

Снеткова Ю.А., инженер-конструктор
АО «РКЦ «ПРОГРЕСС»,
Россия, г. Самара

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОРОТКОПЕРИОДИЧЕСКИХ КОМЕТ 42P/NEUJMIN 3 И 53P/VAN BIESBROECK

***Аннотация:** В данной работе исследованы физические и орбитальные характеристики двух короткопериодических комет 42P/Neujmin 3 и 53P/Van Biesbroeck. Примечательным является то, что обе кометы, предположительно, являются фрагментами одной большой кометы, распавшейся в результате тесного сближения с Юпитером. Определены радиус, массовая плотность, пористость, масса ядер указанных комет, исследованы элементы орбит комет и построены орбиты до и после распада родительской кометы.*

***Ключевые слова:** ядро кометы, эффективный радиус, массовая плотность, масса ядра, пористость, орбита кометы, эволюция орбиты.*

***Annotation:** In this work, the physical and orbital characteristics of two short-period comets 42P/Neujmin 3 and 53P/Van Biesbroeck have been analyzed. It is noteworthy that both comets are supposedly considered fragments of one large comet that split as a result of close encounters with Jupiter. Their nucleus radii, mass densities, porosity, masses are determined, the orbital elements are studied in detail and orbits are drawn before and after the separation of the parent comet.*

***Key words:** comet nucleus, effective radius, mass density, mass of comet nucleus, porosity, comet orbit, orbit evolution.*

1. Введение

25 апреля 1984 года в Циркуляре № 3940 Центрального бюро астрономических телеграмм появилось сообщение *Любора Кресака*, в котором говорилось, что периодические кометы Неуймина 3 и Ван Бисбрука, вероятно, являются фрагментами большой кометы, расколовшейся в марте 1845 года [1]. Согласно расчетам *Л. Кресака* и др., до тесного сближения с Юпитером в 1850 году обе кометы имели очень большое сходство орбитальных элементов.

Этой же точки зрения придерживается и другая группа ученых (*J. Pittichova, K.J. Meech и др.*), исследовавшая данные кометы с помощью 2,2-метрового телескопа обсерватории Мауна-Кеа (Гавайи). Они также подтверждают, что кометы Неуймина 3 и Ван Бисбрука имели в прошлом очень схожие орбиты. Однако, согласно точке зрения ученых, распад родительской кометы произошел в конце 1849 – начале 1850 годов [2], [3].

Целью настоящей работы является теоретический расчет и сравнительный анализ физических (эффективный радиус ядра, массовая плотность, пористость, масса) и орбитальных характеристик комет Неуймина 3 и Ван Бисбрука.

2. История наблюдений кометы 42P/Neujmin 3

Комета Неуймина 3 (42P/Neujmin 3) была открыта советским астрономом Григорием Неуйминым 2 августа 1929 года в Симеизской обсерватории (Крым) на фотопластинке. Он описал ее как диффузный объект 13 зв. величины. После двухнедельных наблюдений комета была классифицирована как короткопериодическая семейства Юпитера. Последний перигелий комета прошла 8 апреля 2015 года, следующий перигелий состоится 14 января 2026 года. Период обращения на момент следующего перигелия составит 10,78 лет [4]. Параметр Тиссерана $T = 2,635$.

С момента открытия комета трижды не была наблюдаемой в ожидаемые моменты ее появления: в 1940, 1961 и 1982 годах. На момент последнего

перигелия в 2015 году достигла максимальной звездной величины 18^m [5].

В 21 веке ожидается два тесных сближения с Юпитером, что изменит перигелийное расстояние и орбитальный период кометы, и два с Землей, а также сближение с астероидом Веста в 2036 году [6].

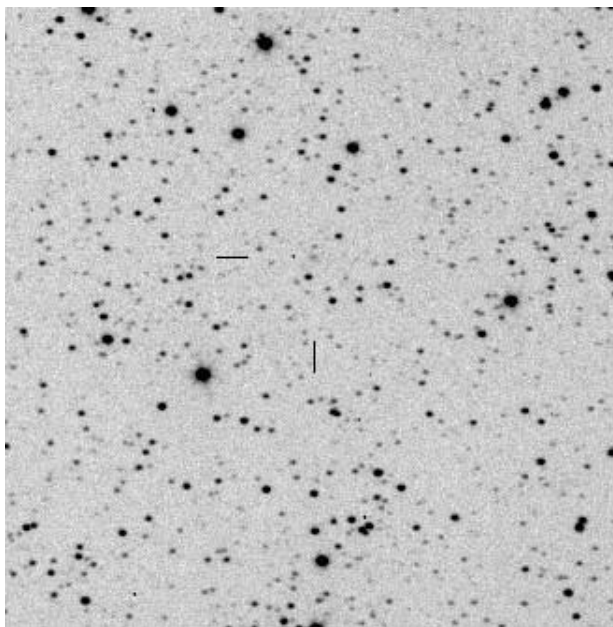


Рисунок 1. Комета Неуймина 3 22 июля 2004 года

Авторы: Michael Jager & Gerald Rhemann

3. История наблюдений кометы 53P/Van Biesbroeck

Комета Ван Бисбрука (53P/Van Biesbroeck) открыта 1 сентября 1954 года американским астрономом Жоржем Ван Бисбруком в Йеркской обсерватории (США). На фотопластинке комета выглядела как диффузный объект 14,5 зв. величины.

Комета Ван Бисбрука является короткопериодической кометой семейства Юпитера. Последний перигелий комета прошла 29 апреля 2016 года, следующий перигелий будет 24 декабря 2028 года. Период обращения на момент следующего перигелия составит 12,56 лет [7]. Параметр Тиссерана $T = 2,652$.

С момента открытия комета каждый раз наблюдалась во время прохождения перигелия. Во время прохождения последнего перигелия в 2016

году комета Ван Бисбрука достигла максимальной звездной величины 13^m [8].

За время наблюдений тесных сближений кометы ни с одной из планет не происходило, хотя Юпитер и Сатурн могут оказать значительное влияние на орбиту кометы.



Рисунок 2. Комета Ван Бисбрука 4 августа 2016 года

Автор: Michael Jager

4. Эффективный радиус ядра кометы

Поскольку ядро кометы имеет неправильную форму, сложно поддающуюся моделированию, то для упрощения расчетов будем моделировать ядро кометы шаром с эффективным радиусом R_N .

Для определения радиуса ядра кометы необходимо найти зависимость интенсивности излучения, пришедшего от ядра кометы и фиксируемого наблюдателем, от интенсивности излучения, падающего на ядро от Солнца.

Интенсивность солнечного излучения, отраженного ядром кометы в направлении фазового угла α , регистрируемая на геоцентрическом расстоянии Δ от данного тела, определяется выражением:

$$I_{obs} = A_G j(\alpha) \frac{R_N^2}{\Delta^2} I_{inc}, \quad (1)$$

где A_G и $j(\alpha)$ – геометрическое альbedo и фазовая функция ядра кометы соответственно, I_{inc} – интенсивность солнечного излучения, падающего на ядро кометы, при этом

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

где $a_0 = 1$ а.е., f_{sun} – солнечная постоянная, r_N – гелиоцентрическое расстояние кометы.

В результате интенсивность I_{obs} представляется выражением:

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

Справедливо следующее соотношение (*формула Погсона*):

$$\frac{I_{obs}}{f_{sun}} = 10^{-0.4(m_{obs} - m_{sun})}. \quad (4)$$

Здесь m_{sun} – видимая звездная величина Солнца на гелиоцентрическом расстоянии a_0 , а m_{obs} – видимый блеск ядра кометы.

С учетом выражений (3) и (4) эффективный радиус ядра кометы представляется в виде:

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

В расчетах удобнее использовать гелиоцентрический блеск m_{hel} ядра кометы. Под *гелиоцентрическим блеском* понимается блеск, который бы имел данный объект, если бы находился на гелио- и геоцентрическом расстояниях, равных 1 а.е., и был бы виден с Земли под фазовым углом $\alpha = 0^\circ$.

Гелиоцентрический блеск m_{hel} связан с видимым блеском m_{obs} следующим

соотношением:

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

В итоге радиус ядра с учетом (5) и (6) определяется простым выражением:

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

Таким образом, для определения радиуса ядра кометы необходимо знать только два параметра – гелиоцентрический блеск и геометрическое альbedo ядра.

Как правило, геометрическое альbedo ядра комет принимается равным 0.04, поскольку ядра темные, покрытые пылевой коркой и отражающие малое количество солнечного света. Значения гелиоцентрического блеска ядер комет при $A_G = 0.04$ представлены в работе [9].

Если при измерении блеска кометы используются фильтры (V или R), то в выражении (7) необходимо использовать значения $m_{sun}^{[red]} = -27.22$, $m_{sun}^{[V]} = -26.74$ [10].

Исходные значения альbedo и гелиоцентрического блеска комет 42P/Neujmin 3 и 53P/Van Biesbroeck представлены в таблице 1. В пятом столбце таблицы представлен эффективный радиус ядра комет, рассчитанный по формуле (7). В шестом столбце показаны значения радиусов, полученные другими авторами.

**Фотометрические характеристики и эффективный радиус
ядер комет 42P/Neujmin 3 и 53P/Van Biesbroeck**

Комета	A_G	Диапазон длин волн, λ	m_{hel}	R_{Nour} (км)	R_N (км)	Ссылки
42P/Neujmin 3	0.04	V	18.4	0.7	0.6	[11]
					0.69	[9]
53P/Van Biesbroeck	0.04	V	15	3.36	3.32	[9]
					3.33-3.37	[12]
					3.33	[13]
					3.8	[11]

Таким образом, полученные в данной работе значения радиусов ядер комет Неуймина 3 и Ван Бисбрука хорошо согласуются с результатами других исследователей.

Следует также отметить, что комета Ван Бисбрука значительно ярче и более «удобна» для наблюдений по сравнению с кометой Неуймина 3. Как видно из таблицы 1, это объясняется тем, что ядро кометы Ван Бисбрука почти в 5 раз больше ядра кометы Неуймина 3.

5. Массовая плотность ядра кометы

Для того чтобы определить массовую плотность ядра кометы, необходимо понимать, что представляет собой ядро кометы, из каких химических веществ оно состоит, массовые или объемные доли этих веществ.

Будем моделировать ядро кометы шаром, состоящим из трех основных типов веществ (как летучих, так и тугоплавких) в твердой фазе (см. табл. 2). В грубом приближении (для упрощения расчетов) будем полагать, что данные типы

веществ равномерно распределены по объему ядра. Поскольку кометное ядро является пористым, будем учитывать наличие пустот внутри ядра ($i = 4$).

Таблица 2.

Основные типы веществ кометного ядра

i	Вещество	Массовая доля, η_i	Показатель преломления, n_i	Массовая плотность, ρ_i (кг/м ³)
1	Водяной лед	0.33	1.31	917
2	С-содержащие вещества (органические соединения, оксиды углерода, аттограммовые углеродистые частицы и др.)	0.39	1.93	2100
3	Неорганические соединения (силикаты, металлы)	0.28	1.66	3270

Выводы о химическом составе кометных ядер сделаны на основе масс-спектрометрических исследований газа и пыли кометы Галлея во время пролета мимо нее космических аппаратов "Giotto", "Vega-1", "Vega-2" в 1986 году, спектральных наблюдений комы некоторых комет и результатов миссий "Deep Impact", "Stardust", "Rosetta" [14]-[17]. Также приняты во внимание модель строения межзвездной пыли и результаты искусственного моделирования кометных ядер в лабораториях [18], [19].

Массовая плотность кометного ядра определяется следующим выражением:

$$\rho_N = \frac{M_N}{V_N} = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{V_N} = \frac{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \rho_3 V_3}{V_N} = \rho_1 v_1 + \rho_2 v_2 + \rho_3 v_3, \quad (8)$$

где M_N , V_N – масса и объем кометного ядра, m_i , ρ_i , V_i , v_i – масса, плотность, объем, весовой коэффициент i -ой компоненты ядра соответственно.

При этом имеет место уравнение:

$$v_1 + v_2 + v_3 + v_4 = 1. \quad (9)$$

Следовательно, для того чтобы определить массовую плотность ядра кометы, необходимо найти значения весовых коэффициентов v_i .

Следует отметить, что весовой коэффициент $v_4 = \frac{V_4}{V_N}$ является параметром пористости кометного ядра, поскольку по определению *пористость* Π есть отношение суммарного объема пустот к полному объему тела.

Таким образом, наряду с массовой плотностью будем определять и пористость кометного ядра.

Методика нахождения весовых коэффициентов и средней массовой плотности, а также области ее допустимых значений подробно изложена в авторской монографии (раздел 2.2 [20]).

В результате получаем следующие значения средней массовой плотности и пористости кометного ядра при различных значениях сферического альбеда:

$$\rho_N = \left\{ \begin{array}{l} 495 \pm_{73}^{155} \text{ (кг/м}^3\text{) при } A_s = 0.03 \\ 660 \pm_{97}^{207} \text{ (кг/м}^3\text{) при } A_s = 0.04 \\ 825 \pm_{120}^{259} \text{ (кг/м}^3\text{) при } A_s = 0.05 \end{array} \right\},$$

$$\Pi = \left\{ \begin{array}{l} 0.69 \text{ при } \rho_N = 495 \pm_{73}^{155} \text{ (кг/м}^3\text{)} \\ 0.58 \text{ при } \rho_N = 660 \pm_{97}^{207} \text{ (кг/м}^3\text{)} \\ 0.48 \text{ при } \rho_N = 825 \pm_{120}^{259} \text{ (кг/м}^3\text{)} \end{array} \right\}.$$

Поскольку в литературных источниках обычно приводятся значения

геометрического альbedo A_G ядра кометы, будем использовать условие равенства $A_S = A_G$ по аналогии с другими авторами.

Используя значения геометрического альbedo A_G комет Неуймина 3 и Ван Бисбрука из таблицы 1, находим на основе предложенного алгоритма среднюю массовую плотность, область ее допустимых значений и пористость ядер данных комет (см. табл. 3).

Таблица 3.

**Массовая плотность и пористость ядер комет
42P/Neujmin 3 и 53P/Van Biesbroeck**

Комета	ρ_N (кг/м ³)	Π
42P/Neujmin 3	$660 \pm_{97}^{207}$	0.58
53P/Van Biesbroeck	$660 \pm_{97}^{207}$	0.58

Теоретический расчет плотности и пористости ядер комет Неуймина 3 и Ван Бисбрука указывает на то, что данные кометы по своему химическому составу мало отличаются друг от друга. К тому же, если верна гипотеза, что они образовались от одной кометы, то химический состав их ядер вообще должен быть идентичным.

Также следует отметить, что все кометы, в принципе, имеют схожий состав, поскольку они образовались в одно и то же время и состоят, по большому счету, из одних и тех же веществ. Ядра комет хорошо описываются моделью Уиппла, согласно которой ядро кометы представляет собой очень рыхлое образование, типа гигантского снежного кома, состоящего из замороженных газов сложного химического состава, водяного льда и тугоплавкого минерального вещества в виде пыли и более крупных фрагментов. Эту модель подтверждают как

астрономические наблюдения, так и прямые космические исследования ядер комет.

К тому же, как уже указывалось выше, геометрическое альbedo ядер комет в большинстве случаев принимается равным для всех короткопериодических комет, а согласно нашим расчетам, существует сильная зависимость массовой плотности от альbedo ядра. Таким образом, для всех комет с альbedo 4% массовая плотность и пористость примут значения из таблицы 3.

6. Масса кометных ядер

Поскольку в данной работе ядро кометы моделируется сферическим телом с эффективным радиусом R_N и массовой плотностью ρ_N , масса такого тела представляется известной формулой:

$$M_N = \frac{4\pi}{3} \rho_N R_N^3. \quad (10)$$

Используя полученные значения радиуса и массовой плотности ядер комет Неуймина 3 и Ван Бисбрука (табл. 1, табл. 3), получаем значения массы ядер этих комет (см. табл. 4).

Таблица 4.

Масса ядер комет

42P/Neujmin 3 и 53P/Van Biesbroeck

Комета	M_N (кг)
42P/Neujmin 3	$9.48 \cdot 10^{11}$
53P/Van Biesbroeck	$1.05 \cdot 10^{14}$

Таким образом, ядро кометы Ван Бисбрука значительно массивнее ядра кометы Неуймина 3. К сожалению, в других источниках мы не нашли значений массовой плотности, пористости и массы ядер данных комет, поэтому для

сравнения не можем привести результаты других авторов.

Итак, по результатам проведенных расчетов физических характеристик ядер комет Неуймина 3 и Ван Бисбрука становится очевидным, что, если имел место распад родительской кометы в 1845 году, то она раскололась далеко не на равные фрагменты, причем один из них (комета Ван Бисбрука) значительно превосходит второй по массе и размерам.

7. Орбитальные характеристики комет Неуймина 3 и Ван Бисбрука

Как уже было отмечено выше, кометы 42P/Neujmin 3 и 53P/Van Biesbroeck относятся к классу короткопериодических комет семейства Юпитера.

В таблице 5 представлены основные характеристики современных орбит данных комет на момент следующего перигелия [4], [7].

Таблица 5.

Основные элементы орбит комет 42P/Neujmin 3 и 53P/Van Biesbroeck

Комета	Эпоха	P , (лет)	a , (а.е.)	e	i , $^{\circ}$	Q , (а.е.)	q , (а.е.)	ω , $^{\circ}$	Ω , $^{\circ}$
42P/Neujmin 3	31.12.202	10.7	4.88	0.58	3.98	7.73	2.03	147.1	150.1
	5	8		4	8			2	6
53P/Van Biesbroeck	15.12.202	12.5	5.40	0.55	6.66	8.38	2.42	134.9	148.8
	8	6	2	2	2	1	3	9	6

P – период обращения;

Q – афелийное расстояние;

a – большая полуось;

q – перигелийное расстояние;

e – эксцентриситет;

ω – аргумент перигелия;

i – наклонение орбиты;

Ω – долгота восходящего узла

На рисунке 3 красным цветом показана орбита кометы 42P/Neujmin 3, а синим цветом – орбита кометы 53P/Van Biesbroeck, построенные с помощью программы *Mathematica 5.0*. По осям отложены значения в а.е. На пересечении

осей находится Солнце. На рисунках 4, 5 представлены 3D-модели орбит данных комет, построенные по данным [4], [7]. Желтая часть орбиты указывает на то, что она находится над плоскостью эклиптики, синяя – под плоскостью эклиптики. На рисунках 6, 7 показаны орбиты комет, построенные *JPL Small-Body Database Browser* [21], [22].

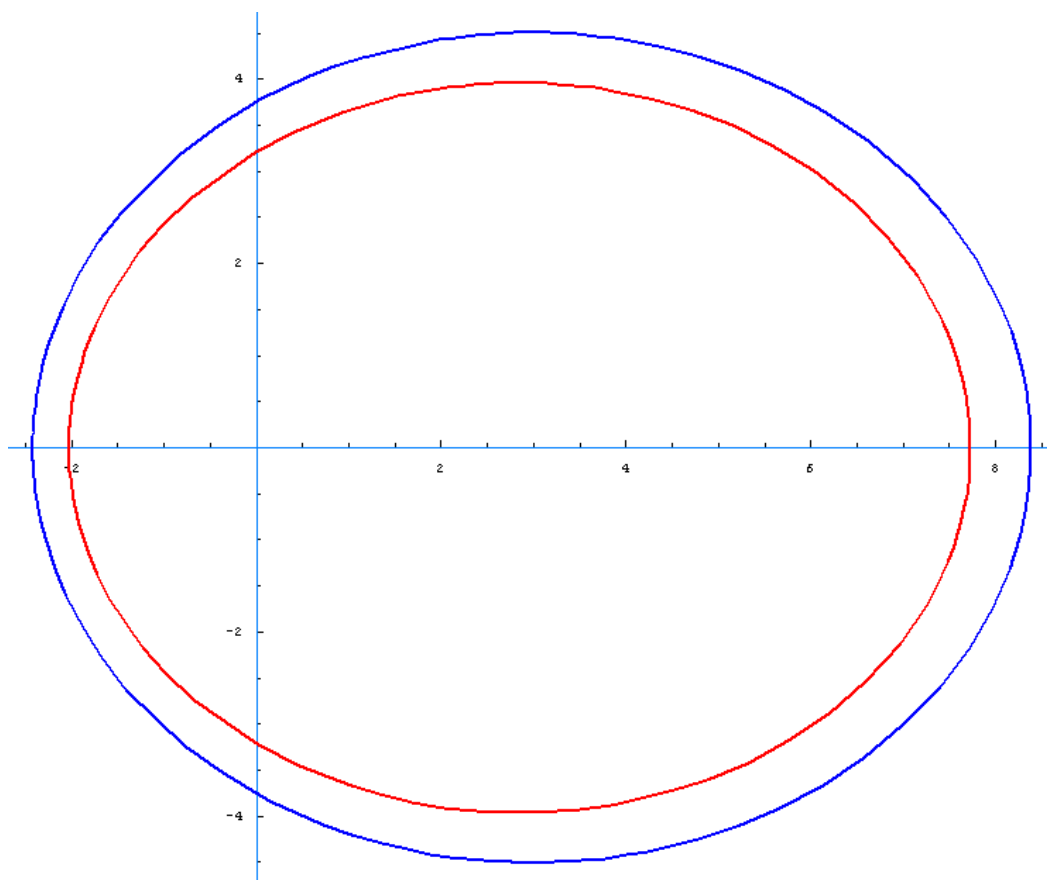


Рисунок 3. Плоскости орбит комет 42P/Neujmin 3 и 53P/Van Biesbroeck

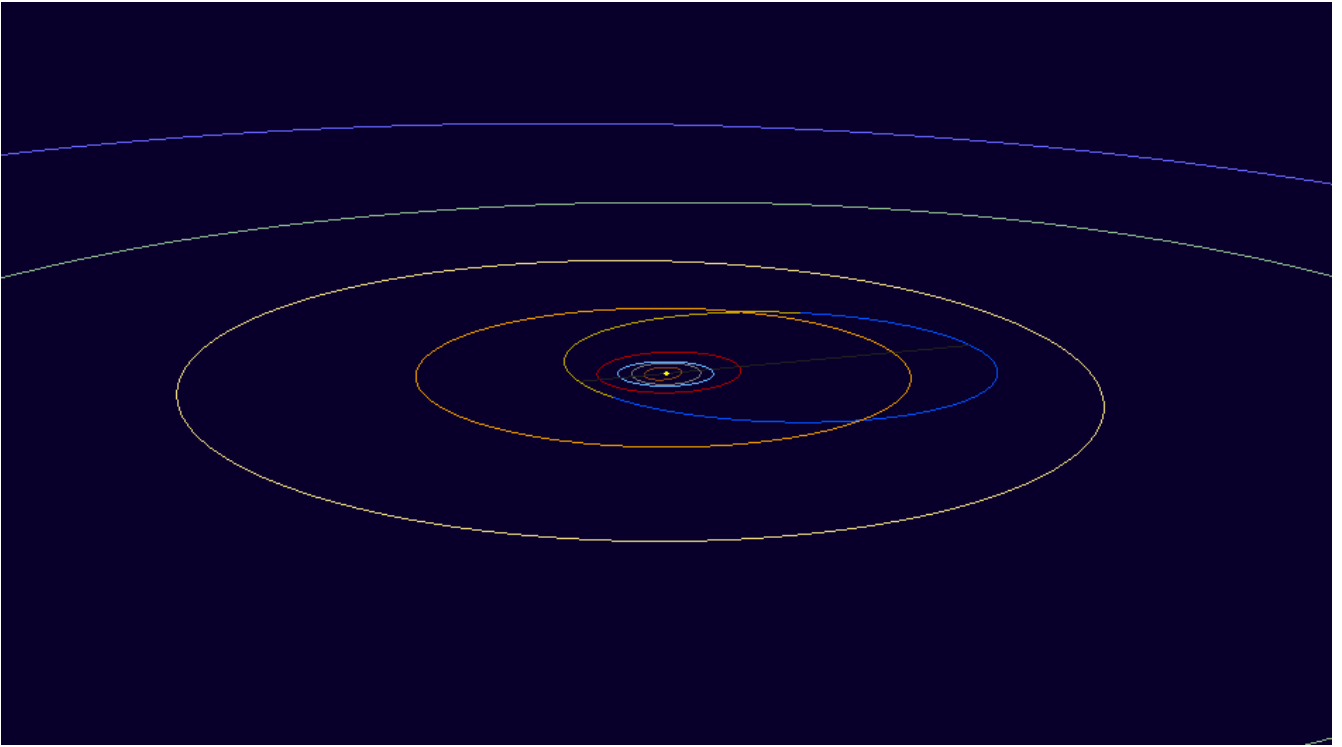


Рисунок 4. Орбита кометы 42P/Neujmin 3

(источник: *Minor Planet Center*)

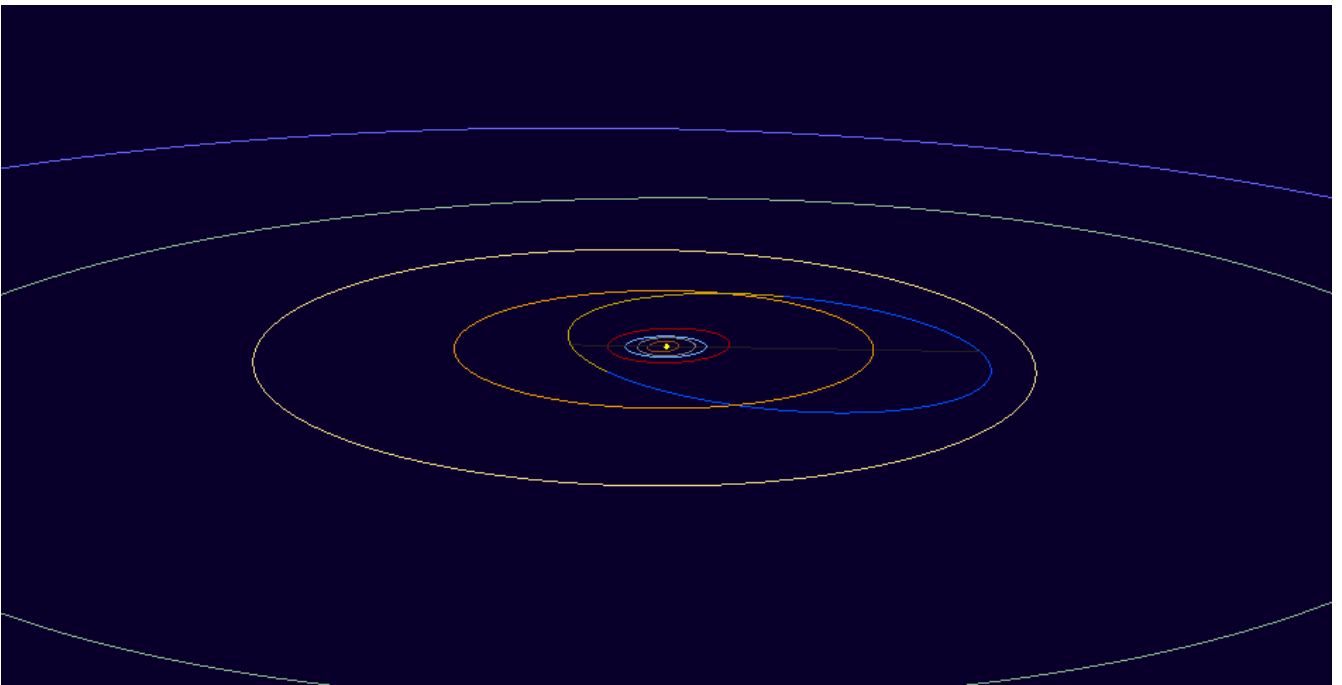
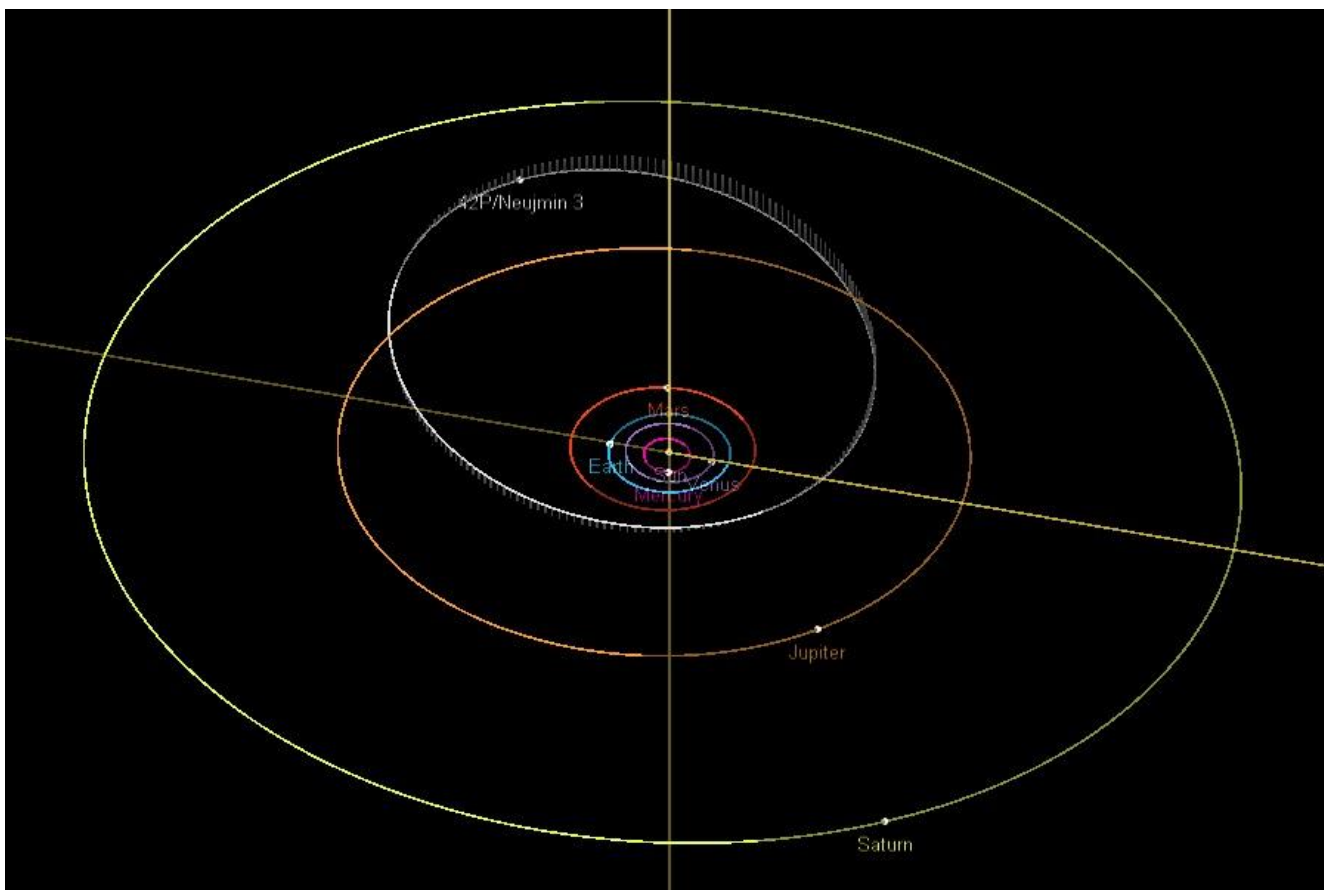


Рисунок 5. Орбита кометы 53P/Van Biesbroeck

(источник: *Minor Planet Center*)



*Рисунок 6. Орбита кометы 42P/Neujmin 3
(источник: JPL Small-Body Database Browser)*

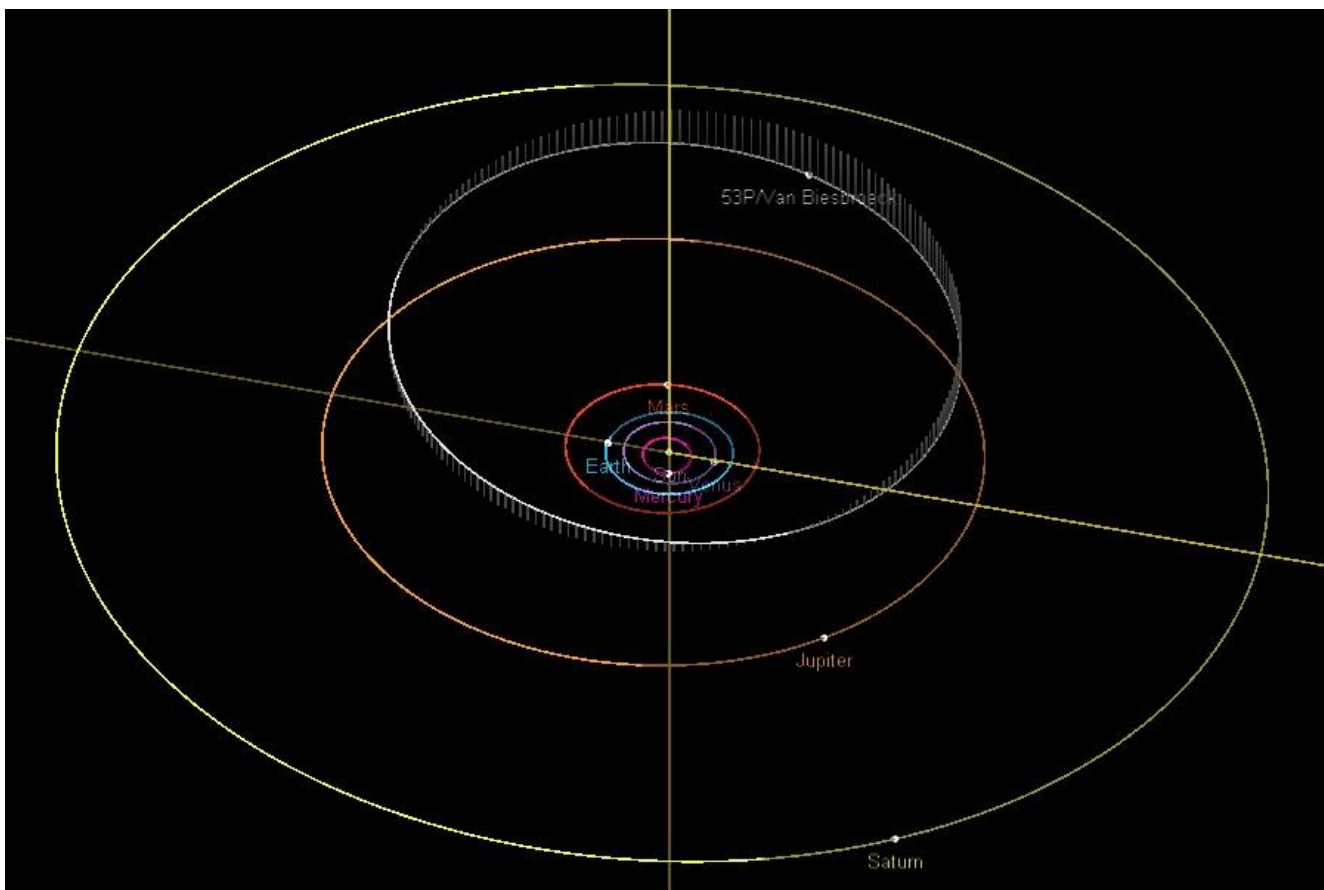


Рисунок 7. Орбита кометы 53P/Van Biesbroeck

(источник: *JPL Small-Body Database Browser*)

В соответствии с расчетными данными Л. Кресака и других исследователей [1], на момент 1836 года элементы орбит короткопериодических комет Неймуна 3 и Ван Бисбрука имели очень схожие значения (см. табл. 6). Это и вызвало предположение о том, что это была одна комета, которая впоследствии развалилась на части.

Значения эксцентриситета e , наклона i , перигелийного расстояния q , аргумента перигелия ω и долготы восходящего узла Ω взяты из [1]. Значения периода обращения P , большой полуоси a и афелийного расстояния Q рассчитаны нами по известным формулам небесной механики.

На рис. 8 построены орбиты комет по данным таблицы 6. Красным цветом

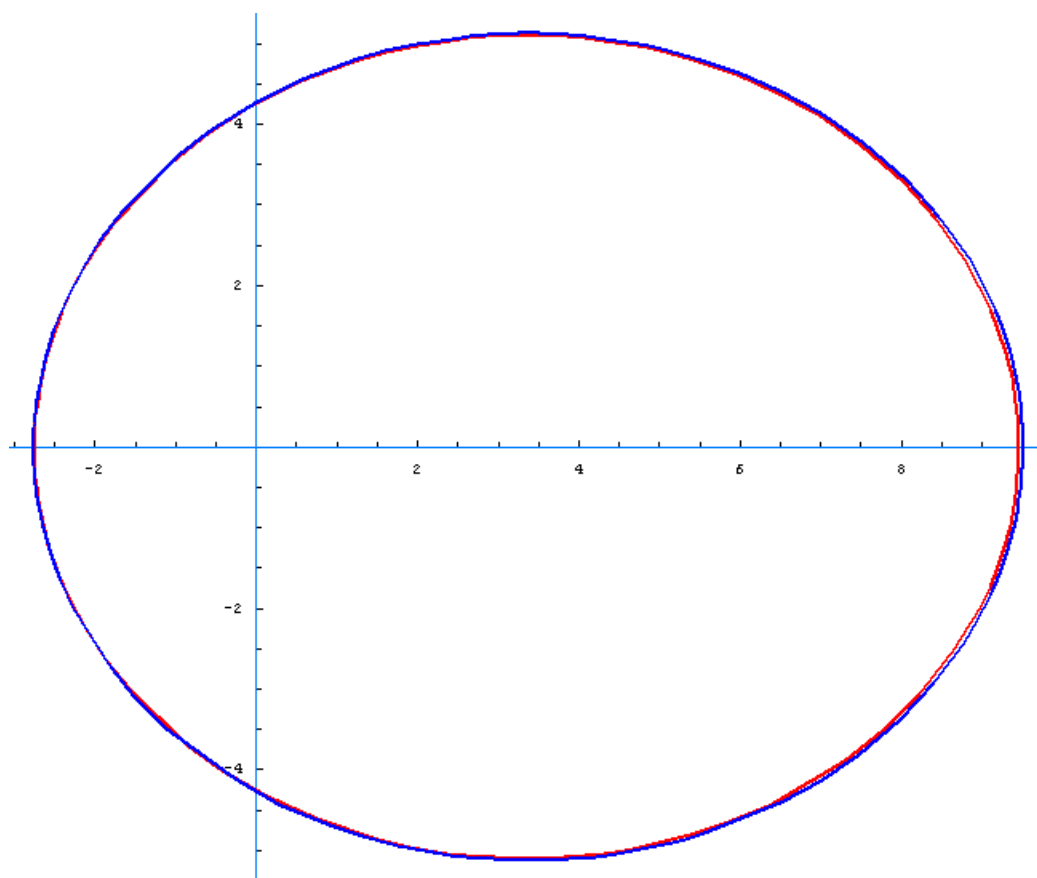
обозначена орбита кометы 42P/Neujmin 3, синим цветом – орбита кометы 53P/Van Biesbroeck.

Очевидно, что орбиты практически идентичны, а это значит, что это орбита одной кометы до ее распада.

Таблица 6.

**Основные элементы орбит комет 42P/Neujmin 3 и 53P/Van Biesbroeck
на эпоху 1836**

Комета	Эпоха	P , (лет)	a , (а.е.)	e	i , $^{\circ}$	Q , (а.е.)	q , (а.е.))	ω , $^{\circ}$	Ω , $^{\circ}$
42P/Neujmin 3	17.12.1836	15.08	6.104	0.549	4.71	9.458	2.75	290.90	348.54
53P/Van Biesbroeck	10.11.1836	15.196	6.135	0.550	4.11	9.512	2.76	289.96	349.15



***Рисунок 8. Плоскости орбит комет 42P/Neujmin 3 и 53P/Van Biesbroeck
на эпоху 1836***

На рис. 9 объединены рис. 3 и рис. 8 для наглядности, чтобы показать, как изменились плоскости орбит комет под влиянием внешних факторов (до и после распада родительской кометы). Красным цветом показана орбита кометы 42P/Neujmin 3, синим цветом – орбита кометы 53P/Van Biesbroeck.

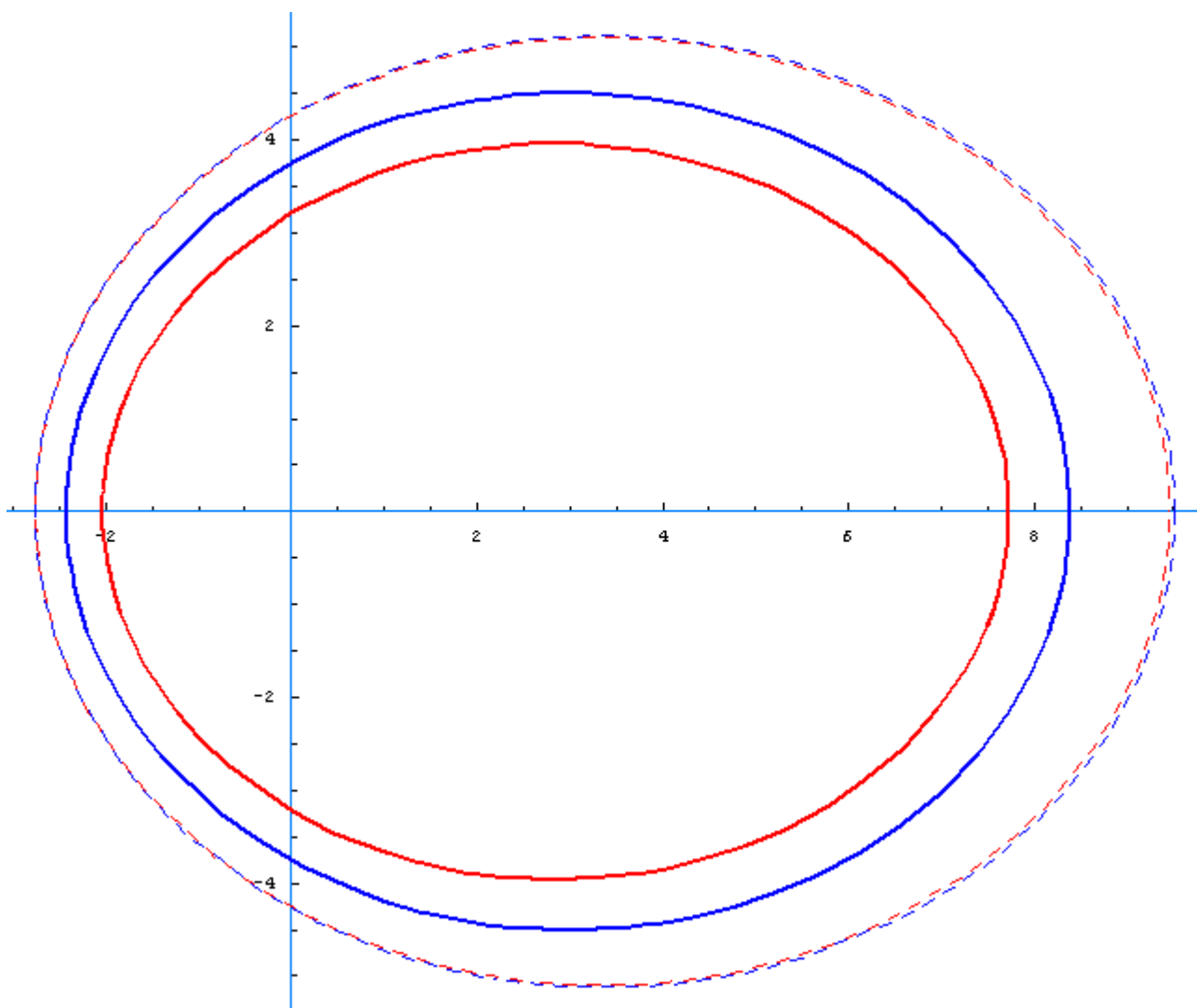


Рисунок 9. Плоскости орбит комет 42P/Neujmin 3 и 53P/Van Biesbroeck до и после распада родительской кометы

8. Заключение

В данной работе подробно исследованы физические и орбитальные характеристики короткопериодических комет 42P/Neujmin 3 и 53P/Van Biesbroeck:

- 1) рассчитаны радиус, массовая плотность, пористость, масса ядер указанных комет;
- 2) исследованы элементы орбит комет Неуймина 3 и Ван Бисбрука на

момент следующего перигелия и на эпоху 1836;

3) построены орбиты до и после распада родительской кометы.

В заключение хочется отметить, что, подробно исследовав физические свойства ядер комет и изменение их орбит, мы так же приходим к выводу, что кометы Неуймина 3 и Ван Бисбрука раньше были одной кометой, а сейчас являются ее фрагментами, самостоятельно движущимися в Солнечной системе.

Использованные источники:

1. IAUC 3940: Sats of Saturn; Periodic comets Neujmin 3 and Van Biesbroeck; Corrs. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cbat.eps.harvard.edu/iauc/03900/03940.html#Item2> (дата обращения: 10.04.2021).

2. Pittichova J., Meech K.J., Valsecchi G.B., Pittich E.M. Are Comets 42P/Neujmin 3 and 53P/Van Biesbroeck Parts of one Comet? // Bulletin of the American Astronomical Society, 2003. Vol. 35, #4.

3. Pittichova J., Bus B., Meech K.J. Spectroscopic Observations of Comets 42P/Neujmin 3 and 53P/Van Biesbroeck // Bulletin of the American Astronomical Society, 2004. Vol. 36. P.1125.

4. База данных MPC по малым телам Солнечной системы (42P). [Электронный ресурс]. URL: http://www.minorplanetcenter.net/db_search/show_object?object_id=42P (дата обращения: 10.04.2021).

5. Seiichi Yoshida 42P/Neujmin. Seiichi Yoshida's Comet Catalog. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aerith.net/comet/catalog/0042P/index.html> (дата обращения: 10.04.2021).

6. Gary W. Kronk's cometography. [Электронный ресурс]. URL: <http://cometography.com/pcomet/042p.html> (дата обращения: 10.04.2021).

7. База данных MPC по малым телам Солнечной системы (53P). [Электронный ресурс]. URL: http://www.minorplanetcenter.net/db_search/show_object?object_id=53P (дата обращения: 10.04.2021).

8. Seiichi Yoshida. 53P/Van Biesbroeck. Seiichi Yoshida's Comet Catalog. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aerith.net/comet/catalog/0053P/2016.html> (дата обращения: 10.04.2021).

9. Tancredi G., Fernandez J.A., Rickman H., Licandro J. Nuclear Magnitudes and the Size Distribution of Jupiter Family Comets // *Icarus*, V. 182, Issue 2, 2006. P. 527-549.

10. Landolt-Bornstein Numerical data and functional relationships in science and technology // Group VI Volume 2, Astronomy and Astrophysics, Extension and Supplement to Volume 1, Subvolume a, "Methods Constants Solar System".

11. Hughes D.W. The variation of short-period comet size and decay rate with perihelion distance // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 346, Issue 2, 2003. P. 584-592.

12. Meech K.J., Hainaut O.R., Marsden B.G. Comet nucleus size distributions from HST and Keck telescopes // *Icarus*, V. 170, 2004. P. 463-491.

13. Lamy P.L., Toth I., Fernandez Y.R., Weaver H.A. The sizes, shapes, albedos, and colors of cometary nuclei // *Comets II*, 2004. P. 223-264.

14. Despois D., Biver N., Bockelée-Morvan D., Crovisier J. Observations of molecules in comets // *Astrochemistry – Recent Successes and Current Challenges Proceedings IAU Symposium*, No. 231, 2005. P. 119–128.

15. Ishii H.A., Brennan S., Bradley J.P., Luening K., Ignatyev K., Pianetta P. Recovering the elemental composition of comet Wild 2 dust in five Stardust impact tracks and terminal particles in aerogel // *Meteoritics and Planetary Science*, 43, Nr 1/2, 2008. P. 215–231.

16. The Structure of Comet Nuclei from Observations and Experiments. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.issibern.ch/forads/sr-004-02.pdf> (дата обращения: 24.04.2021).

17. Choukroun M., Altwegg K., Kührt E., Biver N., Bockelée-Morvan D., Drazkowska J., Hérique A., Hilchenbach M., Marschall R., Pätzold M., Taylor M., Thomas N. Dust-to-Gas and Refractory-to-Ice Mass Ratios of Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko from Rosetta Observations // *Space Sci Rev*, 216:44. 2020. P. 1–38.

18. Cottin H., Gazeau M.C., Raulin F. Cometary organic chemistry: a review from observations, numerical and experimental simulations // *Planetary and Space Science*, 47, 1999. P. 1141–1162.

19. Greenberg J.M. Making a comet nucleus // *Astron. Astrophys.*, 330, 1998. P. 375–380.

20. Снеткова Ю.А. Ядра комет. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 85 с.

21. JPL Small-Body Database Browser. [Электронный ресурс]. URL: <https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi?sstr=42P;orb=1;cov=0;log=0;cad=0#orb> (дата обращения: 30.05.2021).

22. JPL Small-Body Database Browser. [Электронный ресурс]. URL: <https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi?sstr=53P;orb=1;cov=0;log=0;cad=0#orb> (дата обращения: 30.05.2021).