

Научный руководитель:
педагог дополнительного
образования по астрономии
Снеткова Юлия Анатольевна^a

Определение радиуса ядра комет (Докад)

Назарова Алина

САМАРСКАЯ ОБЛАСТНАЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ШКОЛА

План доклада

1. Введение
2. Определение радиуса ядра комет
3. Численные результаты и сравнительный анализ
4. Заключение

1. Введение

✓ В настоящее время существует **объ-**
ективная необходимость в изучении
природы комет, поскольку данные
объекты участвовали во многих кос-
могонических процессах, определяв-
ших формирование Солнца, планет и
других тел Солнечной системы.



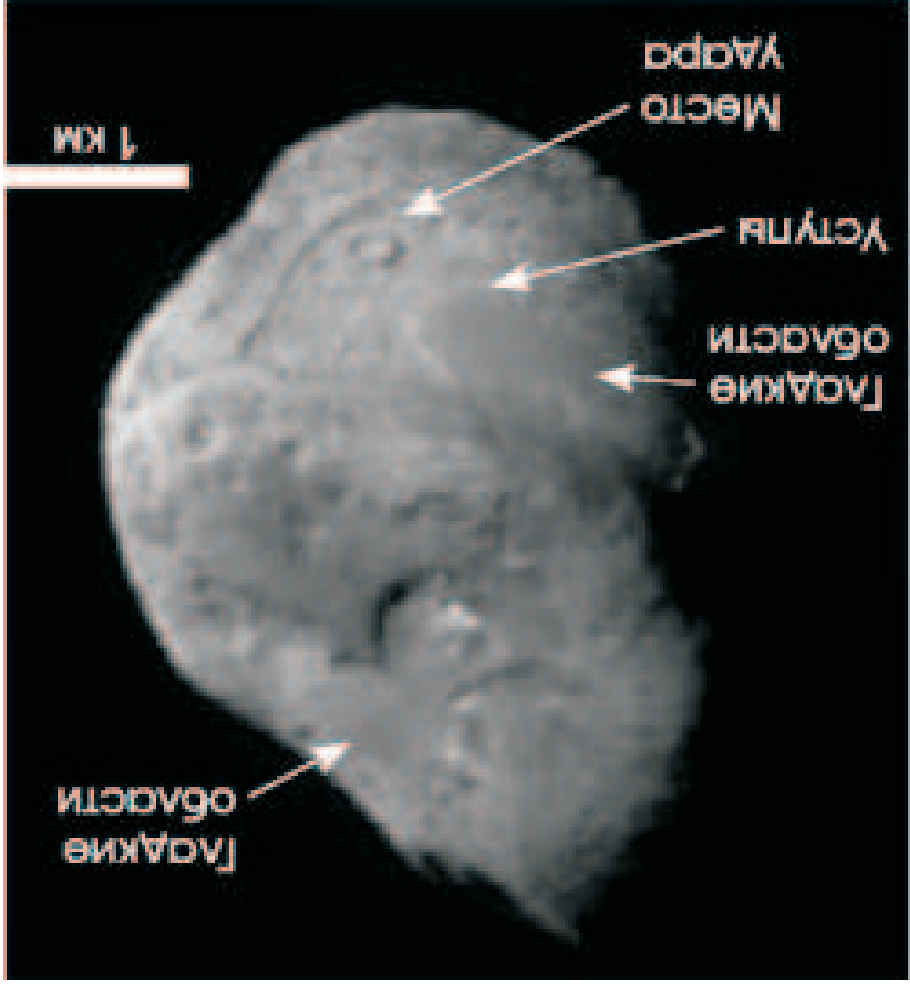
✓ Присутствие в ядрах комет весьма летучих льдов свидетельствует о том, что их внутренняя температура никогда не превышала **100 К** ⇐

ядра комет являются **наименее измененными образцами** первичного

вещества Солнечной системы ⇐ в недрах комет заложена важнейшая информация, анализ которой поможет ответить на многие вопросы

космогонии Солнечной системы.

Рис. 1: Ядро кометы 9P/Tempel 1



✓ Кроме того, кометы являются **уни-**
кальными **естественными** **зондами**
межпланетной среды, с помощью
которых сегодня активно изучается
межпланетное магнитное поле, сол-
нечный ветер в областях, далеких от
плоскости эклиптики и от Солнца.
✓ Знание минералогического состава,
плотности и размеров позволит оце-
нить последствия возможного столк-
новения малых тел с Землей ←
без знания этих характеристик невоз-
можно разработать стратегию защи-
ты Земли от **астероидно-кометной**
опасности.

Рис. 2: Ядро кометы 1P/Halley



✓ Исследования физических характеристик ядра комет затруднены вследствие их малых размеров.

✓ В марте 1986 г. с помощью космической миссии **VEGA-GIOTTO-SUISEI-2** к комете Галлея были впервые получены прямые данные о ядре, химическом составе, физических характеристиках этой кометы, а также прекрасные изображения ядра кометы.

✓ Основной источник знаний о физической природе и размерах ядер комет

– изучение их фотометрических и спектральных характеристик и интерпретация полученных данных на основе теоретических моделей.

✓ Задачей определения размеров ядер комет занимались известные

исследователи комет Э. Реме, Л. Креса, Ф. Уилл, В.П. Коноплева, Л.М. Шильман, Ф. Бальде, М. Мюллер, Е. Грюн и др.

✓ Однако в большинстве случаев они получили несколько завышенные значения радиусов ядер комет либо их грубые оценки.

✓ Причины: игнорирование учета зависимостей геометрического альбедо и фазовой функции ядер комет от их оптических свойств (показателя преломления, коэффициента поглощения) и использование большого количества феноменологических зависимостей.

1. Расчет геометрического альбедо и фазовой функции ядра кометы с учетом их зависимости от геометрических и оптических свойств ядра.
2. Определение радиуса ядра комет и сравнительный анализ полученных результатов с результатами, представленными в других работах.

Основные задачи данной работы:

усовершенствование предложенного М. Мюллером и Е. Грюном алгоритма определения размеров кометных ядер с использованием новых теоретических результатов, полученных в рамках метода геометрической оптики (МГО).

Цель настоящей работы:

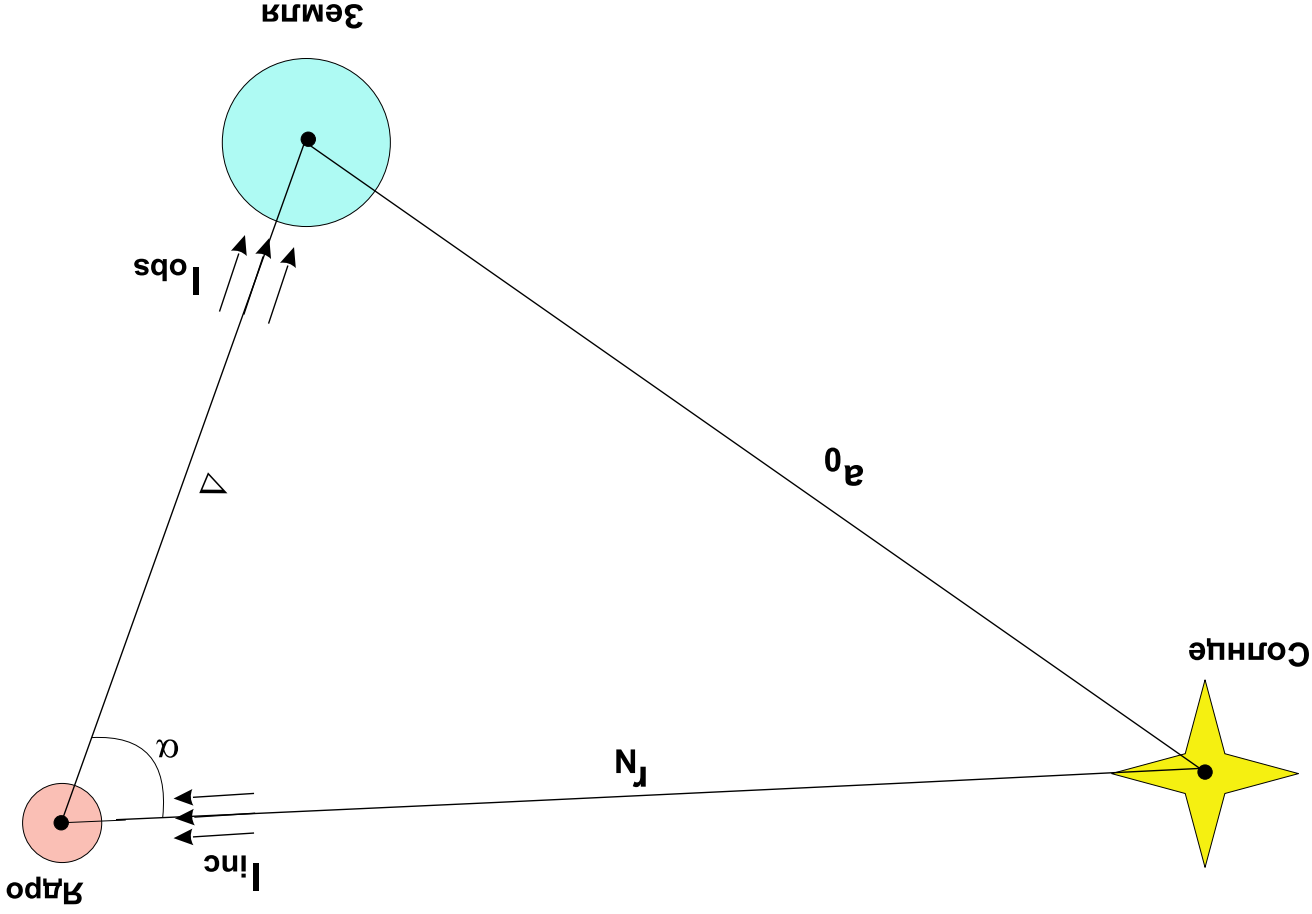
2. Определение радиуса ядра комет

2.1. Модель физической системы:

1. Солнце – абсолютно черное тело с температурой поверхности $T_s = 5777 \text{ К}$.
2. Неполаризованное излучение Солнца имеет изотропный характер. Поглощением света межпланетной средой будем пренебрегать.
3. Электромагнитное излучение Солнца в окрестности ядра характеризуется плоским волновым фронтом. Направление "Солнце-ядро кометы" определяется единичным вектором \vec{k} .

4. Ядро кометы – однородный шар с гладкой поверхностью, являющийся серым телом, с радиусом R_N и геометрическим альбедо A_G^N . Геометрическое альбедо ядра является функцией действительного показателя преломления вещества ядра n . Для описания процессов взаимодействия излучения с ядром кометы воспользуемся методом геометрической оптики (МО).

2.2. Определение радиуса ядра



Рассмотрим физическую систему "Солнце – ядро кометы – Земля".

Интенсивность излучения, отражённого ядром в направлении угла α :

$$I_{obs} = A_G^{Nj}(\alpha) \frac{\pi \Delta^2}{G} I_{inc},$$

m_{obs} – видимый блеск ядра кометы.

где $m_{sun}^{[red]} = -27.22$ и $f_{sun}^{[red]}$ – видимый блеск и интенсивность излучения Солнца в красном фильтре,

$$I_{obs}^{f_{sun}^{[red]}} = 10^{-0.4(m_{obs} - m_{sun}^{[red]})}, \quad (4)$$

Согласно **формуле Лорсона**

$$I_{obs} = A_G^N j(\alpha) \frac{G f_{sun}}{a_0^2} \left(\frac{r_N}{a_0} \right)^2. \quad (3)$$

В итоге интенсивность I_{obs} представляется выражением:

кометы.

где $f_{sun} = 1370 \frac{Вт}{М^2}$ – солнечная постоянная, $a_0 = 1 \text{ а.е.}$, r_N – гелиоцентрическое расстояние ядра

$$I_{inc} = f_{sun} \left(\frac{r_N}{a_0} \right)^2, \quad (2)$$

Интенсивность излучения, падающего на ядро кометы от Солнца:

сечения ядра, Δ – гелиоцентрическое расстояние ядра.

где A_G^N – геометрическое альbedo ядра, $j(\alpha)$ – фазовая функция, G – площадь геометрического

Учитывая, что $G = \pi R_N^2$, и подставляя (3) в (4), получим выражение для радиуса ядра кометы:

$$(5) \quad R_N = r_N \left(\frac{a_0}{\Delta} \right) \sqrt{\frac{10^{-0.4(m_{obs} - m_{sun}^{[red]})}}{A_G^N j(\alpha)}}.$$

Гелиоцентрический блеск ядра кометы:

$$(6) \quad m_{hel} = m_{obs} - 5 \lg \left[\frac{a_0^2 \sqrt{j(\alpha)}}{r_N \Delta} \right].$$

В итоге радиус ядра с учетом (5) и (6) представляется в виде:

$$(7) \quad R_N = a_0 \sqrt{\frac{A_G^N}{10^{-0.4(m_{hel} - m_{sun}^{[red]})}}}.$$

$d\Omega = \sin \gamma d\varphi d\gamma$ – телесный угол, $\gamma = \pi - \alpha$ – угол рассеяния.

$$(6) \quad \left[\frac{d\sigma}{d\Omega} \right]_{ref}^{\sigma} = \left[\frac{d\sigma}{d\Omega} \right]_{ref}^{\sigma} \Phi_{(ref)}^{\sigma}, \quad \left[\frac{d\sigma}{d\Omega} \right]_{ref}^{\sigma} = \left[\frac{d\sigma}{d\Omega} \right]_{ref}^{\sigma} \Phi_{(ref)}^{\sigma}.$$

Дифференциальное сечение рассеяния потока электромагнитного излучения – отношение потока излучения, отражённого от поверхности сферической частицы в направлении (γ, φ) , в телесный угол $d\Omega$, к величине телесного угла и интенсивности излучения I_0 , падающего на тело:

$$(8) \quad j(\alpha) = \frac{I_{obs}(\alpha)}{I_{obs}(0)}.$$

телом в направлении $\alpha = 0$:
 в направлении фазового угла α , к интенсивности излучения, рассеянного телом **фазовая функция** – отношение интенсивности излучения, рассеянного телом поперечного сечения в том же направлении.

абсолютно зеркальным ламбертовским диском того же геометрического телом под фазовым углом $\alpha = 0$, к интенсивности излучения, отражённого **геометрическое альbedo** – отношение интенсивности излучения, отражённого

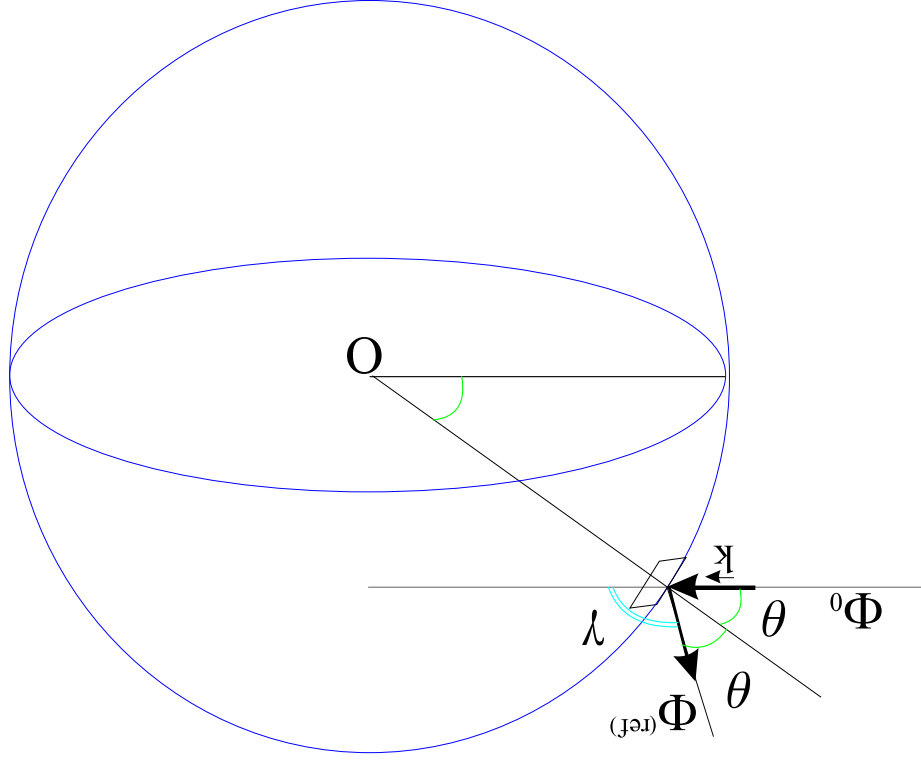
2.3. Определение геометрического альbedo и фазовой функции

вещества ядра кометы, θ – угол падения светового луча.

ρ_n – коэффициент отражения для неполяризованного света, n – эффективный показатель преломления

$$C(\theta) = 1 + \frac{n^2 - 1}{2 \sin^2 \theta} \left[\sin^2 \theta - \sqrt{(n^2 - \sin^2 \theta)(1 - \sin^2 \theta)} \right],$$

$$S(\theta) = 1 - \frac{n^2 - 1}{2 \sin^2 \theta} \left[\sin^2 \theta + \sqrt{(n^2 - \sin^2 \theta)(1 - \sin^2 \theta)} - 1 \right],$$



$$d_n(\theta) = \frac{1}{2} S(\theta) + C(\theta),$$

$$S^{(ref)}(\gamma) = \frac{1}{8\pi} d_n\left(\frac{\gamma}{2}\right), \quad \theta = \frac{\gamma}{\pi - \gamma},$$

$$S^{(ref)} = \frac{\sigma_{\Omega}^{(ref)} \pi R_N^2}{\Phi_{\Omega}^{(ref)}(\gamma, \varphi)} = \frac{\Phi_0}{\Phi_{\Omega}^{(ref)}(\gamma, \varphi)}, \quad (10)$$

Дифференциальное сечение, отнесенное к площади поперечного сечения ядра кометы:

Согласно определению дифференциального сечения рассеяния, геометрического альбедо и фазовой функции, получаем:

$$A_G^N = \frac{\mathcal{J}_0 R_2^N}{\Phi_{\Omega}^{(ref)}(\pi, \varphi)} = \pi S^{(ref)}(\pi, \varphi). \quad (11)$$

$$j(\alpha, \varphi) = \frac{\Phi_{\Omega}^{(ref)}(\pi - \alpha, \varphi)}{\pi S^{(ref)}(\pi - \alpha, \varphi)} = \frac{A_G^N}{\pi S^{(ref)}(\pi - \alpha, \varphi)}. \quad (12)$$

Для сравнения в работе

Jewitt D. Cometary photometry in "Comets in the Post Halley Era" // Volume 1, Eds. R.L. Newburn, M. Neudebaur, J. Rahe, 1991:

$$j(\alpha) = 10^{-0.4\beta\alpha}, \quad \beta = 0.035 \frac{1}{\text{град}}, \quad \text{при } \alpha \leq 30^\circ. \quad (13)$$

3. Численные результаты и сравнительный анализ

Название кометы	A_N^G	m_{hel}	$R_{N^{out}}$ (км)	R_N (км)	Ссылка
1P/Halley	0.04	14.5	3.4	5.0	Millis R.L., Schleicher D.G. Jewitt D.
2P/Encke	0.04	16.0	1.7	$1.5^{+2.3}_{-1.0}$ 1.95	Kamoun P.G., Campbell D.B. Luu J., Jewitt D.
4P/Faye	0.04	16.3	1.5	1.83	Tancredi G., Fernández J.A.
9P/Tempel 1	0.04	15.6	2.1	2.52	Tancredi G., Fernández J.A.
10P/Tempel 2	0.021	14.9	3.9	3.48	Tancredi G., Fernández J.A. Jewitt D., Luu J.
19P/Borrelly	0.029	15.9	2.1	2.0	Buratti B., Hicks M. Tancredi G., Fernández J.A. Jewitt D.

22P/Kopff	0.042	16.3	1.4	1.2; 1.45	Sekamina Z. Jewitt D.
				1.7 ± 0.2	Meech K.J., Hainaut O.R.
				1.78	Tancredi G., Fernández J.A.
28P/Neujmin 1	0.025	12.7	9.8	9.58	Tancredi G., Fernández J.A.
				10.0	Birkett C.M., Green S.F.
				10.0 ± 0.5	Delahodde C.F., Meech K.J.
46P/Wirtanen	0.04	18.8	0.5	0.58	Tancredi G., Fernández J.A.
				0.6	Jorda L., Licandro J.
				0.7	Müller M.
49P/Arend-Rigaux	0.028	14.8	3.5	3.64	Tancredi G., Fernández J.A.
				4.2	Jewitt D.
73P/Schwassmann-Wachmann 2	0.04	17.7	0.8	0.96	Tancredi G., Fernández J.A.
				> 3.1	Luu J.X., Jewitt D.C.
81P/Wild 2	0.03	16.2	1.8	1.91	Tancredi G., Fernández J.A.
				2.1	Jewitt D.
				2.21	Brownlee D.E.

- Представлены основные положения модели взаимодействия солнечного излучения со сферическим кометным ядром.
- Разбит алгоритм расчета радиусов ядер комет с использованием новых результатов, основанных на методе геометрической оптики. Получено аналитическое выражение для эффективного радиуса ядра кометы. Выполнен численный анализ результатов для радиуса ядра на примере 12 комет.
- Представлены аналитические выражения для геометрического альбедо и фазовой функции сферического ядра, связанные с дифференциальным сечением рассеяния. Показано, что геометрическое альбедо существенно зависит от показателя преломления вещества ядра кометы.
- Использовано новое выражение для геометрического альбедо ядра кометы, учитывающее значение фазовой функции.

В данной работе:

4. Заключение

Мы выражаем **большую благодарность** за подготовленные дискуссии и ценные критические замечания преподавателям кафедры общей и теоретической физики Самарского государственного университета, в особенности доктору физико-математических наук **Башкирову Евгению Константиновичу**.

Благодарности