

Разработка способа, позволяющего быстро определить расстояние между небесными телами

Болтовский Лев Александрович

Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема

Студент

Аннотация

Целью данной статьи является, вывести формулу, которая позволит быстро с достаточной точностью определить расстояние между двумя небесными телами. В ходе данной работы использованы поисковые и аналитические методы исследования, позволяющие с достаточной точностью определить расстояние. В результате выведена формула, благодаря которой можно производить расчёты расстояния между удалёнными друг от друга объектами.

Ключевые слова: расстояние, расчёты, небесные тела, земля, солнце

Development of a method to quickly determine the distance between celestial bodies

Boltovskiy Lev Alexandrovich

Sholom-Aleichem Priamursky State University

Student

Abstract

The purpose of this paper is to derive a formula that allows us to quickly and accurately determine the distance between two celestial bodies. In the course of this work, search and analytical methods of research are used to determine the distance with sufficient accuracy. As a result, a formula is derived, thanks to which it is possible to calculate the distance between distant objects.

Keywords: distance, calculations, celestial bodies, earth, sun

1. Введение

1.1 Актуальность исследования

Большинство способов, которые позволяют определить расстояние между объектами, занимают большое количество времени и требуют дорогостоящего оборудования. В мире каждый день открывается большое количество небесных тел, расстояние до которых необходимо определить достаточно быстро. Именно поэтому тема является актуальной, так же она играет ключевую роль в изучаемом мире и в определении ее структуры и эволюции. Эти данные позволяют астрономам самостоятельно определять расстояние и другие характеристики небесных тел.

1.2 Обзор исследований

В статье Л. М. Коврижных [1] риведена формула расстояния между скрещивающимися прямыми в многомерном пространстве из геометрических соображений. Освещен алгоритм, оптимизирующий измерения расстояний при использовании «модели изоляции расстоянием Малеко» для анализа популяционно-генетических параметров в исследовании Ю. И. Симонова [2]. В работе С. И. Борбулев [3] приведена методика расчета точек пересечения орбит метеоров потока с плоскостью перпендикулярной средней орбите потока. Вычисляются траектории движения тел, падающих на Землю из дальнего космоса на примере сферических метеоров в статье С. Л. Горелова [4]. Разработан алгоритм проведение массовых телевизионных наблюдений метеоров с целью верификации уже известных и выявления новых метеорных потоков в исследовании В. А. Леонова [5]

1.3 Цель исследования

Целью данной статьи является, вывести формулу, которая позволит с достаточной точностью определить расстояние между двумя небесными телами.

2. Методы исследования

Для вывода формулы обратимся к конкретным небесным телам: земли и солнцу.

Выбрав две точки вдоль экватора (рис. 1), расположенные на расстоянии d , и приступаем к измерению высоты Солнца α и β (угловая высота солнца над горизонтальной плоскостью) одновременно, используя всемирное координированное время (UTC) 20 марта 2023 года, во время весеннего равноденствия. Выбор весеннего равноденствия является преднамеренным, направленным на упрощение расчетов, поскольку в это время солнце расположено прямо над экватором. Объединив эти измерения с известными земными расстояниями, можно вывести формулу, которая может вычислить расстояние до солнца. для получения солнечных высот в разное время в двух местах на Земле использовался специализированный сайт [6]

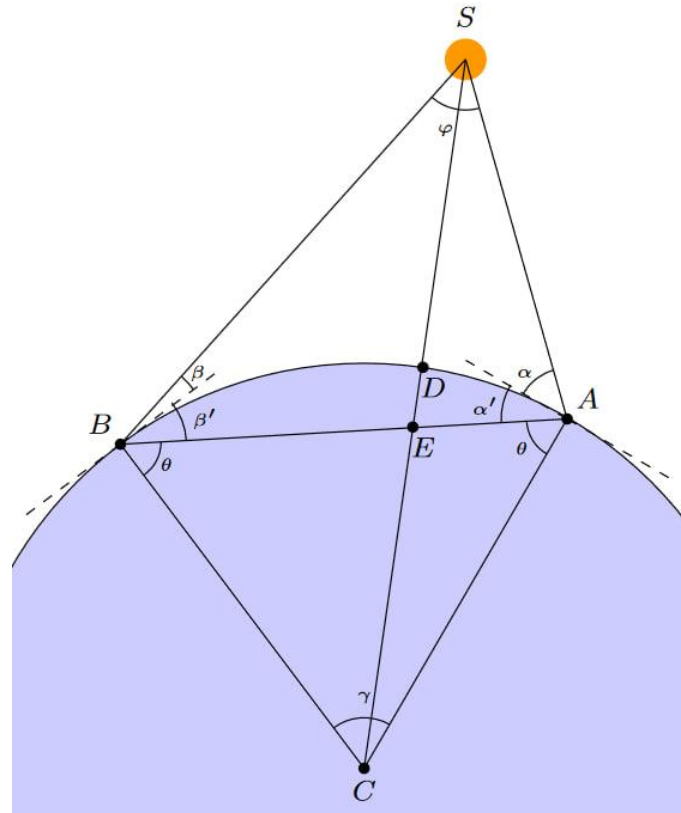


Рисунок 1 – Схема для вычисления расстояния

Приведенные обозначения:

1. A - первое место на экваторе
2. B - второе место на экваторе
3. C - центр Земли
4. D - точка пересечения CS и поверхности Земли
5. S - положение солнца
6. α - угол между AS и касательной к Земле в точке A
7. β - угол между BS и касательной к Земле в точке B
8. α' - угол между AB и касательной к Земле в точке A
9. β' - угол между AB и касательной к Земле в точке B
10. φ - угол $\angle BSA$
11. θ - угол $\angle ABC = \angle BAC$
12. d - расстояние между A и B вдоль поверхности Земли
13. r - радиус Земли

Из рисунка видно, что $\alpha' = \pi/2 - \theta$ и $\beta' = \pi/2 - \theta$, поэтому $\alpha' = \beta'$. Треугольник $\triangle ACB$ равнобедренный, так как две его стороны имеют одинаковую длину, $|AC| = |BC| = |DC| = r$. Таким образом $\gamma = d/r$ равен и $\theta = (\pi - \gamma)/2$.

Так же $\angle BAS = \pi/2 - \theta + \alpha$ и $\angle ABS = \pi/2 - \theta + \beta$, следовательно

$$\varphi = \pi - (\angle BAS + \angle ABS) = 2\theta - \alpha - \beta. \quad (1)$$

Используя теорему синусов для треугольника $\triangle ABS$ получим длину $|AS|$:

$$\frac{\sin \varphi}{|AB|} = \frac{\sin \angle ABS}{|AS|} \Leftrightarrow |AS| = \frac{|AB| \sin \left(\frac{\pi}{2} + \beta - \theta \right)}{\sin (2\theta - \alpha - \beta)}, \quad (2)$$

где $|AB|$ находится с помощью закона косинусов из треугольника $\triangle ACB$:

$$|AB|^2 = r^2 + r^2 - 2r^2 \cos \gamma \quad (3)$$

$$= 2r^2 - 2r^2 \cos \gamma \quad (4)$$

$$= 2r^2(1 - \cos \gamma) \quad (5)$$

$$\Leftrightarrow |AB| = r\sqrt{2(1 - \cos \gamma)}. \quad (6)$$

Из этого следует, что

$$|AS| = \frac{r\sqrt{2(1 - \cos \gamma)} \sin \left(\frac{\pi}{2} + \beta - \theta \right)}{\sin \varphi} \quad (7)$$

$$= \frac{r\sqrt{2(1 - \cos \gamma)} \sin \left(\frac{\pi}{2} + \beta - \theta \right)}{\sin (2\theta - \alpha - \beta)}. \quad (8)$$

Так как $\theta = (\pi - \gamma)/2$, то можем переписать уравнение (8):

$$|AS| = \frac{r\sqrt{2(1 - \cos \gamma)} \sin \left(\frac{\pi}{2} + \beta - \frac{\pi - \gamma}{2} \right)}{\sin (\pi - \gamma - \alpha - \beta)}. \quad (9)$$

В треугольнике $\triangle ACS$ имеется выражения для длины стороны $|AS|$ а также для угла $\angle CAS = \pi/2 + \alpha$. Теперь можем вычислить длину отрезка $|CS|$ используя, теорему косинусов. Отсюда следует, что

$$\boxed{f(\alpha, \beta) = \sqrt{|AS|^2 + r^2 + 2|AS|r \sin \alpha}}, \quad (13)$$

где

$$|AS| = \frac{r\sqrt{2(1 - \cos \left(\frac{d}{r} \right))} \sin \left(\beta + \frac{d}{2r} \right)}{\sin \left(\frac{d}{r} + \alpha + \beta \right)}. \quad (14)$$

Для вычисления расстояний была реализована следующая функция Python (рис. 2).

```
def TrigSunDistCalc(alpha, beta, r=6371, d=7022) -> float:
    alpha = np.radians(alpha)
    beta = np.radians(beta)
    AS = (r*np.sqrt(2-2*np.cos(d/r)) * np.sin(beta + d/(2*r)))/np.sin((d/r) + alpha + beta)
    return np.sqrt(AS**2 + r**2 + 2*AS*r*np.sin(alpha))
```

Рисунок 2 – Функция Python для расчета

Собранные данные перечислены ниже (табл. 1). Первые три столбца — это собранные данные, а последний столбец — это расчеты расстояния с использованием формулы (13).

Таблица 1 – Полученные данные

Дата	альфа (градус)	бета (градус)	Расстояние
04:00:00	70.09	6.23	12473.79
04:15:00	73.84	9.93	14330.11
04:30:00	77.59	13.66	17240.05
04:45:00	81.34	17.39	22501.05
05:00:00	85.09	21.13	35126.19
05:15:00	88.81	24.88	107257.45
05:30:00	87.39	28.62	401439.37
05:45:00	83.65	32.37	420292.46
06:00:00	79.9	36.12	432584.44
06:15:00	76.15	39.86	437796.79

3. Выводы

В результате данной работы выведена формула, благодаря которой можно производить расчёты расстояния между удаленными друг от друга объектами. Данный способ подойдет для быстрой оценки расстояния объектов.

Библиографический список

1. Коврижных Л. М. Определение расстояния между скрещивающимися прямыми в многомерном пространстве и построение отрезка прямой, реализующего это расстояние // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2023. № 4. С. 161-168.
2. Симонов Ю. И., Ельчинова Г. И., Зинченко Р. А. Оптимизация измерения расстояний при использовании модели изоляции расстоянием Малекко для анализа популяционно-генетических параметров // Наука и современность. 2011. № 13–1. С. 38–42.

3. Борбулев С. И., Волощук Ю. И., Черкас Методика Ю. В. расчета точек пересечения орбит метеоров потока с плоскостью // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2013. № 4(64). С. 45–49.
4. Горелов С. Л. Падение тел на Землю из дальнего космоса // Труды МАИ. 2010. № 39. С. 5.
5. Леонов В. А. Определение принадлежности метеоров к потокам методом односторонних наблюдений // Астрономический вестник. Исследования Солнечной системы. 2010. № 2. С. 135–149.
6. Расчет траектории движения солнца. URL:
<https://www.suncalc.org/#/27.6936,-97.5195,4/2025.01.21/02:24/1/3> (дата обращения: 20.01.2025)