

Метод определения принадлежности метеоров к потокам по данным односторонних оптических наблюдений

Усанин В.С.

сотрудник

Казанский (Приволжский) федеральный университет,

Институт физики, Казань, Россия

E-mail: Vladimir.Usanin@kpfu.ru

Для верхней и средней атмосферы Земли характерны метеорные явления, возникающие при сгорании метеорных тел (например, осколков комет или астероидов). Чтобы связать метеор с той или иной кометой или астероидом, необходимо определить его принадлежность к потоку. Для наилучшего решения этой задачи следует определить элементы орбиты метеорного тела путём одновременных наблюдений метеора из двух и более пунктов (базисных наблюдений). Длительность метеорного явления составляет около 1 секунды, поэтому провести повторные наблюдения однажды наблюдавшегося метеора невозможно. Место появления метеора заранее неизвестно, поэтому для его одновременного наблюдения на нескольких станциях требуется высокий уровень координации. Несмотря на принимаемые меры, многие метеоры удаётся пронаблюдать только на одной станции. Например, одесским метеорным патрулём с 1953 по 1993 год было зарегистрировано более 600 базисных метеоров и несколько тысяч небазисных. Более подробно причины очень высокой доли небазисных метеоров при выполнении базисных наблюдений разобраны в [3]. Встаёт задача определения принадлежности метеоров к потокам методом односторонних (небазисных) наблюдений, при неполных данных об элементах орбиты. Существующие в настоящее время критерии определения принадлежности метеоров к потокам методом односторонних наблюдений систематизированы в [1]. Основными из них являются угловое расстояние от теоретического радианта потока до большого круга метеора и соотношение теоретической и наблюдаемой угловых скоростей метеора. Оба эти критерия работают плохо если поле зрения камеры близко к радианту потока: все наблюдаемые метеоры будут иметь малые угловые расстояния их больших кругов от теоретического радианта, а их теоретические угловые скорости будут неустойчивы к малым смещениям истинных радиантов относительно теоретического. Кроме того, критерии имеют разную размерность, что затрудняет определение их условных предельных значений и веса одного критерия относительно другого. Следовательно, нужно найти новый единый критерий, хорошо работающий близ радианта. В данной работе предлагаются формулы вычисления координат радианта метеора по односторонним наблюдениям при условии, что его скорость равна теоретической скорости потока. Угловое расстояние вычисленного условного радианта метеора от теоретического радианта потока становится единым критерием принадлежности метеора к потоку, содержащим в себе и информацию о скорости.

Пусть в результате наблюдений метеора получены следующие данные: t – момент времени наблюдения, α_S и δ_S – прямое восхождение и склонение начала метеора, α_E и δ_E – прямое восхождение и склонение конца метеора, z_S – зенитное расстояние начала метеора, ω_S – угловая скорость метеора в начале. Пусть также известны значения следующих постоянных: μ_{\oplus} – геоцентрическая гравитационная постоянная, R_{\oplus} – радиус Земли (геоида) в точке наблюдения, H_O – высота наблюдательного пункта над уровнем моря. Пусть требуется проверить принадлежность наблюдавшегося метеора к потоку, для которого известны: α_R и δ_R – прямое восхождение и склонение радианта на момент времени t (с учётом дрейфа, при необходимости также зенитного притяжения и суточной аберрации), V_g – геоцентрическая скорость потока.

В результате ускорения гравитационным притяжением Земли, к моменту входа в атмосферу поток будет иметь скорость

$$V_S = \sqrt{V_g^2 + \frac{2\mu_{\oplus}}{R_{\oplus} + H_S}}. \quad (1)$$

Для высоты начала метеоров над уровнем моря существуют различные эмпирические формулы, например [2]:

$$H_S \approx 0^{\circ},625V_S + 76 \text{ км}. \quad (2)$$

При этом необходимо убедиться, что начало метеора действительно находится в поле зрения. Последние две формулы составляют систему уравнений для определения V_S и H_S . Применим к плоскому треугольнику наблюдательный пункт – начало метеора – центр Земли теорему косинусов, получим наклонную дальность начала метеора:

$$r_S = -(R_{\oplus} + H_O) \cos z_S + \sqrt{(R_{\oplus} + H_S)^2 - (R_{\oplus} + H_O)^2 \sin^2 z_S}. \quad (3)$$

Элонгация начала метеора от радианта при условии равенства скорости метеора скорости потока [2]:

$$\psi = \arcsin\left(\frac{r_S \sin \omega_S}{V_S}\right) \text{ или } \psi = 180^{\circ} - \arcsin\left(\frac{r_S \sin \omega_S}{V_S}\right). \quad (4)$$

Применим к треугольнику на небесной сфере конец метеора – северный полюс мира – начало метеора сферическую теорему косинусов сторон, найдём вспомогательные величины – угловую длину метеора и сферический угол северный полюс мира – конец метеора – начало метеора:

$$l = \arccos(\sin \delta_E \sin \delta_S + \cos \delta_E \cos \delta_S \cos(\alpha_E - \alpha_S)), \quad (5)$$

$$x = \arccos\left(\frac{\sin \delta_S - \sin \delta_E \cos l}{\cos \delta_E \sin l}\right). \quad (6)$$

Продолжим отрезок большого круга метеора на небесной сфере назад за точку начала метеора на величину условной элонгации, получим условный радиант метеора. Применим к треугольнику условный радиант – конец метеора – северный полюс мира сферическую теорему косинусов сторон, найдём прямое восхождение и склонение условного радианта метеора:

$$\alpha_C = \alpha_E - \text{sgn}(\sin(\alpha_E - \alpha_S)) \arccos\left(\frac{\cos(l + \psi) - \sin \delta_E \sin \delta_C}{\cos \delta_E \cos \delta_C}\right), \quad (7)$$

$$\delta_C = \arcsin(\sin \delta_E \cos(l + \psi) + \cos \delta_E \sin(l + \psi) \cos x). \quad (8)$$

Применим к треугольнику на небесной сфере условный радиант метеора – северный полюс мира – радиант потока сферическую теорему косинусов сторон, найдём предлагаемый критерий:

$$\Delta = \arccos(\sin \delta_C \sin \delta_R + \cos \delta_C \cos \delta_R \cos(\alpha_C - \alpha_R)). \quad (9)$$

Работа выполнена за счёт средств субсидии (проект № 0671-2020-0052), выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности.

Литература

1. Леонов В.А. Определение принадлежности метеоров к потокам методом односторонних наблюдений // *Астрономический вестник*. 2010. Т. 44 (2). С. 135–149.
2. Arlt R. The software “Radiant” // *WGN, the Journal of the International Meteor Organization*. 1992. V. 20 (2). P. 62–69.
3. Gorbanev Y.M. Odessa television meteor patrol // *Odessa Astronomical Publications*. 2009/2010. V. 19. P. 60–67.