

Константин Алексеевич Куликов

**Курс сферической
астрономии**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 52
ББК 22.6
К65

К65 **Константин Алексеевич Куликов**
Курс сферической астрономии / Константин Алексеевич Куликов – М.: Книга
по Требованию, 2013. – 216 с.

ISBN 978-5-458-28415-8

Сжатое изложение для студентов-астрономов, физиков и математиков. Содержит также начальные сведения о движении полюсов Земли, неравномерности вращения, учета рефракции и аберрации - естественно, для начинающих и по данным, известным на тот период. Издание второе, переработанное и дополненное.

ISBN 978-5-458-28415-8

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2013

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2013

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

<i>Глава седьмая. Основные астрономические постоянные.</i>	148
§ 52. Астрономические Ежегодники и астрономические постоянные	148
§ 53. Математические зависимости между астрономическими постоянными	150
§ 54. Постоянные, характеризующие фигуру и размеры Земли	152
§ 55. Наклон экватора к эклиптике	155
§ 56. Определение параллакса Солнца из наблюдений . . .	157
§ 57. Постоянная годичной аберрации	161
§ 58. Постоянная прецессии	164
§ 59. Постоянная нутации	167
§ 60. Система астрономических постоянных	169
Литература	172
Приложение I. Таблицы рефракции Пулковской обсерватории	173
Приложение II. Перевод дуги, выраженной в часовой мере, в градусную меру и обратно	193
Приложение III. Перевод промежутков звездного времени в среднее время	194
Приложение IV. Перевод промежутков среднего времени в звездное время	195
Приложение V. Превращение десятичных долей суток в часы, минуты и секунды, и обратно.	196
Приложение VI. Перевод экваториальных координат (α , δ) в галактические (l^{II} , b^{II})	197
Приложение VII. Резолюция № 4 о системе астрономических постоянных, принятая XII Генеральной ассамблеей МАС, Гамбург, 1964.	203
Предметный указатель	207

ПРЕДИСЛОВИЕ

В утвержденных Министерством высшего и среднего специального образования СССР учебных планах университетов на сферическую астрономию отведено в течение одного семестра 70 часов, из расчета 3 часа лекций и 1 час упражнений в неделю.

При таком ограниченном количестве часов существующие учебники становятся мало пригодными. Например, прекрасная книга С. Н. Блажко «Курс сферической астрономии» является, по существу, справочником по сферической астрономии для специалистов; студентам же 1-го или 2-го курсов, для которых читается этот предмет, трудно из него извлечь то, что необходимо для дальнейшей практической работы и для прохождения других астрономических курсов. То же можно сказать и об учебниках С. А. Казакова, М. К. Вентцеля и др.

Настоящий учебник составлен применительно к программе курса сферической астрономии, рассчитанного на 50—54 лекционных часа.

Первой особенностью этой книги является ее малый объем. Исходя из числа отведенных часов, в ней изложен только тот материал, который совершенно необходим специалисту любой отрасли астрономии и без которого нельзя проходить другие астрономические предметы учебного плана. Сокращенно изложены первые главы, материал которых частично изучался студентами при прохождении курса общей астрономии.

Вторая особенность учебника заключается в порядке изложения материала, а именно: учет всех редукиций дается в такой последовательности, в какой они в действительности вводятся в наблюдения. После исправления данных наблюдений за инструментальные ошибки, о чем рассказывается в практической астрономии, наблюдения освобождаются в первую очередь от влияния рефракции и суточной аберрации. Тем самым результаты наблюдений оказываются такими, как если бы они были получены с Земли, лишенной атмосферы и не вращающейся вокруг своей оси. Затем производят учет годичной аберрации, прецессии и нутации.

В настоящем учебнике более подробно, чем в других, рассказано об астрономических постоянных. Знакомство с астрономическими постоянными также необходимо, так как от них зависит точность учета всех редукиций, решение задач небесной механики, геодезии и гравиметрии, определение же их численных значений представляет собой важнейшую задачу фундаментальной астрометрии. Кстати сказать, подробно раздел «астрономические постоянные» излагается только в одном из общих курсов учебного плана, — в общей астрометрии.

Первые четыре главы учебника посвящены элементам геометрии на сфере, измерению времени и суточному вращению небесной сферы. Некоторой особенностью изложения этих глав является то, что, в отличие от существующих учебников, в данном курсе приводится, например, краткий вывод четырех дифференциальных формул сферической тригонометрии, упрощающих выводы некоторых редукиций, изложен вопрос о неравномерности вращения Земли и движении полюсов Земли и др.

При рассмотрении редукиций, в отличие от первого издания, введен параграф о рефракции для горизонтальных слоев атмосферы. По-иному изложены параграфы об аберрации и параллаксе экваториальных координат. Влияние

абберации и параллакса на координаты сначала получено в произвольных осях (как, например, в курсах сферической астрономии С. А. Казакова и Д. В. Пяковского), затем — как частный случай в горизонтальных и экваториальных координатах. Это нагляднее и проще, чем в первом издании нашей книги.

В конце большинства глав приведены упрощенные примеры, которые частично заимствованы из задач по сферической астрономии М. К. Вентцеля, К. А. Цветкова и М. Н. Смирнова, из Астрономического ежегодника СССР на 1960 г. и некоторых других пособий. В конце книги в виде приложения приводится ряд таблиц, которые необходимы для решения разнообразных астрономических задач. В несколько сокращенном виде даны таблицы рефракции Пулковской обсерватории, которые приведены для зенитного расстояния от 0 до 80° , а не от 0 до 90° , как в оригинале. В отличие от первого издания, добавлены таблицы перевода экваториальных координат в галактические.

Приношу глубокую благодарность доценту МГУ В. В. Подобеду за внимательный просмотр первого издания книги и за исправления и улучшения текста.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

СИСТЕМЫ КООРДИНАТ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ И НА НЕБЕСНОЙ СФЕРЕ

§ 1. Форма и размеры Земли

Поверхности океанов и материков образуют истинную физическую фигуру Земли. Действительная поверхность Земли, непосредственно представляющаяся нашему взору во всем своем многообразии, настолько сложна, что описать ее с помощью математических формул невозможно. Поэтому, говоря о форме Земли, рассматривают некоторую более простую поверхность, которая в той или иной мере близка к действительной поверхности Земли и отражает ее основные черты.

В первом приближении Землю можно считать *шаром*. Ближе к истинной фигуре Земли будет *эллипсоид вращения*, полученный вращением эллипса около его малой оси. Величина отклонения фигуры эллипсоида вращения от шара характеризуется *сжатием* — отношением разности наибольшей и наименьшей осей эллипсоида к его наибольшей оси. Если обозначить через a и b наибольшую и наименьшую полуоси эллипсоида, то сжатие f выразится формулой

$$f = \frac{a - b}{a}.$$

Принято характеризовать фигуру Земли следующими параметрами эллипсоида вращения:

$$a = 6\,378\,295 \text{ м}, \quad f = \frac{1}{298,4}.$$

Еще более соответствует форме Земли *трехосный эллипсоид*, характеризующийся тремя полуосями, a , b и c .

В настоящее время наиболее достоверными считаются следующие параметры трехосного эллипсоида:

$$a = 6\,378\,245\,м, \quad b = 6\,356\,863\,м, \quad f = \frac{1}{298,3}, \quad \varepsilon = \frac{1}{30000},$$

где ε — экваториальное сжатие, вводимое аналогично величине f . Эти значения характеризуют трехосный эллипсоид Красовского, полученный советскими геодезистами под его руководством. При выводе элементов этого эллипсоида были использованы геодезические градусные измерения, проведенные в СССР, странах Западной Европы и Северной Америки. В случаях трехосного эллипсоида экватор Земли представляет собой не круг, а эллипс с малым сжатием. У эллипсоида Красовского большая ось экватора расположена на 15° к западу от меридиана Гринвича.

В действительности Земля по своей форме значительно сложнее даже трехосного эллипсоида. Более близка к ней фигура, называемая *геоидом*. Эта поверхность обладает тем свойством, что в каждой ее точке сила тяжести направлена по нормали к поверхности. Она совпадает со средним уровнем воды мирового океана, а на материках — с уровнем воды в воображаемых узких каналах, сообщающихся с океаном. Поверхность геоида отклоняется от поверхности трехосного эллипсоида в ту или другую сторону на величину, не превышающую 100 м.

Для решения большинства астрономических задач достаточно считать Землю эллипсоидом вращения.

§ 2. Координаты точки на земной поверхности

Положение какого-либо пункта на поверхности Земли, которую будем считать эллипсоидом вращения, определяется двумя координатами: *широтой* φ и *долготой* λ . При установлении этой системы координат основным направлением является направление оси вращения Земли, которую можно считать совпадающей с наименьшей осью эллипсоида.

Ось вращения Земли пересекается с ее поверхностью в двух точках: северном N и южном S полюсах (рис. 1). Для

наблюдателя, смотрящего на северный полюс, вращение Земли происходит против часовой стрелки.

Плоскость, проходящая через центр Земли перпендикулярно к оси вращения, называется *экваториальной плоскостью*. Линия QQ , образованная пересечением поверхности Земли экваториальной плоскостью, называется *земным экватором*, который делит поверхность Земли на два полушария: северное (с северным полюсом N) и южное (с южным полюсом S). Малые круги, параллельные земному экватору, называются *географическими параллелями*.

Географические параллели, отстоящие к северу и к югу от экватора на $23^\circ 27'$, что определяется годичным движением Солнца, называются *тропиками*. В северном полушарии Земли расположен северный тропик или тропик Рака (на рисунке — BB), в южном — южный тропик или тропик Козерога (CC). Тропики ограничивают жаркий климатический пояс Земли. Географические параллели, отстоящие от экватора на $66^\circ 33'$, считаются границами холодных и умеренных климатических поясов и называются северным (AA) и южным (DD) *полярными кругами*.

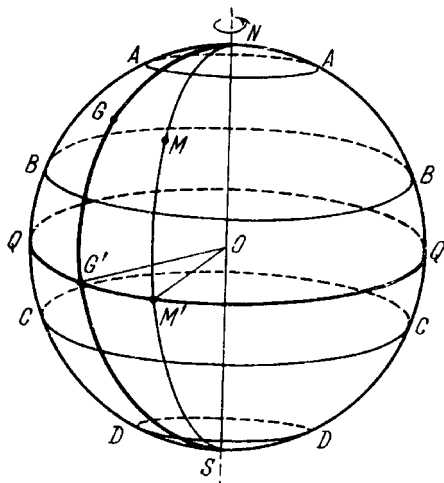


Рис. 1.

Плоскость, проходящая через полюсы N и S и данную точку M , образует на поверхности Земли линию NMS , называемую *географическим меридианом* точки M . Для эллипсоидальной Земли географический меридиан имеет форму эллипса. Меридиан (NGS), проходящий через Гринвичскую обсерваторию G , принимается за нулевой или начальный меридиан.

Положение точки на земном эллипсоиде задается геодезическими координатами. *Геодезическая широта* места φ_1 есть угол между нормалью M_n к поверхности эллипсоида

и плоскостью экватора (рис. 2). *Геодезическая долгота* λ_1 есть двугранный угол между меридианом места и гринвичским меридианом (см. рис. 1). Геодезические координаты применяются в геодезии и картографии. Они выводятся на основании геодезических, астрономических и гравиметрических измерений.

В астрономии применяются астрономические координаты места, получаемые из астрономических наблюдений.

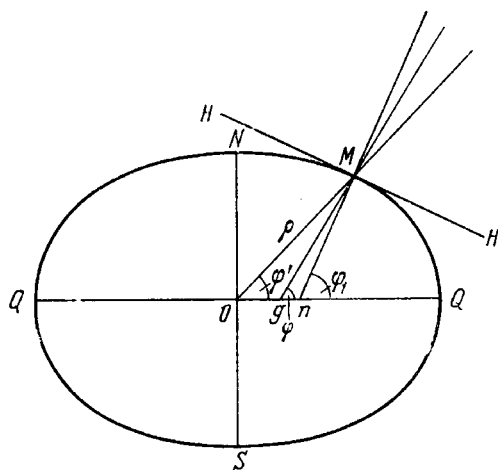


Рис. 2.

Астрономическая широта φ данной точки есть угол между отвесной линией и плоскостью земного экватора. Она отсчитывается от экватора к северному полюсу от 0 до $+90^\circ$ и к южному полюсу от 0 до -90° .

Астрономическая долгота λ есть двугранный угол между плоскостью астрономического меридиана места, задаваемого отвесной линией и плоскостью гринвичского (астрономического) меридиана. Измеряется долгота двугранным углом между плоскостями этих меридианов, и отсчитывается от гринвичского меридиана к востоку (восточная долгота) и к западу (западная долгота) от 0 до 180° или, в часовой мере, от 0 до 12 часов (12^h). Общепринятой системы счета долгот нет. Иногда долготу считают в одну сторону от 0 до 360° . В международной практике восточная долгота иногда считается отрицательной, а западная — положи-

тельной. В СССР положительной считается восточная долгота, поэтому в данной книге везде будем считать долготу λ от 0 до 360° или от 0 до 24^h к востоку от Гринвича.

Астрономические координаты отсчитываются аналогично геодезическим и незначительно отличаются от последних за счет несовпадения в данной точке земной поверхности направления отвесной линии и направления нормали к земному эллипсоиду. Уклонение отвеса вследствие неравномерного распределения масс в теле Земли, как правило, не превосходит $3''$. Если бы Земля действительно была эллипсоидом и массы распределялись внутри нее или однородно или концентрическими слоями одинаковой плотности, то лишь в этом случае астрономические и геодезические координаты совпадали бы.

В дальнейшем при изложении материала мы будем всегда считать, что долгота λ положительна к востоку от Гринвича, а широта φ есть астрономическая широта. Исключение составляет раздел о суточном параллаксе, где используется геоцентрическая широта φ' .

Геоцентрической широтой φ' называется угол между радиусом-вектором OM точки на поверхности Земли и плоскостью земного экватора QQ (см. рис. 2). При этом радиус вектор точки на поверхности Земли ρ есть отрезок, соединяющий центр земного эллипсоида с данной точкой.

Для перехода от геодезической широты точки к ее геоцентрической широте служит формула

$$(\varphi_1 - \varphi')'' = \frac{1}{2} 206264,8(2f \cdot f^2) \sin 2\varphi.$$

Максимальное расхождение между широтами геодезической и геоцентрической достигает $11',5$ для параллели 45° .

§ 3. Изменяемость широт и долгот

Координаты точек на поверхности Земли — широта φ и долгота λ не остаются постоянными, а изменяются со временем. Изменения широт и долгот происходят от того, что ось вращения непрерывно изменяет свое положение в теле Земли.

Вследствие этого северный и южный полюсы Земли все время меняют свои мгновенные положения, описывая кривые по ее поверхности. Северный полюс движется вокруг своего среднего положения против часовой стрелки, описывая сложную спиралеобразную кривую, которая то закручивается, то раскручивается, не выходя из квадрата со сторонами 26 м.

На рис. 3 и 4 приведены кривые движения северного полюса Земли за два периода. Как видно, из этих рисунков в 1934,0—1940,0 гг. изменения положения полюса были невелики, а в 1946,0—1952,0 гг. амплитуда их имела гораздо больший размах.

Движение полюсов Земли вызывает смещение на ее поверхности координатной сетки — параллелей и меридианов, что и приводит к изменению широт и долгот мест. В целом ряде высокоточных астрометрических и геодезических исследований (определение склонений звезд и астрономических постоянных, долготные работы) влияние этих изменений нужно учитывать и вводить в получаемые результаты соответствующие поправки.

В движении полюсов Земли можно выделить два вида изменений — медленное (вековое) и периодическое. Периодическое движение полюса является результирующим от сложения по крайней мере двух колебаний с периодами в 14 и 12 месяцев. Для учета поправок за движение полюса вводится понятие *среднего полюса Земли*. За него принимается некоторая точка вблизи центра квадрата (со сторонами 26 м), в котором движется северный полюс (его движение определено из наблюдений с высокой степенью точности).

Можно дать следующее определение: *средним полюсом Земли называется такое положение полюса, каким оно было бы, если бы не было его периодического движения*. В соответствии с этим вводится понятие средней широты и средней долготы. Вековое движение среднего полюса очень мало и им можно пренебречь. Следовательно, можно считать средний полюс Земли неподвижным.

Вывод формул для вычисления поправок широты и долготы места наблюдения за движения полюсов Земли дается в конце главы второй после необходимых сведений из сферической тригонометрии.