

Copyright © 2021 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
 Russian Journal of Astrophysical Research. Series A
 Has been issued since 2015.
 E-ISSN: 2413-7499
 2021. 7(1): 28-34

DOI: 10.13187/rjar.2021.1.28
www.ejournal28.com



Determination of the Linear Parameters of the Planet by Measuring the Angular Diameter

Viktor P. Savinych ^{a, b, *}

^a Moscow State University of Geodesy and Cartography, Russian Federation

^b Russian Academy of Cosmonautics named after K.E. Tsiolkovsky (RACT), Russian Federation

Abstract

The article proposes a technique for determining the linear diameter of a planet by measuring the angular diameters of the planet. Ballistic characteristics of spacecraft motion and phase angle change are used as additional characteristics. The article reflects the general problem of astronomy, space geoinformatics and geodetic astronomy – the determination of linear characteristics through angular measurements. It is recommended to use the concept and model of the information situation in private observations of space bodies. The article offers two options for determining the planet's diameter by angular measurements. The first option is called normal. It describes the situation of a spacecraft moving along a straight line connecting the observation point with the center of the planet. He describes the situation of displacement of the comic apparatus only vertically. The second option for determining the diameter of the planet is called oblique. He describes the situation of displacement of the comic apparatus vertically and horizontally relative to the center of the planet. To solve the problem in the second case, it is recommended to use a change in the phase angle.

Keywords: space research, phase angle, instrumental observations, angular measurements, planet angular diameter, planet linear diameter, normal measurements, oblique measurements, survey basis.

1. Введение

Основным методом наблюдений и измерений в космическом пространстве являются угловые измерения. Соответственно, ряд линейных характеристик становятся угловыми. К таким характеристикам относят угловой диаметр планеты. Угловым диаметром планеты называют угол, под которым наблюдается диаметр планеты из произвольной точки наблюдения (Shingareva, Krasnopevtseva, 2011; Mahoney, 2014). Угловой диаметр планеты есть условная величина. Он меняется в зависимости от приближения или удаления космического аппарата (КА) к поверхности планеты, с которого производят наблюдение или фотосъемку. На практике важны фактические, то есть линейные размеры небесного тела, в частности планет. Большинство планет имеют шарообразную форму. Это условие используется в предлагаемой методике. Космические визуально—инструментальные наблюдения основаны на угловых измерениях и одной из задач космических исследований является преобразование угловых измерений в линейные. В данном варианте предполагаем, что наблюдения осуществляют с применением фотосъемки и фотоснимков, которая

* Corresponding author

E-mail addresses: president@miigaik.ru (V.P. Savinych)

позволяет объективно измерять угловые характеристики. Угловой диаметр планеты можно наблюдать только с относительно близких расстояний. Критерием его наблюдения является критерий из геоинформатики (Савиных, Цветков, 2001), когда точечный объект становится ареальным и приобретает форму. Отсюда возникает целесообразность применения понятия и модели информационная ситуация (Tsvetkov, 2012) в космических исследованиях. Информационная ситуация определяет морфологию объекта и условия применения методик его измерения.

2. Результаты

Нормальный случай приближения к планете

На Рисунках 1 и 2 приведены варианты приближения космического аппарата (КА), с которого производится съемка, к поверхности планеты. Будем использовать понятие информационная ситуация для описания этих вариантов.

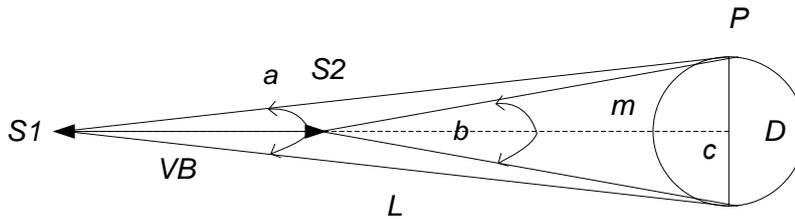


Рис. 1. Синхронная нормальная ситуация приближения к планете

На Рисунке 1 показана точка наблюдения (фотографирования) с борта космического аппарата. Планета (P) имеет линейный диаметр (D), который виден под углом (a) из точки наблюдения до центра планеты из точки наблюдения существует расстояние (L), которое неизвестно. Космический аппарат или точка наблюдения приближается к планете по прямой, соединяющей точку наблюдения ($S1$) с центром планеты (c) и некой точкой (m), лежащей на поверхности планеты. Нормальная ситуация имеет такое название в силу того, что приближение КА происходит по прямой ($S1-c$) на которой лежит еще точка (m). Именно наличие точки поверхности (m) на линии сближения КА с планетой определяет синхронность ситуации. В реальности это означает, что КА приближаясь к планете синхронно вращается с этой планетой. Формально такое движение в пространстве есть движение по спирали, но для относительных расчетов это угловое движение роли не играет. Выделяют две точки наблюдения или фотофиксации ($S1, S2$). Расстояние между точками наблюдения (вертикальный базис VB) измеряют с помощью инерциальных устройств или с помощью простого расчета, зная скорость движения КА по отношению к планете и время между точками наблюдения. В первой точке наблюдения ($S1$) угловой диаметр равен (a), во второй точке наблюдения ($S2$) угловой диаметр равен (b). На Рисунке 2 показана асинхронность ситуации.

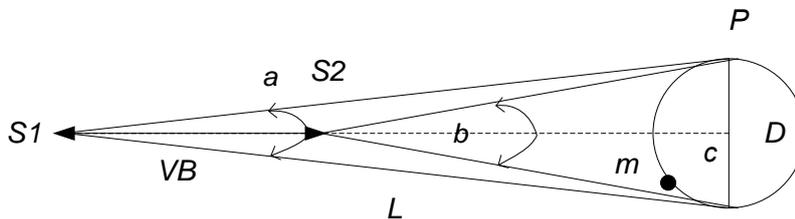


Рис. 2. Асинхронная нормальная ситуация приближения к планете

Асинхронность ситуации на Рисунке 2 состоит в том, в этом случае точка поверхности (m) уходит с прямой ($S1-S2-c$) за время движения космического аппарата между точками ($S1, S2$). Физически это означает, что КА, приближаясь к планете, не вращается с этой планетой синхронно. Формально это также движение по другой спирали, но для геометрических расчетов это движение роли не играет.

Рассмотрим расчеты для ситуации на [Рисунке 1](#). Несложные геометрические построения показывают, что

$$L \operatorname{tg} (a/2) = D/2 \quad (1)$$

$$(L-VB) \operatorname{tg} (b/2) = D/2 \quad (2)$$

Это дает основание вычислить сначала расстояние до центра планеты.

$$L = \frac{VB \operatorname{tg} b/2}{\operatorname{tg} b/2 - \operatorname{tg} a/2} \quad (3)$$

Затем на основе этого расстояния можно вычислить линейный диаметр планеты

$$D = \frac{2 VB \operatorname{tg} b/2 \operatorname{tg} a/2}{\operatorname{tg} b/2 - \operatorname{tg} a/2} \quad (4)$$

В формулы (3) (4) входят величины, измеряемые с борта КА: вертикальный базис и два угловых диаметра. В процессе приближения КА к планете, количество точек съемки может быть больше двух. Это дает возможность более точно рассчитывать диаметр планеты по серии наблюдений. Следует отметить, что всегда $b > a$.

Использование фазового угла при контроле движения.

Фазовым углом (Phase angle) называют угол в тринитарной системе «звезда – объект – наблюдатель» или в системе «Солнце-объект-наблюдатель». Это угол определяют как угол между падающим и отражённым от объекта светом ([Рисунок 3](#)), получаемым наблюдателем ([Shingareva, Krasnopevtseva, 2011; Mahoney, 2014](#)). В рамках астрономических наблюдений с Земли он обычно является углом в системе «Солнце-объект-наблюдатель» ([Рисунок 3](#)).

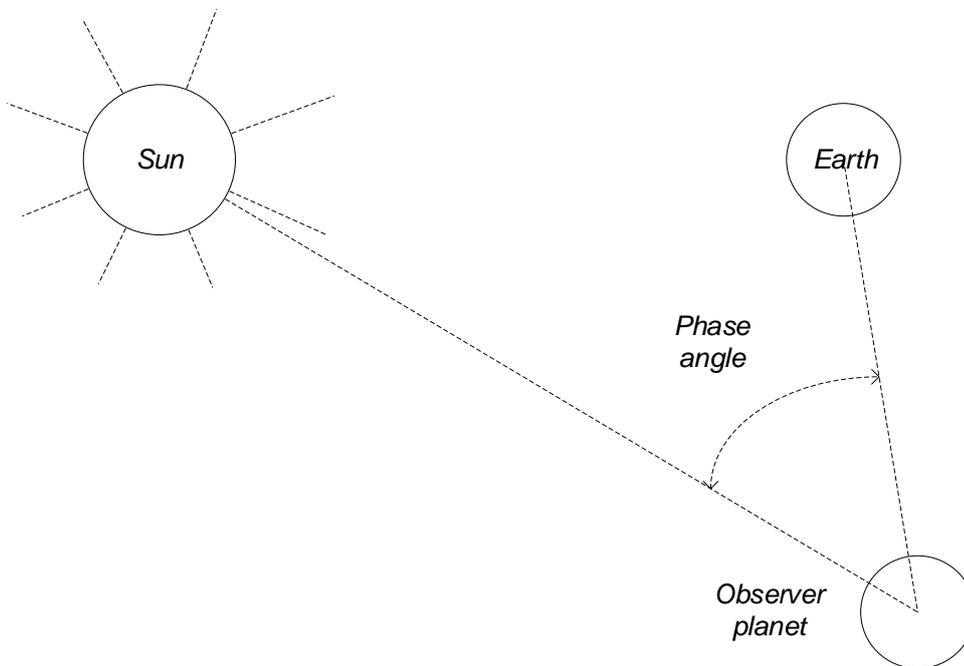


Рис. 3. Фазовый угол в системе «Солнце-объект-Земля»

Название угла формально связано с фазой планеты, поскольку яркость объекта и доля видимой освещённой поверхности является функцией фазового угла. Однако в навигационном значении это относительный угол позволяет ориентировать КА или наблюдателя независимо от планеты по твердым точкам пространства.

Фазовый угол может меняться от 0° до 180° . Значение 0° соответствует ситуации, для которой освещающий объект, наблюдатель и объект наблюдения находятся на прямой с одной стороны от наблюдаемого объекта. Эту ситуацию называют противостоянием. Значение 180° соответствует ситуации, при которой наблюдаемый объект находится между освещающим объектом и наблюдателем. Для объектов, таких как Луна, Венера и Меркурий, фазовый угол при наблюдении с Земли может принимать любые значения в интервале $0-180^\circ$. У верхних планет интервал значений фазовых углов более узкий.

Для нашей методики расчета диаметра, отраженной в выражения (3) (4), фазовый угол является дополнительным условием. Если при движении КА к планете его фазовый угол (Рисунок 3) не меняется, то такая космическая съемка или наблюдение считаются нормальной.

Наклонный случай приближения к планете

Для вычисления диаметра планеты при наклонном приближении используем фазовый угол. Эта ситуация приведена на Рисунок 4. В этом случае движение КА отличается от прямой «точка наблюдения центр планеты».

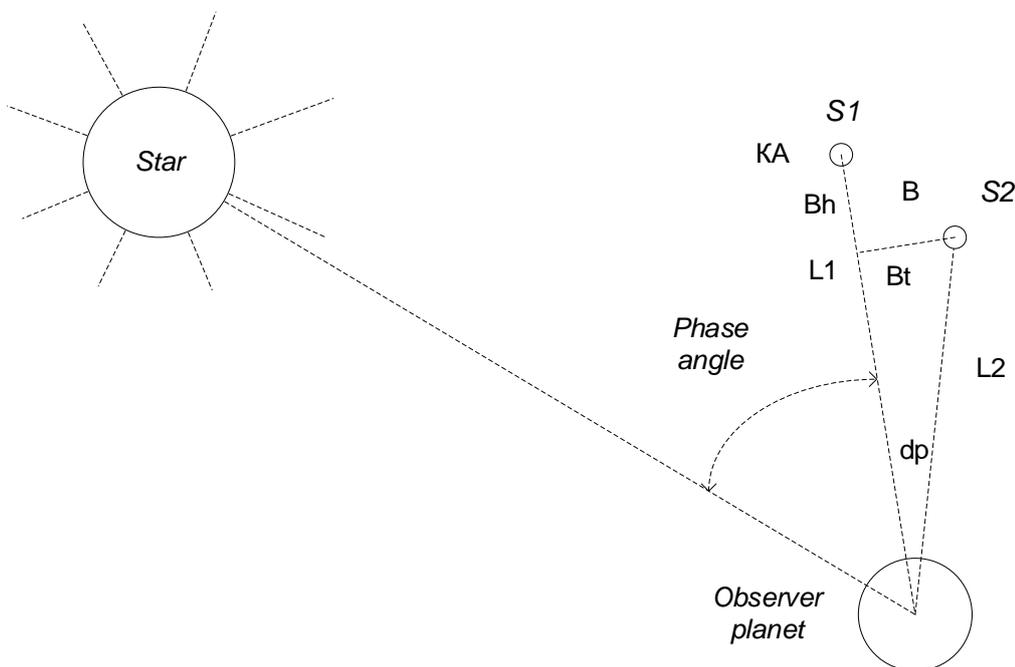


Рис. 4. Использование изменения фазового угла для расчета диаметра.

Рисунок 4 описывает следующую информационную ситуацию. Космический аппарат (КА) производит наблюдение (фотографирование) в первой точке наблюдения, затем перемещается во вторую точку наблюдения. В каждой точке наблюдения измеряют угловой диаметр. А расстояние между точками наблюдения определяют либо с помощью инерциальных устройств, либо с помощью измерения времени и скорости перемещения между точками.

На Рисунок 4. имеют место следующие обозначения. КА – космический аппарат. S1 – первая точки наблюдения, S2 – вторая точка наблюдения. L1 – расстояние от первой точки наблюдения до центра планеты. L2 – расстояние от второй точки наблюдения до центра планеты, dp изменение фазового угла, B – базис, определяемы с помощью инерциальных устройств или расстояние между точками S1, S2, Bh – радиальная компонента базиса, Bt тангенциальная компонента базиса, D – линейный диаметр планеты, a – угловой диаметр планеты из первой точки наблюдения, b – угловой диаметр планеты из второй точки наблюдения

Используем следующие базовые геометрические построения. Между расстоянием из первой точки наблюдения и диаметром планеты существует зависимость

$$L1 \operatorname{tg} (a/2) = D \quad (5)$$

Между расстоянием из второй точки наблюдения и диаметром планеты существует другая зависимость

$$L_2 \operatorname{tg}(b/2) = D \quad (6)$$

Выражения (5) и (6) дают возможность найти пропорциональное отношение между отрезками L_2, L_1 .

$$L_2 = L_1 \operatorname{tg}(a/2) / \operatorname{tg}(b/2) = L_1 k, k < 1 \quad (7).$$

Или $L_1 = L_2 / k$

Изменение фазового угла дает возможность найти тангенциальную составляющую базиса B_t .

$$B_t = L_2 \operatorname{tg}(dp) \quad (8)$$

Базис связан со своими компонентами с помощью выражения

$$B^2 = B_h^2 + B_t^2 \quad (9)$$

Радиальная составляющая базиса, связана с расстояниями от точек наблюдения до центра планеты следующим образом.

$$L_2 = L_1 - B_h \quad (10)$$

Или

$$B_h = L_1 - L_2 \quad (11)$$

Подставим в выражение (11) выражение (7) и получим

$$B_h = L_2(1-k)/k; k < 1 \quad (12)$$

Подставим в выражение (9) значение B_t из выражения (8) и получим

$$B_h^2 = B^2 - L_2^2 \operatorname{tg}^2(dp) \quad (13)$$

Преобразуем правую сторону выражения (13) из выражения (12) и получим

$$L_2^2(1-k)^2/k^2 = B^2 - L_2^2 \operatorname{tg}^2(dp) \quad (14)$$

Выражение (14) можно разрешить относительно L_2

$$L_2 = B k / [(1-k)^2 + k^2 \operatorname{tg}^2(dp)]^{1/2} \quad (15)$$

Выражение (15) позволяет по угловым измерениям диаметра планеты из двух точек, по величине базиса и по изменению фазового угла определить расстояние из второй точки наблюдения до центра планеты. В отличие от нормального случая приближения к планете в данной методике в качестве дополнительной информации используется изменение фазового угла.

Линейный диаметр планеты определяется по формуле.

$$D = \operatorname{tg}(b/2) B k / [(1-k)^2 + k^2 \operatorname{tg}^2(dp)]^{1/2} \quad (16)$$

Таким образом, при возможности использования фазового угла можно определить реальный линейный диаметр планеты при любом приближении к планете. Эта методика позволяет также определять точку надира на поверхности планеты по отношению к точке наблюдения.

3. Заключение

Рассмотренные методы относятся к области космической геоинформатики (Bondur, Tsvetkov, 2015) и геодезической астрономии (Gospodinov, 2018) и пространственной логики. Они основаны на пространственных угловых измерениях и линейных баллистических измерениях при движении КА. Общая концепция данной методики строится на том, что в космических исследованиях угловые измерения являются основой измерительных и вычислительных процедур. Угловые измерения во многих случаях являются единственным средством наблюдения в космическом пространстве. Добавление к ним линейных характеристик движения КА позволяет получать линейные характеристики планет и иных небесных тел. При этом в этих наблюдениях и измерениях обязательно присутствует когнитивный фактор (Tsvetkov, 2015) при выборе граничных точек или исключений ореола вокруг планеты. Кроме этого целесообразно использование методов пространственной логики (Kudzh, Tsvetkov, 2020) Следует отметить, что для анализа измерительных ситуаций в космическом пространстве целесообразно применение модели информационной ситуации.

Литература

- Савиных, Цветков, 2001 – Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. Москва, Картоцентр-Геодезиздат, 2001, 224 с.
- Bondur, Tsvetkov, 2015 – Bondur V.G., Tsvetkov V.Ya. New Scientific Direction of Space Geoinformatics // *European Journal of Technology and Design*. 2015. 4(10): 118-126.
- Gospodinov, 2018 – Gospodinov, S.G. The Development of Geodesic Astronomy // *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 2018. 4(1): 9-33.
- Kudzh, Tsvetkov, 2020 – Kudzh S.A., Tsvetkov V.Ya. Spatial logic concepts. *Revista inclusions*. 2020. 7. Número Especial. Julio – Septiembre: 837-849.
- Mahoney, 2014 – Mahoney T.J. Glossary of Terms Used. In Mercury (pp. 27-45). Springer, New York, NY, 2014.
- Shingareva, Krasnopevtseva, 2011 – Shingareva K., Krasnopevtseva B. (2011). A new version of the multilingual glossary of planetary cartography. *Advances in Cartography and GIScience*. Volume 2 (pp. 289-295). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Tsvetkov, 2012 – Tsvetkov V.Ya. Information Situation and Information Position as a Management Tool // *European researcher*. 2012. 12-1(36): 2166-2170.
- Tsvetkov, 2015 – Tsvetkov V.Ya. The Cognitive Modeling with the Use of Spatial Information // *European Journal of Technology and Design*. 2015. 4(10): 149-158.

References

- Bondur, Tsvetkov, 2015 – Bondur, V.G., Tsvetkov, V.Ya. (2015). New Scientific Direction of Space Geoinformatics. *European Journal of Technology and Design*. 4(10): 118-126.
- Gospodinov, 2018 – Gospodinov, S.G. (2018). The Development of Geodesic Astronomy. *Russian Journal of Astrophysical Research. Series A*. 4(1): 9-33.
- Kudzh, Tsvetkov, 2020 – Kudzh, S.A., Tsvetkov, V.Ya. (2020). Spatial logic concepts. *Revista inclusions*. 7. Número Especial. Julio – Septiembre: 837-849.
- Mahoney, 2014 – Mahoney, T.J. (2014). Glossary of Terms Used. Mercury (pp. 27-45). Springer, New York, NY.
- Savinykh, Tsvetkov, 2001 – Savinykh, V.P., Tsvetkov, V.Ya. (2001). Geoinformatsionnyi analiz dannykh distantsionnogo zondirovaniya [Geoinformation analysis of remote sensing data]. Moskva, Kartotsentr-Geodezizdat, 224 p. [in Russian]
- Shingareva, Krasnopevtseva, 2011 – Shingareva, K., Krasnopevtseva, B. (2011). A new version of the multilingual glossary of planetary cartography. *Advances in Cartography and GIScience*. 2: pp. 289-295. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Tsvetkov, 2012 – Tsvetkov, V.Ya. (2012). Information Situation and Information Position as a Management Tool. *European researcher*. 12-1(36): 2166-2170.
- Tsvetkov, 2015 – Tsvetkov, V.Ya. (2015). The Cognitive Modeling with the Use of Spatial Information. *European Journal of Technology and Design*. 4(10): 149-158.

Определение линейных параметров планеты по измерению углового диаметра

Виктор Петрович Савиных ^{a, b, *}

^a Российская академия космонавтики им. К.Э. Циолковского (РАКЦ), Российская Федерация

^b Московский государственный университет геодезии и картографии, Российская Федерация

Аннотация. Статья предлагает методику определения линейного диаметра планеты по измерениям угловых диаметров планеты. В качестве дополнительных характеристик используют баллистические характеристики движения космического аппарата и изменение фазового угла. Статья отражает общую проблему астрономии, космической геоинформатики и геодезической астрономии – определение линейных характеристик через угловые измерения. Рекомендовано использовать понятие и модель информационной ситуации при частных наблюдениях космических тел. Статья предлагает два варианта определения диаметра планеты по угловым измерениям. Первый вариант называется нормальным. Он описывает ситуацию движения космического аппарата по прямой, соединяющей точку наблюдения с центром планеты. Он описывает ситуацию смещения космического аппарата только по вертикали. Второй вариант определения диаметра планеты называется наклонным. Он описывает ситуацию смещения космического аппарата по вертикали и горизонтали относительно центра планеты. Для решения задачи во втором случае рекомендовано использовать изменение фазового угла.

Ключевые слова: космические исследования, фазовый угол, инструментальные наблюдения, угловые измерения, угловой диаметр планеты, линейный диаметр планеты, нормальные измерения, наклонные измерения, базис съемки.

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: president@miigaik.ru (В.П. Савиных)