ни к чему: практически все, что доступно по Интернету профессионалам, доступно и любителям. Необработанные результаты наблюдения отдельных объектов с помощью крупнейших телескопов, подробные обзоры неба, программы для обработки данных – все это доступно каждому желающему. Появились неведомые прежде понятия, такие как виртуальный телескоп и персональный планетарий, во многих направлениях стершие границу между возможностями профессиональной и любительской астрономии. Эта счастливая особенность нашей наблюдательной науки всегда отличала ее от лабораторных экспериментальных наук.

Любители астрономии быстро осваиваются в море электронной информации и уже не только развлекаются и учатся, но и делают настоящие открытия. Поэтому растут и их требования к уровню научно-популярной литературы. Работая над этим изданием, мы думали не только о студентах-астрономах (которым в первую очередь предназначена эта книга), но и о тех любителях астрономии и специалистах смежных областей науки, кто желает получить обзор современной астрономии и астрофизики из первых рук. Главы этой книги можно читать в любом порядке; разобраться с терминологией поможет Толковый словарь, составленный по «принципу дополнительности» – в основном он не повторяет сведения специальных глав, а дополняет их. Ясно, что бумажным изданиям уже трудно угнаться за электронными в смысле оперативности и количества иллюстраций. Поэтому основное внимание мы уделяли точности определений, выверенности фактических данных и ясности физического содержания,

т. е. как раз тому, в чем проявляется слабость электронных изданий. Надеемся, что и в этом смысле принцип дополнительности окажется полезен нашим читателям.

Пока наша серия «Астрономия и астрофизика» содержит четыре книги, охватывающие основные разделы науки о космосе. Первая книга – «Небо и телескоп» – была издана в 2008 г., ее второе, переработанное, издание вышло в 2014 г., а 3-е и 4-е, дополненные, – в 2017 и 2019 гг. Вторая книга – «Солнечная система» – также появилась в 2008 г., затем стереотипно издавалась в 2009 и 2012 гг., а второе переработанное издание вышло в 2018 г. Третья книга – «Звезды» – первым изданием вышла в 2008 г., а затем исправленными и дополненными изданиями – в 2009, 2013, 2023 и 2025 гг. Четвертая и пока последняя книга этой серии – «Галактики» – издана в 2013, 2017 и 2019 гг. В наших планах подготовка пятой книги – «Космология».

Работу над первыми изданиями этих книг поддержал своими грантами Российский фонд фундаментальных исследований, за что ему чрезвычайно признательны все 27 авторов этой серии. Большинство из нас получали от РФФИ и персональную поддержку, стимулирующую наши научные исследования.

Все замечания и пожелания по этому проекту можно посылать на адрес surdin@sai.msu.ru. Они будут приняты с глубокой благодарностью. Поправки к уже опубликованным томам размещены на сайте <http://lnfm1.sai.msu.ru/~surdin>. Спасибо всем, кто своими советами и замечаниями помогает нашей работе.

При подготовке этих книг авторы часто пользовались (и впредь будут пользоваться!) консультациями коллег из ГАИШ, ИНАСАН, ИКИ, ФИАН, СПбГУ и других научных центров, занятых исследованием ближнего и дальнего космоса. Общение с коллегами – это главная радость нашей работы, а по существу – и всей нашей жизни. Тот, кто встал на путь изучения Вселенной, выбрал верную дорогу. Мы идем по ней в авангарде человечества, и кто знает, что ждет нас впереди.

Владимир Сурдин,
ГАИШ, апрель 2025 г.

Небесные координаты, время и календарь

К. В. Куимов

Во Вселенной нет ничего неподвижного. Измеряя взаимное положение небесных тел, мы замечаем, что все они постоянно перемещаются. Из этих измерений мы узнаем не только о расположении и скоростях движения небесных тел (что само по себе весьма полезно), но и о тех силах, которые управляют их перемещением. Главное, что мы узнали из этих измерений: из всех физических сил в нашей области Вселенной царствует гравитация. Рассмотрим на примерах, как много можно сказать о небесных телах только на основании измерения их движения.

В 1844 г. немецкий астроном Ф. Бессель (1784–1846), изучая по своим наблюдениям движение Сириуса и Прочиона, обнаружил, что оно происходит по волнистым линиям. Бессель предсказал, что у этих звезд должны быть невидимые в телескоп спутники весьма высокой массы. Предсказание подтвердилось: спутники были открыты с помощью более мощных телескопов и оказались объектами новой природы — белыми карликами.

Измерение положений звезд служит основой для определения расстояний до них. Важнейший способ для этого — измерение годичного параллакса, т. е. видимого смещения звезды на небе вследствие орбитального движения Земли. Только зная расстояния, можно определить светимости звезд и прочие их физические свойства.

Наконец, современные способы спутниковой навигации, позволяющие определять положение и скорость наблюдателя на Земле или недалеко от нее, возможны только потому, что астрономы определили положения очень далеких небесных светил — квазаров, на которые в конечном счете опирается спутниковая система координат.

Раздел астрономии, имеющий целью установление систем астрономических координат и определение положений и скоростей движения небесных тел по отношению к этим системам координат, называют астрометрией. Это самая древняя часть астрономии.

Все движения относительно: когда мы говорим о движении тела, обязательно надо уточнить, относительно какого другого тела рассматривается это движение. Например, если мы находимся на Земле и видим восходы и заходы Луны – мы наблюдаем движение Луны относительно Земли, а если рассчитываем орбиту космического аппарата, летящего к Нептуну, то изучаем его движение относительно Солнца. Для математических расчетов, связанных с движением, придуман специальный способ описания положений тел – системы координат. Пользуясь ими, можно положение и движение тела описать с помощью нескольких чисел. Рассмотрим два вида систем координат, которые применяются в астрономии: прямоугольные и сферические.

1.1. Системы координат

Проведем в пространстве три взаимно перпендикулярные прямые – оси координат – и обозначим их буквами x , y , z (рис. 1.1). Точку пересечения осей называют началом координат. Опустим перпендикуляр из точки P на плоскость, содержащую оси координат x и y , а затем – из точки P' на оси x и y . Опустим также перпендикуляр из точки P на ось z . Длины отрезков OA , OB и OC обозначим через x , y , z соответственно. Три числа x , y , z показывают, где находится точка P . Их называют координатами точки P . Сами оси координат обозначают теми же буквами. Построенная таким образом система координат называется декартовой в честь французского ученого Рене Декарта (1596–1650).

В качестве координат точки P можно выбрать и другие числа, например расстояние от начала координат r и два угла: угол φ , образованный отрезком OP' с плоскостью, содержащей оси x и y , и угол λ , образованный отрезком OP' с осью x . Три числа (r, λ, φ) называют *сферическими координатами* точки P . Пользуясь рис. 1.1, можно вывести формулы связи прямоугольных и сферических координат:

$$\begin{aligned} x &= r \cos \lambda \cos \varphi, \\ y &= r \sin \lambda \cos \varphi, \\ z &= r \sin \varphi. \end{aligned} \quad (1)$$

Астрономы часто пользуются сферическими системами координат. Это удобно, потому что рассто-

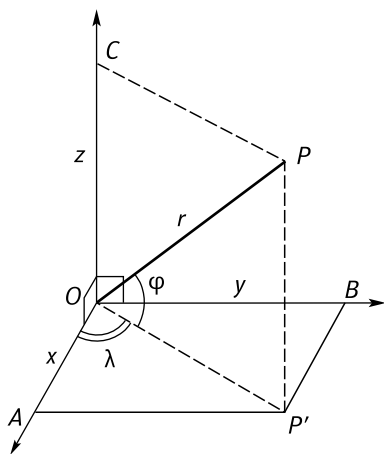


Рис. 1.1. Системы координат.

яние до небесных тел в большинстве случаев неизвестно, в то время как углы ϕ и λ можно легко измерить. При поиске светила на небе не обязательно знать, на каком расстоянии оно находится: достаточно знать, в каком направлении смотреть. Оно задается углами ϕ и λ . Но если мы хотим определить положение и движение небесного тела в пространстве, необходимо измерить расстояние до него и по формулам (1) вычислить прямоугольные координаты x, y, z . В теоретических исследованиях используют именно эти координаты.

Очень удобно, если начало системы координат связано с каким-нибудь телом, которое мы принимаем за неподвижное. Направления осей системы координат должны определяться из наблюдений. Достаточно задать направления только двух осей: третью проведем перпендикулярно к первым двум. Задав направление осей и единицы измерения расстояний, можно определять координаты любых тел, в том числе небесных. Рассмотрим, какие направления считают в астрономии основными, т. е. принимают за оси координат.

В древности все звезды считали расположенными на *сфере неподвижных звезд*, т. е. на одинаковом расстоянии от Земли. С тех пор сохранилось понятие небесной сферы, которое широко используют и сейчас. Современное определение *небесной сферы* такое: это сфера произвольного радиуса с центром в точке наблюдения. Слова «произвольного радиуса» в этом определении подчеркивают, что при рассмотрении положений светил мы хотим указать только направления, в которых они видны.

Рассмотрим некоторые точки и линии на небесной сфере, которые служат для построения систем небесных координат. Начало системы координат (точка наблюдения) может быть помещено в любое место, даже туда, откуда наблюдения невозможны, например

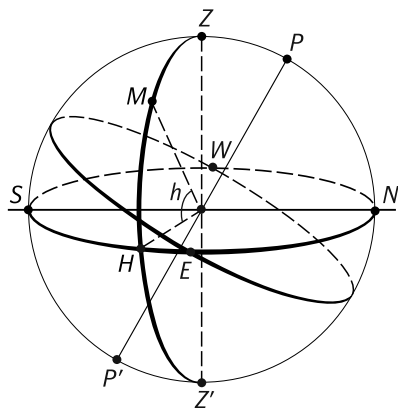


Рис. 1.2. Небесная сфера.

в центр Земли или Солнца. Однако далее мы будем считать, что точка наблюдения находится на поверхности Земли.

Проведем через центр небесной сферы прямую линию (рис. 1.2), совпадающую с направлением силы тяжести в данной точке земной поверхности, — вертикальную линию. (На вращающейся Земле

эта линия не совпадает с направлением силы притяжения к планете!) Вертикальная линия пересечет небесную сферу в двух точках, называемых *зенитом* (Z) и *надиром* (Z'). Чтобы найти второе направление, связанное с Землей, надо понаблюдать за суточным движением звезд. Мы увидим, что звезды движутся вокруг определенной точки — *полюса мира* (рис. 1.3). Конечно, таких полюсов два (P и P'). Тот из них, вокруг которого звезды движутся против часовой стрелки (если смотреть изнутри небесной сферы), называют северным, противоположный — южным. Прямую, соединяющую полюсы мира, называют *осью мира*.

Проведем через центр небесной сферы плоскость, перпендикулярную вертикальной линии. Она пересечет небесную сферу по окружности, которую называют *математическим горизонтом*. Проведем также плоскость, перпендикулярную оси мира. Она пересечет небесную сферу по окружности, называемой *небесным экватором*. Проведем большой круг небесной сферы через зенит и полюсы мира: он пересечется с небесной сферой по окружности, называемой *небесным меридианом*. Обратите внимание, что небесный меридиан на небесной сфере только один.

Некоторые точки пересечения горизонта с другими кругами имеют специальные названия. Небесный экватор пересекает горизонт в *точках запада* W и *востока* E . Небесный меридиан пересекает горизонт в *точках севера* N и *юга* S . Эти точки делят горизонт на четыре равные дуги по 90° . Точку на небесной сфере, которая изображает любое небесное тело, согласно старой традиции называют светилом.

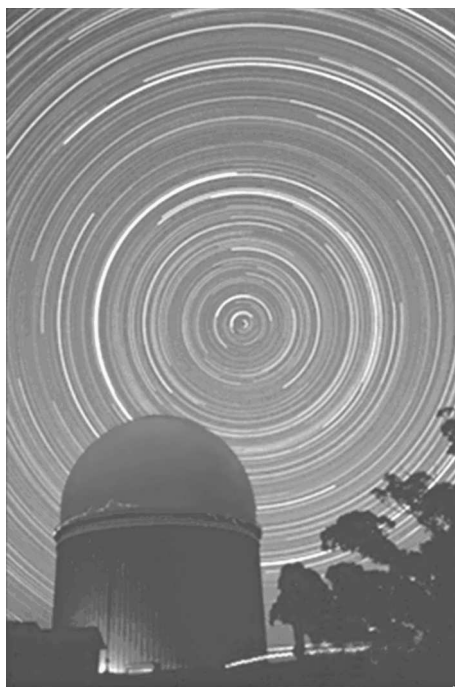


Рис. 1.3. Вращение звездного неба вокруг южного полюса мира. Фото получено с экспозицией около 10 часов (Англо-австралийская обсерватория, Австралия).

1.1.1. Горизонтальная система координат

Проведем большой круг небесной сферы через светило M и зенит Z . Этот круг называют кругом высоты светила M . Он пересекает горизонт в точке H . Теперь можно определить два угла, которые станут сферическими координатами светила M .

Угол между направлением на светило и плоскостью горизонта h называют высотой светила; ему соответствует дуга HM . Высоту указывают со знаком «+», если светило над горизонтом, и со знаком «-», если оно под горизонтом. Угол между плоскостью небесного меридиана и плоскостью круга высоты светила A называют азимутом светила; он отсчитывается от меридиана в сторону запада. Этому углу соответствует дуга $WNEH$ от точки юга до точки пересечения круга высоты светила с горизонтом. На рис. 1.2 азимут немногим превышает 270° .

Азимут и высота светила — это его *горизонтальные координаты*. Они полностью определяют положение светила на небе, т. е. не существует двух разных светил, имеющих одинаковые азимут и высоту. Вместо высоты иногда используют зенитное расстояние z — угол между направлением на светило и зенитом. Очевидно, $z + h = 90^\circ$.

Основная плоскость горизонтальной системы — плоскость горизонта, основное направление в этой плоскости (ось X) — направление на точку юга. А направление к зениту — это ось Z . Если наблюдатель перемещается по поверхности Земли, то направление силы тяжести изменяется. Действительно, сила тяжести направлена приблизительно к центру Земли, а направление к центру для разных мест на Земле разное. Связь между положением наблюдателя на Земле и ориента-

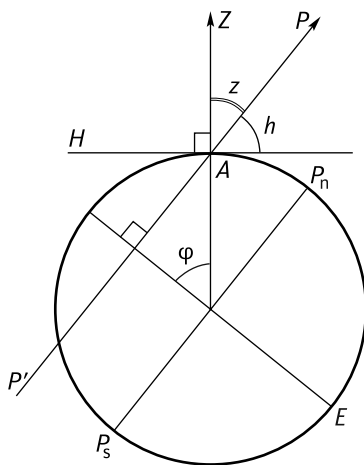


Рис. 1.4. Высота полюса мира. На Земле в точке A расположен наблюдатель. $P_n P_s$ — ось вращения Земли, E — плоскость экватора Земли, H — плоскость горизонта наблюдателя. *Астрономическая широта* — угол φ между местной вертикалью и плоскостью экватора. Прямая PP' , проходящая через точку A параллельно оси вращения, — ось мира для наблюдателя. Угол h — высота полюса мира. Углы h и φ равны как углы с взаимно перпендикулярными сторонами

цией его горизонтальной системы координат видна из теоремы: высота северного полюса мира равна астрономической широте точки наблюдения; для доказательства см. рис. 1.4.

Справедлива ли эта теорема для наблюдателя в южном полушарии Земли? Широта такого наблюдателя отрицательна. Но и северный полюс для него находится ниже горизонта, т. е. его высота отрицательна. Значит, теорема справедлива, если, конечно, не забывать, что в ней говорится именно о северном полюсе мира.

Вопрос: где находится наблюдатель, который видит полюс мира на горизонте? Высота полюса равна нулю, значит, широта наблюдателя тоже равна нулю. Это означает, что он находится на экваторе Земли. Для него все суточные пути светил вокруг полюса пересекают горизонт, т. е. все светила восходят и заходят. Если же наблюдатель находится на полюсе Земли, его широта равна 90° (или -90°). Северный (или южный) полюс мира совпадает с зенитом, суточные пути светил параллельны горизонту и никогда не пересекают его, т. е. светила не восходят и не заходят. На всех других широтах часть светил регулярно восходит и заходит, а другие никогда не пересекают горизонт, при этом одни из них никогда не заходят, а другие — никогда не восходят. Чтобы увидеть эти последние, астроном должен изменить широту места наблюдения, т. е. перенести свой телескоп в другую часть Земли. Как правило, это невозможно: телескопы в обсерваториях установлены стационарно. Поэтому для «почти полного» охвата неба строят обсерватории близ экватора, однако там нельзя изучать околополярные звезды, которые всегда видны низко у горизонта. Для полного обзора неба размещают два одинаковых телескопа в разных полушариях Земли. Но иногда бывает важно, чтобы наблюдения светил по всему небу были сделаны одним и тем же телескопом — тогда его устанавливают на самолете или на искусственном спутнике Земли.

Горизонтальная система координат — одна из общепринятых в астрономии, но употребляется она редко. Строго говоря, существует столько горизонтальных систем, сколько точек на поверхности Земли, т. е. бесконечно много. Кроме того, азимут и высота светила быстро меняются из-за суточного движения, что не очень удобно. Заметим, что горизонтальная система существует не для всякого наблюдателя. Например, для космонавта в состоянии невесомости сила тяжести отсутствует, а суточное движение звезд, вызванное вращением Земли, он наблюдать не может. Построить горизонтальную систему координат с центром в искусственном спутнике Земли нельзя.

1.1.2. Экваториальная система координат

Более удобна для астрономов экваториальная система координат. Ее основной плоскостью служит плоскость небесного экватора, а основными направлениями — ось мира и направление на *точку весеннего равноденствия*, ту точку небесного экватора (знак Υ на рис. 1.5), в которой Солнце пересекает его весной в своем годичном движении на фоне звезд. Поскольку это видимое движение Солнца происходит по эклиптике — кругу, образованному пересечением небесной сферы с плоскостью земной орбиты, то ясно, что экваториальная система координат задана двумя движениями Земли: суточным вращением вокруг оси (плоскость экватора) и годичным обращением вокруг Солнца (плоскость орбиты). Оба эти движения очень стабильны, положение координатных осей экваториальной системы почти не изменяется относительно звезд, а значит, и координаты звезд в этой системе остаются почти неизменными: в этом и состоит ее большое удобство.

Угол между плоскостью экватора и направлением на светило называют *склонением* светила и обозначают буквой δ ; в сторону северного полюса его указывают со знаком «+», а к югу — со знаком «-». Круг, проведенный через полюс мира и светило, пересекает небесный экватор в точке Q . Дугу экватора от точки Υ до точки Q , отсчитанную в восточном направлении, называют *прямым восхождением* светила и обозначают буквой α . Обычно угол α измеряют в часах (^h), минутах (^m) и секундах (^s), принимая окружность (360°) за 24^h . Например: $90^\circ = 6^h$, $20^\circ = 1^h 20^m$, а $38^\circ 17' = 2^h 33^m 08^s$. Это удобно, поскольку разность прямых восхождений двух светил, выраженная в такой мере, сразу указывает, с какой разницей по *звездному времени* эти светила пересекут небесный меридиан. Прямое восхождение и склонение — наиболее часто употребляемые небесные координаты.

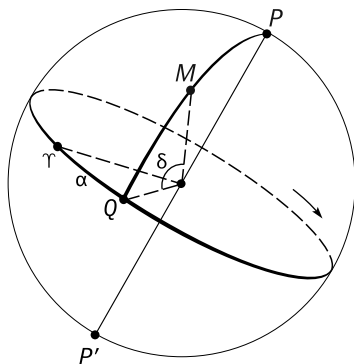


Рис. 1.5. Экваториальная система координат.

Мы познакомились с экваториальной системой координат, а теперь — важное сообщение: эта система верой и правдой служила астрономам более трехсот лет, но недавно от нее пришлось отказаться. К сожалению, основные направления экваториальной системы не остаются неизменными: ось вращения Земли и плоскость земной орбиты медленно меняют ориентацию.

Мы познакомились с экваториальной системой координат, а теперь — важное сообщение: эта система верой и правдой служила астрономам более трехсот лет, но недавно от нее пришлось отказаться. К сожалению, основные направления экваториальной системы не остаются неизменными: ось вращения Земли и плоскость земной орбиты медленно меняют ориентацию.

Поэтому экваториальные координаты звезд постепенно изменяются, даже если сами звезды неподвижны. Но ведь звезды движутся, и как раз одна из главных целей, ради которой устанавливают систему координат, – это измерение движений звезд. Если же сама система координат подвижна, причем не всегда предсказуемым образом, то измерять в ней малые движения звезд становится очень сложно. Поэтому астрономы всегда стремились построить «идеальную» систему координат, связанную с такими небесными телами, которые можно считать неподвижными.

Такие тела нашлись. Это *квazarы*, самые удаленные небесные объекты. Их видимые перемещения на небесной сфере пренебрежимо малы. Даже если квазар движется перпендикулярно лучу зрения со скоростью света (!), то, находясь от нас на расстоянии в миллиард световых лет, он перемещается по небу на $2 \cdot 10^{-4}$ секунды дуги в год. Такое движение пока нельзя обнаружить. Есть и еще одна выгода: квазары излучают радиоволны, и их можно наблюдать методами радиоастрономии. Точность измерения углов радиоинтерферометрами в настоящее время значительно выше точности оптических измерений.

Современная *стандартная система координат* уже не связана с вращением Земли вокруг оси и ее движением вокруг Солнца. Но астрономы постарались, чтобы стандартная и экваториальная системы были близки хотя бы в нашу эпоху: поэтому они в точности совпали в начале 2000 г. Официальное название новой системы – International Celestial Reference System (Международная система небесных координат), сокращенно ICRS. Под этим названием подразумеваются правила построения системы. Конкретный набор квазаров с их координатами называют Базисом международной системы небесных координат, International Celestial Reference Frame, ICRF. Это реализация ICRS. В связи с уточнением данных с 1 января 2010 г. принята новая реализация системы координат, названная ICRF2. Однако и в этой системе квазары считаются неподвижными. В то же время благодаря новым наблюдениям уже удалось обнаружить собственное движение квазаров. Ясно, что это потребует дальнейшего совершенствования небесной системы отсчета. Заметим, впервые за почти трехтысячелетнюю историю основная систем небесных координат оказалась не связана с Землей. Это знаменует новый и очень важный этап в развитии астрометрии.

На координаты звезд в системе ICRS не влияет движение земной оси (прецессия и нутация), а также изменение ориентации земной орбиты под действием притяжения планет (так называемая «планетная прецессия», вносящая вклад в перемещение точки весеннего равно-