

К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВЫСОТЫ ТЕНИ ТВЕРДОЙ ЗЕМЛИ

П. Д. СУХАРЕВСКИЙ

1. Для решения ряда задач физики атмосферы большое значение имеет определение высоты h_s точки пересечения луча зрения с границей тени Земли. Очевидно, что до высот порядка десяти радиусов Земли тень ее, без учета влияния атмосферы, можно было бы считать резкой и цилиндрической.

В случае сферической атмосферы поправки за поглощение и рефракцию давали бы для одинаковых высот одинаковые отклонения Δh в любом направлении. Поправки для истинной атмосферы также удобнее вносить по отношению к h_s . Точная формула для h_s имеется, например, у Дж. Чемберлена [1]. Она очень громоздка для употребления.

На рис. 1 изображена схема определения высоты h_s по Чемберлену. Пусть R_E — радиус Земли. Опишем геоцентрическую сферу радиуса R_E . Обозначим на этой сфере место наблюдения точкой C . OC (где O — центр Земли) даст направление на зенит. Пусть CE — луч зрения, а E — точка пересечения луча зрения с границей тени твердой Земли. Соединив E с центром Земли прямой, найдем на ее пересечении со сферой точку B . Подсолнечную точку на сфере обозначим буквой A . Через точки A , B и C проведем дуги больших кругов. Точку пересечения дуги AB с терминатором обозначим буквой D .

Тогда из треугольника ODE следует:

$$h_s + R_E = \frac{R_E}{\cos \beta}$$

или

$$\frac{R_E}{R_E + h_s} = \cos \beta.$$

Из сферического треугольника ABC имеем

или

$$\cos(90^\circ + \beta) = \cos \gamma \cos(90^\circ + \alpha) + \sin \gamma \sin(90^\circ + \alpha) \cos \Delta \phi$$

$$\sin \beta = \cos \gamma \sin \alpha - \sin \gamma \cos \alpha \cos \Delta \phi.$$

Далее, из OCE :

$$\gamma = z - \theta_s,$$

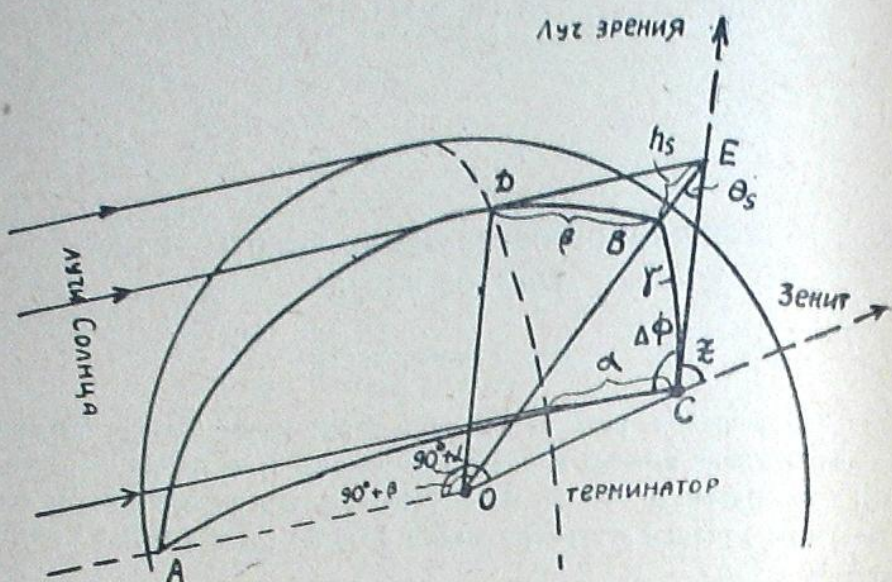


Рис 1

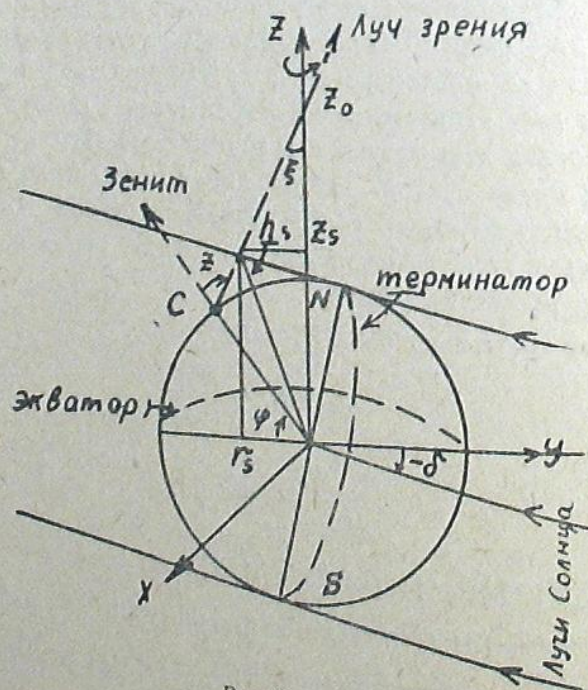


Рис. 2.

а из формулы синусов получим формулу ван Райпа

$$\sin \theta_s = \frac{R_E}{R_E + h_s} \sin z \quad \text{или} \quad \sin \theta_s = \cos \beta \sin z.$$

Итак, система уравнений замыкается (более подробно см. в [1]; там же есть выражения для $\Delta\phi$ и α).

Формула, которая получается при решении этой системы уравнений и выражений для $\Delta\phi$ и α , очень мало упрощается при наблюдении в меридиане. Это происходит потому, что в окончательном (полном) выражении для h_s обязательно появляются дополнительные корни, которые возникают в результате оперирования с тригонометрическими функциями углов (а не с самими углами), что равносильно произвольному возведению в квадрат части исходных данных. Поэтому удобнее сразу исходить из другой геометрии. Действительно, рассмотрим рис. 2, где изображено сечение Земли (с местом наблюдения C) и ее тени в момент нижней кульминации для точки C.

Пересечение луча зрения с осью координат z (обозначение зенитного угла также буквой z здесь не вносит путаницы; ось совпадает с осью суточного вращения Земли; N и S — северный и южный полюсы) даст вершину конуса зрения, если луч зрения считать образующей этого конуса.

Выберем координаты XY таким образом, чтобы ось цилиндра тени Земли лежала в плоскости YZ. Положительное направление угла склонения Солнца δ будем отсчитывать от оси Y против часовой стрелки. Тогда уравнение цилиндра тени в координатах XYZ будет:

$$x^2 + z^2 \cos^2 \delta - yz \sin 2\delta + y^2 \sin^2 \delta = R_E^2.$$

Уравнение конуса в цилиндрических координатах:

$$\begin{aligned} x &= r \sin \theta \\ y &= -r \cos \theta \\ z &= z, \end{aligned}$$

где $\theta = \tau - 12^h$, τ — часовой угол истинного Солнца.

Уравнение конуса:

$$z_0 - z = r \operatorname{ctg} \xi,$$

где

$$\xi = z + \varphi - 90^\circ; \quad z_0 = R_E (\sin \varphi + \cos \varphi \operatorname{ctg} \xi) = R_E \eta.$$

Уравнение цилиндра в этих координатах:

$$z^2 \cos^2 \delta + zr \sin 2\delta \cos \theta + r^2 (\sin^2 \delta \cos^2 \theta + \sin^2 \theta) = R_E^2. \quad (2)$$

Решая совместно уравнения (1) и (2), получим:

$$\begin{aligned} b = \frac{r_s}{z_0} &= \frac{\cos \delta \cdot \beta(\theta, \delta)}{\sin^2 \theta + \beta^2(\theta, \delta)} \left\{ 1 - \left[1 + \right. \right. \\ &\left. \left. + \left(\frac{1}{\eta^2 \cos^2 \delta} - 1 \right) \left(\frac{\sin^2 \theta}{\beta^2(\theta, \delta)} + 1 \right) \right]^{1/2} \right\} \quad (3) \end{aligned}$$

AA — ось для задания азимутального угла наблюдения;

ZZ — ось для задания зенитного угла;

TT — ось вращения цилиндра тени.

На каждой из осей, кроме последней, поставим лимбы. Образующую цилиндра проградуируем в величинах h_s .

На Абастуманской обсерватории автором настоящей статьи вначале была сделана модель такого прибора. Оказалось, что при $R_{E, np} \approx 32$ см для точности в определении h_s 5% на лимбах достаточно иметь градусные деления. Действительно, на таких лимбах можно заметить ошибку до $0,1^\circ$. Пять лимбов в таком случае дадут ошибку $< 0,5^\circ$.

На рис. 4 дан график градуировки шкалы прибора в h_s км (для $R_{E, np} = 32,4$ см). График показывает, что на малых высотах масштаб высоты тени растянут, поэтому ошибка в $0,5^\circ$ даст незначительные отклонения измеренной величины Δh . Действительно, несложные вычисления дают в этом случае ошибку меньше 10 км для высот до 200 км и меньше 20 км для $h_s = 500$ км. Для того, чтобы получить $\Delta h_{max} = \pm 2-3$ км для $h_s = 100$ км достаточно на лимбах иметь деления в $1/6^\circ$ *

Покажем принцип градуировки шкалы. Обозначим на рис. 3: O — центр Земли; C — место наблюдений; D — основание перпендикуляра, опущенного из точки O к образующей (тогда $OD = R_E$; CB — луч зрения. Из треугольника OBD найдем:

$$DB = [(R_E + h_s)^2 - R_E^2]^{1/2} = R_E \operatorname{tg} \left(\arccos \frac{R_E}{R_E + h_s} \right).$$

Из подобия треугольников OBD и $(OBD)_{np}$:

$$DB_{np} = DB \frac{R_{E, np}}{R_E}.$$

Здесь AB , R_E , h_s — действительные размеры, а значком „ np “ обозначены те же величины на приборе.

Для того, чтобы луч зрения CB пересек образующую AB , удобнее образующую оставить неподвижной, но вращать остальную часть прибора вокруг оси TT .

Для оптической схемы M можно использовать случайный конденсор и объектив небольших размеров. Крест нитей можно сделать любым доступным способом. Автором он был нарисован тушью и отснят на фотопленку. Источник света — лампочка от 3 х до 12 в.

Для удобства определения h_s , при гидировании за произвольным участком неба, нужно к прибору добавить приспособление в виде параллелограмма, одну сторону которого будет представлять ось PP , другую — ось AA . С третьей стороны, параллельной PP , должен быть неподвижно связан (под нужным углом) луч зрения. Тогда последний будет перемещаться в пространстве параллельно самому себе в течение суток.

* Здесь показана несколько завышенная ошибка, учитывающая неточность других деталей прибора.

Очевидно, что для сохранения постоянным определенного склонения для разных широт места наблюдений можно использовать такое же приспособление, только вместо оси PP необходимо взять ось SN ; то же самое по отношению к эклиптикальной широте для любого места наблюдений — ось TT . Используя два таких приспособления вместе, можно перемещать параллельно самой себе определенную плоскость.

Для уравнивания части прибора, укрепленной на оси AA , необходим противовес. Длина линейки (образующей) достаточна в 100 см (при $R_{E, np} = 32$ см). Для измерения больших высот можно вдоль линейки пустить дополнительный луч света и искать пересечение его с лучом зрения на переносном экране.

Подобное устройство можно использовать и на орбитальных приборах. Для чего:

а) OC — расстояние места наблюдения от центра Земли на приборе нужно сделать переменным. Этого можно достигнуть или элементарным путем — при помощи нити, натянутой вокруг точек, соответствующих полюсам эллипса орбиты, и точки C (угловые координаты точки C будем считать известными, так как они находятся на корабле автоматически), или при помощи электронной следящей схемы по формуле:

$$J = \frac{E}{R_\Sigma (1 - e \cos \varphi_c)} \quad \text{— (уравнение эллипса),}$$

где

$$\frac{E}{R_\Sigma} \sim P = \text{const} \quad \text{для орбиты;}$$

R_Σ — полное электрическое сопротивление линии при $\varphi_c = 90^\circ$;

$J \sim r_c$; φ_c и r_c — координаты точки C в плоскости орбиты;

e — эксцентриситет орбиты.

Сопротивление, пропорциональное $\cos \varphi_c$, можно снять с тонкой калиброванной проволоки с большим удельным сопротивлением, если сделать ее диаметром двух соседних одинаковых колец, вращающихся в разные стороны, что легко достигнуть одной-двумя связывающими их шестеренками. Эти кольца будут перемещать движок такого потенциометра.

б) Так как в рассматриваемом случае высоты незначительны и еще нужно знать расстояние до границы тени по лучу зрения, световой луч удобнее заменить калиброванным стержнем, один конец которого был бы подвижно скреплен с образующей, а другой ходил бы свободно в направляющих точки C .

в) Нужно учесть прохождение точки C через образующую и возможность наблюдения с внешней стороны от границы тени. Этого можно достигнуть формой рычага OC и упругостью деталей, а также использованием схемы триггера для смены азимута наблюдения на 180° .

г) Показания прибора можно снимать автоматически, если использовать длину плечей стержня и линейки в качестве сопротивлений.

д) Очевидно, что настройку прибора по орбите и управление лимбами также нетрудно автоматизировать.

Такой прибор, по-видимому, был бы проще любой электронной схемы, полностью решающей эту задачу.

Август, 1965.

მედიკალინის ჩრდილის სიმაღლის განსაზღვრა

პ. სუხარევსკი

(რეზიუმე)

მიღებულია ზუსტი ფორმულა დედამიწის ჩრდილის სიმაღლის გამოსათვლელად და აღწერილია მარტივი იარაღის სქემა, რომელიც გამოიყენება სიმაღლის განსაზღვრავად.

ON THE SOLID EARTH SHADOW ALTITUDE DETERMINATION

P. D. SOUKHAREVSKY

(Summary)

The paper is concerned with precise formula proposed by the writer for calculating the altitude of solid Earth shadow and with a description of the design for a simple instrument for shadow altitude determination.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Дж. Чемберлен. Физика полярных сияний и излучения атмосферы. 1963, 446.

СПЕКТРЫ МЕРЦАНИЙ НАД АБАСТУМАНСКОЙ ОБСЕРВАТОРИЕЙ

Л. В. КСАНФОМАЛИТИ

Одной из основных характеристик астрономического климата какой-либо местности являются мерцания при наблюдениях небесных светил. Мерцания принято характеризовать частотными и амплитудными спектрами, которые связаны между собой. Опубликованные в литературе материалы [1] показывают зависимость получаемых характеристик как от реальных особенностей астроклимата и от зенитного расстояния светила, так и от поперечника оптики, с которой проводятся измерения. Общий характер зависимости таков, что с ростом диаметра оптики максимум флуктуаций распространяется на все более низкие частоты. Так по измерениям, проводившимся одновременно на двух телескопах с поперечниками оптики 10 и 38 см [2], амплитуда мерцаний составляет менее 10% от максимума уже на частотах выше 100 гц для телескопа 38 см, в то время как для 10 см телескопа она остается почти на постоянном уровне до 300 гц. По данным авторов [3], на инфранизких частотах также наблюдается минимум амплитуды мерцаний, хотя по данным автора [2] такого минимума замечено не было.

Теория этих явлений более или менее известна.

Ниже приводятся данные об измерениях частотного спектра мерцаний, проведенных в Абастуманской астрофизической обсерватории в 1964—65 гг. Целью измерений являлся выбор диапазона частот модуляции, в котором шумы минимальны, для условий Обсерватории. Такой анализ оказывается необходимым для фотоэлектронной поляриметрической и фотометрической аппаратуры, так как выбор частот должен удовлетворять также другим условиям [4].

Исследовался диапазон частот 10—250 гц; на инфранизких частотах измерения не проводились. Частотный спектр фотографировался с экрана анализатора спектра АСЧХ—1; датчиком служил фотометр на фотоумножителе А₁. Частотная характеристика электрического канала корректировалась так, чтобы дробовые шумы темного тока ФЭУ давали гладкий спектр на экране АСЧХ—1. Приводимые регистрограммы изображают амплитуду мерцаний (ординаты) в функции частоты (абсциссы).

По некоторым данным [5] известно, что с увеличением зенитного расстояния амплитуда мерцаний сначала растет, а затем с 45—60° начинает падать. Поэтому целесообразно было исследовать яркие объекты на зенитных расстояниях, соответствующих наилучшим условиям.