Проф. С. Блажко

Способы определения поправки часов и широты места по наблюдениям звезд на равных высотах

Государственное технико-теоретическое издательство
1933

Проф. С. Н. Блажко

Способы определения поправки часов и широты места по наблюдениям звезд на равных высотах

Государственное технико-теоретическое издательство
Москва 1933 Ленинград

ТТ 15—5—2

Читатель! Сообщите отзыв об этой книге (Ваши замечания о ее недостатках и желательных изменениях в следующем издании) по адресу: Москва, Мясницкая, 20, Государственное технико-теоретическое издательство (секция организационно-массовой работы)

Редактор А. К. Беляев Техред В. Ф. Зазульская Выпускающий Н. А. Сахаров
Сдано в производство 29/VI 1932 г. Подписано к печати 9/XII 1932 г.
Уполномоченный Главлита № В—39571.
Формат 82×110¹/₃₂. Печ. зн. в листе 47000. 4¹/₂ печ. л. Зак. № 5777. Тираж 3000

Фабрика книги «Красный пролетарий», Москва, Краснопролетарская, 16.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В последние годы все в большей и большей мере входят в практику такие способы определения поправки часов и широты места наблюдения, при которых не требуется точных отсчетов кругов, но при которых различные звезды наблюдаются очень близко на одной и той же высоте, причем, однако, точного измерения этой высоты не требуется. Вследствие этого отпадают все ошибки измерения, связанные с точными отсчетами кругов, т. е. ошибки делений кругов и ошибки микроскопов-микрометров, и полностью или, по крайней мере, в очень большой степени исключается влияние рефракции на результаты наблюдений, вследствие чего вычисление влияния рефракции либо совершенно отпадает, либо сводится к очень простому вычислению. Кроме того отпадает влияние гнутия трубы и изменения расположения отдельных частей инструмента, например положения отражающей призмы в ломаной трубе, а вместе с тем и те личные ошибки наблюдателя, которые зависят от зенитного расстояния.

Эти способы суть:

1) Для определения поправки часов: а) способ соответственных высот, в котором одно и то же светило наблюдается на равных высотах до и после меридиана, предложенный очень давно; б) вытекающий из него способ русского геодезиста Н. Я. Цингера, предложенный им в 1874 г.

2) Для определения широты: а) способ американского геодезиста А. Талькотта, предложенный им в 1857 г. (высоты наблюдаемых звезд не вполне равны, но разнятся между собой на немного, 10—20 мин. дуги); б) способ русского геодезиста М. Певцова, предложенный им в 1887 г., который вместе со способом Цингера получил особо широкое применение в астрономо-геодезических работах в СССР.

3) Для совместного определения широты и поправки часов способ, идея которого была предложена К. Ф. Гауссом в 1808 г., но который вошел в практику лишь в нынешнем столетии после изобретения прибора, специально приспособленного для этой цели, так называемой призменной астролябии.

Настоящая брошюра содержит изложение этих способов. Автор старался дать простое, но точное изложение входящих сюда вопросов, не ограничиваясь слишком кратким изложением сущности их, но и не доводя изложения до подобия инструкции к наблюдениям и их обработке.

Способы Цингера и Певцова давно уже вошли в практику русских астрономо-геодезических работ; все более находит себе применение способ Талькотта; способ призменной астролябии еще не применяется в СССР в заметной мере; автор по предложению Государственного института геодезии и картографии перевел книгу Knox Shaw and R. Boll «Prismatic astrolaby» и составил теоретические объяснения к ней. Книга должна появиться в печати; поэтому здесь этот способ излагается относительно не в большем развитии, чем способы Цингера, Талькотта и Певцова.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава I

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПРАВКИ ЧАСОВ

§ 1. Способ равных высот в применении к одной звезде

Положим, что мы при помощи целесообразного инструмента наблюдаем одну и ту же звезду до и после меридиана на каком-нибудь, но в обоих случаях одинаковом, зенитном расстоянии, не заботясь, однако, о точном измерении его.

Пусть координаты звезды суть α, δ; моменты по звездному хронометру, когда звезда находится на этом зенитном расстоянии на восток и на запад от меридиана, T_0 и T_w; поправки хронометра в эти моменты ΔT_0 и ΔT_w. Допуская, что рефракция при обоих наблюдениях одинакова и что изменениями α и δ за время от T_0 до T_w можно пренебречь, заключаем, что не только видимые, но и истинные, т. е. свободные от влияния рефракции, зенитные расстояния в оба момента одинаковы, и следовательно, равны и часовые углы, считаемые от меридиана в обе стороны, т. е.

$$\alpha - (T_0 + \Delta T_0) = T_w + \Delta T_w - \alpha,$$

откуда

$$^1/_2\,(\Delta T_0 + \Delta T_w) = \alpha - {}^1/_2\,(T_0 + T_w).$$

Допуская, что ход хронометра равномерен, заключаем, что $^1/_2\,(\Delta T_0 + \Delta T_w)$ равно поправке хронометра в момент $^1/_2\,(T_0 + T_w)$, и следовательно, поправка хронометра для момента $^1/_2\,(T_0 + T_w)$ получается по формуле (2).

Заметим, что если наблюдать прохождение звезды через горизонтальную нить (или нити) инструмента в точке пересечения ее с вертикальной нитью и отсчитывать, кроме показаний хронометра, также горизонтальный круг, то можно получить, пренебрегая ошибками установки инструмента, также точку меридиана на круге, потому что она равна просто полусумме полученных отсчетов горизонтального круга.

Это очень простой по идее способ определения поправки часов, так как он не требует измерения высоты и, следовательно, отсчета круга, но он очень не экономичен в смысле затраты времени, потому что звезду нужно наблюдать подальше от меридиана, когда скорость изменения ее высоты достаточно велика, лучше всего, как и при определении времени по абсолютным высотам, близ первого вертикала; поэтому между двумя наблюдениями должно протекать несколько часов, и при неустойчивой ясности неба есть риск, что второе наблюдение не состоится из-за облаков, а следовательно, и первое будет напрасно.

Поэтому на практике эта идея применяется лишь в тех случаях, когда с одной стороны, при недостаточной квалификации наблюдателя требуется возможно более простой способ, а с другой, — не требуется большой точности, так что ошибками инструмента и изменением рефракции можно пренебречь. Специально этот способ применяется к наблюдениям Солнца при помощи очень простого прибора, так называемого солнечного треугольника или солнечного кольца, идея которого восходит к XVI в., который потом неоднократно вновь предлагался для подобных целей в русской литературе проф. С. П. Глазенапом в форме солнечного кольца. В применении к Солнцу приходится учитывать изменение склонения Солнца за несколько часов от T_0 до T_w, так как оно может быть значительно больше, чем изменение рефракции за это время и изменение влияния ошибок инструмента на результат.

Вследствие изменения склонения Солнца между моментами T_0 и T_w средний момент $\frac{1}{2}(T_0+T_w)$ не будет равен моменту прохождения Солнца через меридиан, т. е истинному полудню, и потребуется к $\frac{1}{2}(T_0+T_w)$ придать некоторую поправку — y, зависящую, конечно, от скорости изменения склонения Солнца. Тогда $\frac{1}{2}(T_0+T_w)-y$ будет момент истинного полудня по хронометру, а с другой стороны, этот момент по среднему солнечному времени равен 12^h + уравнение времени, причем под уравнением времени разумеется разность (среднее время — истинное время); оно берется из астрономического календаря. Следовательно, поправка хронометра в полдень равна:

$$\Delta T_m = \tfrac{1}{2}(\Delta T_0 + \Delta T_w = 12^h + \text{ур. вр.} - (\tfrac{1}{2}(T_0+T_w) - y) =$$
$$= 12^h + \text{ур. вр.} - \tfrac{1}{2}(T_0+T_w) + y$$

Чтобы найти y, нужно выразить формулой, что зенитные расстояния в моменты T_0 и T_w равны; обозначая склонение Солнца в местный полдень через δ, положим, что склонения Солнца в моменты T_o и T_w равны $\delta - \Delta\delta_0$ и $\delta + \Delta\delta_w$.

Обозначим общее зенитное расстояние через z, широту места через φ; часовые углы, считая их от меридиана к востоку и к западу, суть:

$$t_o=\frac{1}{2}(T_0+T_w)-y-T_0=\frac{1}{2}(T_w-T_0)-y$$

и
$$t_w=\frac{1}{2}\ (T_w-T_0)+y;$$

и потому, обозначая $\frac{1}{2}\ (T_w-T_0)$ через t, получаем:

$$\cos z=\sin\varphi\ \sin(\delta-\Delta\delta_0)+\cos\varphi\ \cos(\delta-\Delta\delta_0)\cos(t-y)=$$
$$=\sin\varphi\sin(\delta+\Delta\delta_w)+\cos\varphi\ \cos(\delta+\Delta\delta_w)\ \cos(t+y).$$

Так как $\Delta\delta$, а следовательно и y малы (наибольшая скорость изменения склонения Солнца равна $24'$ в сутки, т. е. $1'$ в час), то при разложении синусов и косинусов сумм и разностей можно принять $\sin\Delta\delta=\Delta\delta$, $\cos\Delta\delta=1$ и $\sin y=y$, $\cos y=1$, а потому: $\sin\varphi\ (\sin\delta-\Delta\delta_0\cos\delta)+\cos\varphi\ (\cos\delta+\Delta\delta_0\sin\delta)\ (\cos t+y\sin t)=$ $=\sin\varphi\ (\sin\delta+\Delta\delta_w\cos\delta)+\cos\varphi\ (\cos\delta-\Delta\delta_w\sin\delta)\ (\cos t-y\sin t)$.

Раскрыв скобки и пренебрегая произведениями $\Delta\delta y$, как малыми второго порядка, получаем:

$$\sin\varphi\ \sin\delta-\Delta\delta_0\ \sin\varphi\ \cos\delta+\cos\varphi\ \cos\delta\ \cos t+$$
$$+\Delta\delta_0\cos\varphi\ \sin\delta\ \cos t+y\ \cos\varphi\ \cos\delta\ \sin t=\sin\varphi\ \sin\delta+$$
$$+\Delta\delta_w\sin\varphi\ \cos\delta+\cos\varphi\ \cos\delta\ \cos t-$$
$$-\Delta\delta_w\cos\varphi\ \sin\delta\ \cos t-y\ \cos\varphi\ \cos\delta\ \sin t.$$

Отсюда, по приведении подобных членов, получаем:

$$2y\ \cos\varphi\ \cos\delta\ \sin t=(\Delta\delta_0+\Delta\delta_w)(\sin\varphi\ \cos\delta-$$
$$-\cos\varphi\ \sin\delta\ \cos t),$$

или, обозначая половину изменения склонения Солнца между моментами наблюдений, т. е. $\frac{1}{2}(\Delta\delta_0+\Delta\delta_w)$, через $\Delta\delta$, находим:

$$y=\Delta\delta\ \left(\frac{\operatorname{tg}\varphi}{\sin t}-\frac{\operatorname{tg}\delta}{\operatorname{tg}t}\right).$$

Здесь, как всегда в подобных аналитических выражениях, y и $\Delta\delta$ выражены в радианах; чтобы выразить их в секундах дуги, нужно умножить обе части на число секунд дуги в радиане, т. е. на

206 264″, 8; обозначая y и $\Delta\delta$, выраженные в секундах дуги, через y'' и $\Delta\delta''$, получим:

$$y'' = \Delta\delta'' \left(\frac{\operatorname{tg}\varphi}{\sin t} - \frac{\operatorname{tg}\delta}{\operatorname{tg}t}\right).$$

$\Delta\delta$ естественно оставить выраженной в секундах дуги, но y нужно иметь в секундах времени; нетрудно сообразить, что если y^s обозначает число секунд времени в величине y, то $y'' = 15\ y^s$ и следовательно,

$$y^s = \frac{\Delta\delta''}{15}\left(\frac{\operatorname{tg}\varphi}{\sin t} - \frac{\operatorname{tg}\delta}{\operatorname{tg}t}\right).$$

Изменение склонения Солнца можно считать за время $(T_w - T_o) = 2t$ равномерным; поэтому, обозначая через $\frac{d\delta''}{dt^h}$ скорость изменения склонения Солнца в секундах дуги за 1 час и через t^h число часов, содержащихся в t, получаем:

$$\Delta\delta'' = \frac{d\delta''}{dt^h} \cdot t^h,$$

и потому

$$y^s = \frac{1}{15}\frac{d\delta''}{dt^h} t^h \left(\frac{\operatorname{tg}\varphi}{\sin t} - \frac{\operatorname{tg}\delta}{\operatorname{tg}t}\right).$$

Если обозначить через t° число градусов, содержащихся в угле t, то нетрудно сообразить, что $t^h = \frac{1}{15}t^\circ = \frac{1}{15}\cdot t\cdot 57{,}3$, где 57,3 есть приблизительно число градусов в радиане.

Поэтому

$$y^s = \frac{1}{15}\cdot\frac{d\delta''}{dt^h}\cdot\frac{57{,}3}{15}\left(\frac{t}{\sin t}\operatorname{tg}\varphi - \frac{t}{\operatorname{tg}t}\cdot\operatorname{tg}\delta\right) =$$

$$= \frac{1}{3{,}927}\frac{d\delta''}{dt^h}\left(\frac{t}{\sin t}\operatorname{tg}\varphi - \frac{t}{\operatorname{tg}t}\operatorname{tg}\delta\right).$$

Наконец, если через μ обозначить изменение δ за 48 час., то

$$y^s = \frac{\mu}{720}\left(\frac{t^h}{\sin t}\operatorname{tg}\varphi - \frac{t^h}{\operatorname{tg}t}\operatorname{tg}\delta\right) = \frac{\mu}{188{,}5}\left(\frac{t}{\sin t}\operatorname{tg}\varphi - \frac{t}{\operatorname{tg}t}\operatorname{tg}\delta\right).$$

Для различных выражений y^s составлены и помещены в астрономических таблицах значения коэфициентов при $\operatorname{tg}\varphi$ и $\operatorname{tg}\delta$ с целью облегчить обработку наблюдений.

Вопросы.

1) В точности ли верно, что часовые углы Солнца суть $\frac{1}{2}(T_w - T_0) \pm y$? Чем здесь пренебрегается?

2) В какие дни года скорость изменения склонения Солнца наибольшая и каково ее числовое значение? Не можете ли сообразить это без астрономического календаря, зная наклонение эклиптики к экватору?

3) Если Солнце в полдень находится на экваторе, то на какой широте $y = 0$?

4) Если Солнце в полдень находится в точке солнцестояния, то на какой широте $y = 0$?

5) Если $\varphi = 90°$, то y обращается в бесконечность; что это обозначает? Отв. Если наблюдатель находится на земном полюсе, то равные высоты Солнца бывают в дни, равноотстоящие от дня солнцестояния, и вся теория для этого случая не годится.

6) Вычислить наибольшее y для широты $\varphi = 89°$, полагая для простоты вычислений, что $\frac{t}{\sin t}$ и $\frac{t}{\operatorname{tg} t}$ равны единице.

7) Вычислить (с помощью астрономического календаря и без него) наибольшую величину

$$\frac{1}{3{,}93} \cdot \frac{d\delta''}{dt^h}. \qquad \text{Отв. Около } 3^s.$$

Основы способа Цингера

§ 2. Можно было бы сделать способ определения поправки часов по наблюдению равных высот двух звезд очень практичным, если бы можно было найти на небе такие пары звезд, у которых в каждой паре склонения обеих звезд были бы равны, а разность прямых восхождений такова, чтобы они проходили через одно и то же зенитное расстояние, близ первого вертикала, одна на востоке, другая на западе, вскоре (через несколько минут) одна после другой. Пусть α_0, δ—координаты восточной звезды, α_w, δ—координаты западной; T_0 и T_w—моменты, когда та и другая достигают некоторой, в точности неизвестной, но одинаковой высоты; ΔT—поправка хронометра в это время; так как T_0 отличается от T_w лишь на несколько минут, то не трудно учесть изменение ΔT за это время; суточный ход хронометра всегда достаточно хорошо известен для этого или так мал, что можно пренебречь им за несколько минут; по той же причине изменение рефракции тоже может быть лишь незначительным.

При равенстве склонений звезд их часовые углы, считаемые от меридиана к востоку и к западу, должны быть равны в моменты наблюдений, и следовательно,

$$\alpha_0 - (T_0 + \Delta T) = (T_w + \Delta T) - \alpha_w,$$

откуда

$$\Delta T = \frac{1}{2}(\alpha_0 + \alpha_w) - \frac{1}{2}(T_0 + T_w).$$