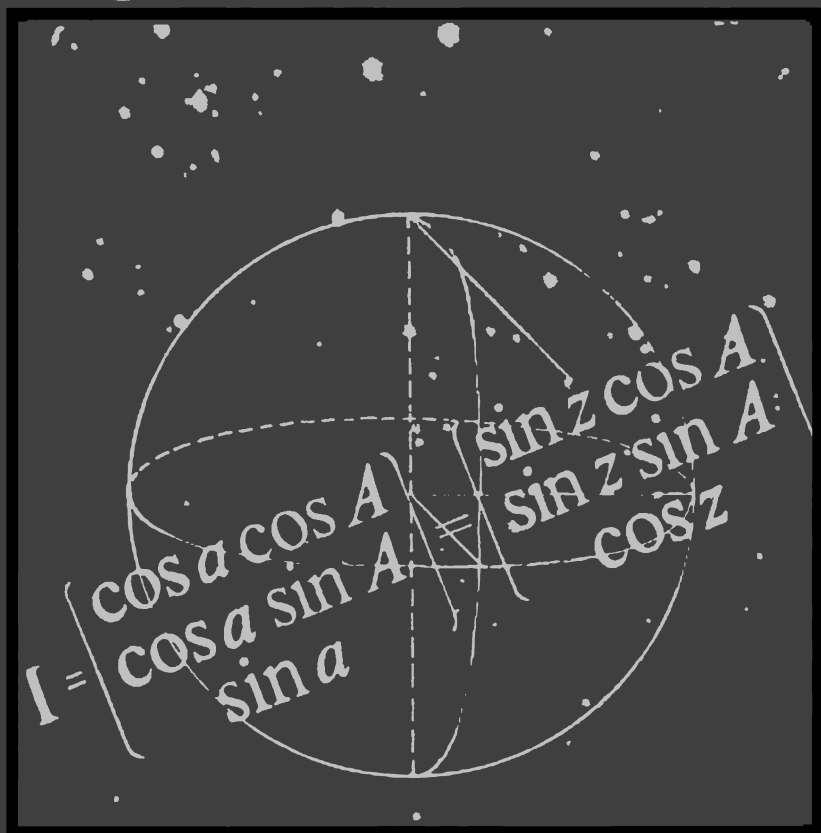


П. Даффет-Смит

ПРАКТИЧЕСКАЯ АСТРОНОМИЯ С КАЛЬКУЛЯТОРОМ



Издательство **МИР** Москва

**PRACTICAL ASTRONOMY
WITH YOUR CALCULATOR**

Peter Duffett-Smith

University Demonstrator
Mullard Radio Astronomy Observatory,
Cavendish Laboratory,
and Fellow of Downing College, Cambridge

Second edition

Cambridge University Press
Cambridge
London New York New Rochell Melbourne Sydney

П. Даффет-Смит

**ПРАКТИЧЕСКАЯ
АСТРОНОМИЯ
С КАЛЬКУЛЯТОРОМ**

Перевод с английского
Д.А. Птицына и Н. Е. Пискунова
под редакцией
канд. физ.-мат. наук
Г. А. Лейкина

Москва «Мир»

1982

ББК 22.6
Д 21
УДК 52

Даффет-Смит П.

Д 21 Практическая астрономия с калькулятором: Пер. с англ. — М., Мир, 1982. — 176 с., ил.

Автор, сотрудник Кавендишской лаборатории (Англия), написал практическое руководство по выполнению расчетов, наиболее часто встречающихся в работе астронома-наблюдателя, геодезиста или любителя астрономии (переход от одной системы координат к другой, определение условий видимости светил или различных небесных явлений, вычисление эфемерид и т. п.). Решение каждой задачи сопровождается детальной инструкцией и схемой вычислений на простейшем калькуляторе.

Для любителей астрономии и студентов, а также для специалистов, которым приходится решать задачи практической астрономии.

Д $\frac{1705040000-112}{041(01)-82}$ 89-82, ч .1.

ББК 22.6

*Редакция литературы по космическим исследованиям,
астрономии и геофизике*

© Cambridge University Press, 1979, 1981

© Перевод на русский язык, «Мир», 1982

Предисловие редактора перевода

Предлагаемый вниманию советского читателя перевод небольшой по объему книги П. Даффет-Смита — одно из первых пособий по астрономии, рассчитанных на использование микрокалькуляторов. Перевод был осуществлен по второму изданию этой книги.

Готовясь к наблюдениям, астроном оценивает условия наблюдения светил и явлений, периоды их видимости, положение светил на небесной сфере, обстоятельства наблюдения затмений и т. д. Все это является предметом практической астрономии, которой и посвящена настоящая книга. Каждый ее параграф содержит подкрепленный примером рецепт решения задачи практической астрономии. Несколько выпадает из общего стиля лишь § 52 о возмущениях планетных орбит, имеющий скорее иллюстративный характер.

Хотя книга безусловно представляет интерес для любого читателя, интересующегося наблюдательными аспектами астрономии, она рассчитана на астронома-любителя, и точность, которую обеспечивают содержащиеся в ней своеобразные программы вычислений, не очень велика (каждый раз она оценивается автором). Читателю, который хочет провести вычисления с большей точностью, придется дополнить приводимые автором программы, пользуясь сведениями, содержащимися, например, в книге В. К. Абалакина «Основы эфемеридной астрономии» (М.: «Наука», 1979) или в постоянной части Астрономического календаря (последнее издание вышло в 1981 г.).

Для вычислений можно пользоваться практически любым отечественным калькулятором для инженерных расчетов или программируемым калькулятором (например,

«Электроника» СЗ-15, БЗ-18, БЗ-36, БЗ-34 и др.). Более подробные сведения об устройстве и работе калькуляторов можно найти, например, в книгах В. Гильде и З. Альтрихтера «С микрокалькулятором в руках» (М.: «Мир», 1980) и Г. Кройля «Что умеет мой микрокалькулятор» (М.: «Мир», 1981).

Исходные данные, помимо приводимых в книжке, читатель может найти в переменной части Астрономического календаря (выпускается ежегодно издательством «Наука»), «Справочнике любителя астрономии» П. Г. Куликовского (последнее издание выпущено издательством «Наука» в 1971 г.) и в «Астрономическом ежегоднике СССР» (выпускается ежегодно и распространяется через магазины «Академкниги»).

Как правило, в книге не приводится вывод формул его можно найти в уже упоминавшейся книге В. К. Абакина и в университетских курсах сферической астрономии и небесной механики.

В некоторых случаях терминология автора несколько отличается от принятой в отечественной литературе. Так, например, в отечественной литературе планеты, располагающиеся ближе к Солнцу, чем Земля, обычно называют нижними, а дальше — верхними. Автор вместо этого говорит о внутренних и внешних планетах. Вместо позиционного угла светлого лимба (§ 55) в отечественной литературе обычно говорят о позиционном угле экватора интенсивности и т. д. Однако во всех случаях автор дает определение используемых терминов, так что недоразумения исключены.

Следует также иметь в виду, что на территории Советского Союза постановлением Совета Министров СССР «О порядке исчисления времени на территории СССР», принятым в конце 1980 г., установлены новые границы часовых поясов. Этим же постановлением предусмотрено введение на территории СССР летнего времени: ежегодно с 0 часов первого апреля все часы переводятся на один час вперед, а в 0 часов первого октября — на один час назад. Таким образом, с октября по март «московское время» соответствует времени третьего часового пояса, а с апреля по сентябрь — четвертого и опережает всемирное время соответственно на 3 и 4 часа.

Заметим в заключение, что поскольку в оригинале книжка предназначалась для астрономов-любителей, живущих в англоязычных странах, где нерабочие дни часто приходится на религиозные праздники, в ряде случаев условия видимости светил рассчитываются на эти даты.

Г. Лейкин

Предисловие ко второму изданию

«Практическая астрономия с калькулятором» написана для тех, кто в практических целях или ради удовольствия хочет вычислить положения и условия наблюдения небесных тел и примечательных явлений, таких как затмения. Я старался сократить путь через сложности и трудности строгой математики, учитывая только те факты, которые существенны для данного расчета, и игнорируя поправки, необходимые для очень точных предсказаний астрономических явлений. Предлагаемый мной метод обычно оказывается достаточно точным для любителей астрономии, если не говорить о самых требовательных из них, однако этот метод не следует использовать для навигации. Например, время восхода и захода Солнца определяется с точностью до одной минуты, а положение Луны — до одной пятой градуса.

Отвечая на письма и просьбы читателей, я включил во второе издание довольно большой дополнительный материал. Исправлены также замеченные ошибки (хотя нет сомнений, что в этом издании обнаружатся новые) и, кроме того, данные для орбитальных расчетов отнесены к эпохе 1980 январь 0,0.

Я весьма признателен всем, кто взял на себя труд сообщить мне свои предложения, замечания и поправки, в частности С. Хэту, Е. Р. Вуду и С. Гарвею (который составил номограмму для решения уравнения Кеплера). Я хотел бы также выразить благодарность и признательность авторам, чьи книги я прочел и чьи идеи заимствовал, в особенности Жану Меусу («Астрономические формулы для калькуляторов») и В. Шредеру («Практическая астрономия»).

Я приношу также благодарность д-ру Энтони Уинтеру,

который предложил мне написать эту книгу, г-же Данн, чье мастерство машинистки делает ее любимицей каждого автора, д-ру Ги Пулей, который прочитал рукопись и дал множество полезных советов, и д-ру Саймону Миттону, старшему редактору Cambridge University Press, вложившему так много труда в эту книгу

Приведенные в книге примеры считались при помощи карманного калькулятора Hewlett Packard HP67

*Посвящается ФД
и Пикли*

Об этой книге и как ею пользоваться

Мы часто задаем вопросы: «а будет ли виден в этом месяце Меркурий?» или «какова фаза Луны в следующий вторник?» или даже «смогу ли я наблюдать затмение в Бостоне?». Возможно, вам удастся найти ответ в газете или посмотреть в библиотеке *Астрономический ежегодник*. Может быть, вы даже получаете какой-либо астрономический журнал, содержащий нужные сведения. Но я подозреваю, что вам не придет в голову сесть и рассчитать все это самому, хотя в наш век карманной микроминиатюризованной интегральной электроники выполнить такие расчеты под силу каждому. Даже если вы не слишком сведущи в математике, вы сможете найти ответ почти любой заинтересовавшей вас астрономической задачи. Нужны всего лишь эта книга, калькулятор, лист бумаги, карандаш и простая линейка. Следуя шаг за шагом несложной инструкции из параграфа, посвященного вашей задаче, вы получите ответ.

Ваш калькулятор не должен быть слишком сложным и дорогим, но, с другой стороны, он должен выполнять не только четыре арифметических действия. Как минимум, калькулятор должен давать синус, косинус, тангенс (и обратные им функции) для любого угла, выраженного в градусах или радианах (не пользуйтесь калькуляторами, работающими в ограниченном диапазоне углов!). Ваш калькулятор должен также давать квадратные корни и логарифмы чисел. Другие возможности не очень важны, хотя, конечно, они облегчают вычисления. Например, очень полезно наличие нескольких регистров памяти, в которых можно хранить промежуточные результаты. Если у вас программируемый калькулятор, то вы можете составить программу и выполнять большую часть расчетов автоматически, сберегая время и силы, — с моим калькулятором я так и поступаю.

Сейчас в продаже имеется множество различных

калькуляторов, и цены на них, по-видимому, продолжают снижаться. Разумеется, с более «умелым» устройством вам будет работать гораздо легче. Выбирая калькулятор, не очень прислушивайтесь к аргументам о преимуществах той или иной логической схемы, заложенной в его устройство. Каждая имеет свои достоинства, и любая позволяет проводить вычисления одинаковой сложности. Важно тщательно прочесть инструкцию и досконально изучить ваш новый калькулятор, чтобы быстро и точно вести расчеты. Убедитесь, что вы «чувствуете» клавиатуру и что однократное нажатие клавиши приводит к появлению на индикаторе одной цифры, а не нескольких, как бывает, когда калькулятор отзывается на дрожащее или слабое нажатие. Наконец, обратите внимание на дополнительные возможности, которые могут оказаться полезными — например на клавишу преобразования времени или угла, выраженного в часах, минутах и секундах, в десятичные доли часа; клавишу, посредством которой любой угол (положительный или отрицательный) переводится в интервал $0—360^\circ$, и клавишу преобразования прямоугольных координат в полярные (ее можно использовать для исключения многозначности при вычислениях с круговыми функциями).

Повторяя вычисления в рабочих примерах, приведенных в книге, не тревожьтесь, если последняя значащая цифра в ваших расчетах не совпадает с моей. Это обычно бывает связано с различием внутренней точности наших калькуляторов (т. е. числом значащих цифр, с которыми оперирует калькулятор). Если внутренняя точность вашего калькулятора семь или восемь значащих цифр, ошибка конечного результата будет достаточно мала. Здесь уместно сказать несколько слов о микропроцессорах; эти устройства, подобно всем вычислительным системам, требуют использования языка программирования. Многие языки для относительно маломощных вычислительных систем (например, Бейсик) используют для превращения десятичного числа в двоичную форму четыре байта, что дает точность всего лишь в шесть или в лучшем случае семь значащих цифр. Приходится принимать специальные меры, чтобы ошибки округления не оказались существенными.

Что же нужно делать, имея в руках письменные принадлежности, калькулятор и эту книгу? Разберем в качестве примера задачу об определении времени восхода Луны. Обратимся к оглавлению; оно отошлет нас к § 66, где вы найдете краткие пояснения и инструкцию с детально разобранным примером. Чтобы выполнить расчет, даже не обязательно читать все пояснение. Во всяком случае, я стремился сделать описания по возможности краткими и не пытался выводить формулы. Если вас интересует, как эти формулы получены, следует обратиться к учебникам по сферической астрономии, таким, например, как превосходный курс сферической астрономии У. Смарта (Cambridge University Press, 1977). После выполнения соответствующей инструкции запишите ее номер и полученный результат, как это обычно делается. Это поможет вам следить за ходом работы, а затем и при проверке результата. Если вы будете недостаточно методичны, верное решение задачи может оказаться недостижимым.

Во многих случаях в ходе вычислений вам придется обращаться к другим разделам. Например, второй шаг операции «Восход Луны» отошлет вас к § 62. Выполните инструкцию этого параграфа и вернитесь обратно, чтобы выполнить следующую операцию — 3. Удобно иметь несколько полосок бумаги и использовать их в качестве закладок.

Эта книга, разумеется, не предназначена для замены Астрономического ежегодника. Вряд ли кому-либо удастся конкурировать со сложными вычислительными машинами, используемыми для его составления. Однако точность описанных в книге методов достаточна в большинстве случаев, когда простота важнее точного определения n -го знака результата. Если в вашем распоряжении имеется вычислительная машина, можно воспользоваться книгой и составить программы, позволяющие воспроизводить на экране дисплея события, развертывающиеся в Солнечной системе, с точностью, превосходящей разрешение экрана. Но многие из нас получают достаточно большое удовлетворение, рассчитывая ход светил и предсказывая астрономические явления почти со сказочной точностью с помощью обычного карманного калькулятора.

Время

Астрономы всегда имеют дело со временем и его измерением. Если вы читали какой-либо учебник по астрономии, относящийся к этой проблеме, вы наверняка были озадачены бесконечным на первый взгляд разнообразием видов времени и их определений. Существует всемирное и среднее гринвичское время, истинное звездное время и среднее звездное время, эфемеридное время, местное время и среднее солнечное время, причем здесь упомянута лишь небольшая доля различных систем счета времени. Кроме того, существует звездный год, тропический год, бесселев год и аномалистический год. А есть ли у вас четкое представление о различии юлианского и григорианского календарей?! (Определения всех этих понятий приведены в словаре терминов, в конце книги.)

Каждая из перечисленных единиц измерения времени необходима. И все они имеют точные определения. К счастью, однако, обычно приходится иметь дело лишь с небольшим числом систем счета времени, поскольку расхождения между ними проявляются только тогда, когда необходима очень большая точность.

§ 1. Календарь

Календарь дает нам возможность вести отсчет течения времени при помощи подразделения года на месяцы, недели и дни. Грубо говоря, месяц — это время, за которое Луна совершает один полный оборот по орбите вокруг Земли, причем в течение этого периода происходит смена четырех фаз, или четвертей, Луны, каждая из которых длится неделю. А год — это время, за которое Земля совершает один полный оборот по орбите вокруг Солнца. По общепринятому соглашению считается, что неделя

содержит семь дней, месяц — от 28 до 31 дня (табл. 1) и год — 12 месяцев. Число и месяц однозначно определяют любой день года.

Трудность такого счета дней в году заключается в том, что гражданский (календарный) год всегда содержит целое число суток, в то время как Земля совершает один полный оборот по орбите вокруг Солнца за 365,2422 суток. (Эта величина называется *тропическим годом*; определение см. в словаре терминов). Если бы мы не учитывали этого факта и считали, что каждый год состоит ровно из 365 дней, то наша система счета времени все более и более отставала бы от реального движения Земли, причем ошибка накапливалась бы со скоростью 0,2422 суток в год. Спустя 100 лет расхождение составило бы 24 дня, а спустя 1500 лет времена года поменялись бы местами, так что в северном полушарии лето было бы в декабре. Ясно, что такая система счета была бы крайне неудобна.

Юлий Цезарь предпринял попытку устранить указанный недостаток путем принятия декрета, согласно которому три последовательных года содержат 365 дней, а следующий за ними *високосный год* — 366 дней, так что всякий раз, как только номер года делится на 4, к февралю добавляется лишний день. В среднем его гражданский год содержит 365,25 суток, что уже довольно близко к величине тропического года (365,2422 суток). В самом деле, по прошествии 100 лет ошибка не превышает 1 дня. Такая система счета времени, называемая *юлианским календарем*, успешно применялась на протяжении многих столетий до 1582 г., когда опять всплыло значительно расхождение между датами и соответствующими време

Таблица 1

Январь	31	Июль	31
Февраль	28 (или 29 в високосном году)	Август	31
Март	31	Сентябрь	30
Апрель	30	Октябрь	31
Май	31	Ноябрь	30
Июнь	30	Декабрь	31

нами года. Тогда папа Григорий XIII подправил существующий календарь, исключив из него дни с 5 по 14 (включительно) октября 1582 г., чтобы восстановить соответствие между гражданским и тропическим годом, и введя правило пропуска трех дней каждые 400 лет. Согласно его улучшенному календарю, года, содержащие целое число сотен (например, 1700, 1800 и т. п.) считаются високосными только в том случае, если они делятся на 400.

Эта система счета времени, называемая григорианским календарем, является сегодня наиболее распространенной. 400 гражданских лет григорианского календаря содержат $400 \cdot 365 + 100 - 3 = 146\,097$ дней. Таким образом, средняя продолжительность гражданского года составляет $146\,097/400 = 365,2425$ суток, что очень близко к продолжительности тропического года.

§ 2. Предвычисление пасхи

Пасхальное воскресенье — день, по которому устанавливаются также такие переходящие церковные праздники, как троица и духов день, — обычно бывает в первое воскресенье спустя две недели после первого полнолуния, наступившего после 21 марта. (Более точное определение можно найти в книге «The Explanatory Supplement to the Astronomical Ephemeris and American Ephemeris and Nautical Almanac».) Дату пасхального воскресенья можно вычислить с помощью таблиц и описания к ним, приведенных, например, в «Book of Common Prayer» (1662), или пользуясь одним из нескольких методов, придуманных на протяжении многих веков различными математиками. Здесь будет описан созданный в 1876 г. метод, который впервые был опубликован в «Butcher's Ecclesiastical Calendar» и применим для любого года григорианского календаря (т. е. начиная с 1583 г. и далее). Он основан на многократном использовании результатов деления одного числа на другое, причем рассматриваются целая часть частного и остаток. В результате деления на микрокалькуляторе высвечивается ряд цифр, разделенных десятичной точкой. Цифры, расположенные перед десятичной точкой, образуют целую часть, цифры за десятичной точкой образуют дробную часть. Остаток мож-

но найти по дробной части, умножая ее на делитель (т. е. на то число, на которое только что делили) и округляя результат до ближайшего целого. Например, $2000/19 = 105,2631579$. Целая часть равна 105, дробная часть

Пример 2

Инструкция			Результат
	Целая часть	Остаток	
1. Разделить номер года на 19	—	a	$\frac{2000}{19} = 105,2631579$ $a = 5$
2. Разделить номер года на 100	b	c	$\frac{2000}{100} = 20,000000$ $b = 20 \quad c = 0$
3. Разделить b на 4	d	e	$d = 5 \quad e = 0$
4. Разделить $b + 8$ на 25	f	—	$= 1$
5. Разделить $b - f + 1$ на 3	g	—	$g = 6$
6. Разделить* $19a + b - d - g + 15$ на 30	—	h	$19 + b - d - g + 15 = 119$ $h = 29$
7. Разделить c на 4	i	k	$i = 0 \quad k = 0$
8. Разделить $32 + 2e + 2i - h - k$ на 7	—	l	$32 + 2e + 2i - h - k = 3,$ $l = 3$
9. Разделить $a + 11h + 22l$ на 451	m	—	$a + 11h + 22l = 390,$ $m = 0$
10. Разделить $h + l - 7m + 114$ на 31	n	p	$h + l - 7m - 114 = 146,$ $n = 4, \quad p = 22$
11. Число, на которое приходится пасхальное воскресенье, равно $p + 1$ Порядковый номер месяца равен n ($n = 3$ соответствует марту, $n = 4$ — апрелю)			$p + 1 = 23$
Итак, пасхальное воскресенье в 2000 г. приходится на			23 апреля

* Запись $19a$ следует понимать как 19 , умноженное на a (в данном случае $19 \cdot 5 = 95$)

Таблица 2А

Число суток, прошедших от эпохи 1980 январь 0,0
до начала соответствующего года

1980*	0	1990	3653
1981	366	1991	4018
1982	731	1992*	4383
1983	1096	1993	4749
1984*	1461	1994	5114
1985	1827	1995	5479
1986	2192	1996*	5845
1987	2557	1997	6210
1988*	2922	1998	6575
1989	3288	1999	6940

Замечание Звездочкой отмечены високосные года.

Таблица 2Б

Число дней года, истекших к началу данного месяца

	Обычный год	Високосный год
Январь	0	0
Февраль	31	31
Март	59	60
Апрель	90	91
Май	120	121
Июнь	151	152
Июль	181	182
Август	212	213
Сентябрь	243	244
Октябрь	273	274
Ноябрь	304	305
Декабрь	334	335