

го мислення учнів, оскільки учасники олімпіади, працюючи у синектичних групах, виконують систему завдань заочного та очного турів. Під час проведення олімпіади значна увага приділяється використанню програмного забезпечення персонального комп'ютера з метою вирішення поставлених завдань. Інтеграція в глобальне інформаційне середовище здійснюється за рахунок розміщення відеозаписів експериментів та природних явищ на сайті Всеукраїнської громадської організації «Асоціація учителів фізики «Шлях освіти – XXI» [www.chis.kp.km.ua](http://www.chis.kp.km.ua) та проходження заочного туру виключно в інформаційному просторі мережі Інтернет.

Виконання завдань домашнього фізичного експерименту спрямоване на формування в учнів здатності самостійно здійснювати експеримент та проводити спостереження з використанням нових цифрових технологій. Це домашній експеримент нового технологічного рівня, оскільки в процесі його реалізації відпрацьовується вміння використати для дослідницької діяльності цифрову техніку домашнього вжитку. Як результат на сайті створено архів відеорядів завдань та спостережень, які отримали назву «Експериментарій».

Функціонування літньої природничої школи, як однієї із складових освітнього середовища, розглядається в контексті реалізації завдань експериментального майданчика щодо відпрацювання активних технологій навчання з метою формування поглибленої мотивації учнів до вивчення природничих наук. Починаючи з 2009 року, проведення таких заходів ввійшло до переліку Заходів Міністерства освіти і науки, спрямованих на покращення стану викладання фізико-математичної освіти.

Підсумовуючи, зауважимо, що освітнє середовище позашкільних досліджень учнів з фізики та астрономії розглядається як відкрита упорядкована система, котра має механізми внутрішньої саморегуляції, які в контексті фрактальності чутливо реагують на зміни в глобальному освітньому середовищі, глобальному інформаційному й глобальному освітньому просторах, є певною сукупністю приро-

дно-штучних соціальних умов та впливів, котрі визначаються життєвим простором, що активно або пасивно впливає на свідомість особистості.

#### Список використаних джерел:

1. Атаманчук П.С. Інноваційні технології управлінням навчання фізики. – Кам'янець-Подільський: К-ПДПУ, 1999. – 174 с.
2. Атаманчук П.С., Чернецький І.С. Метод історичної реконструкції як важлива умова формування освітнього середовища. Збірник наукових праць Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини. – Умань: СПД Жовтий, 2008. – Ч.2.- 318 с.
3. Костокевич Д.Я., Кух А.М. Методичні засади організації сучасного освітнього середовища з фізики в загальноосвітніх навчальних закладах. – Кам'янець-Подільський: П.П Буйницький О.А., 2006. – 228 с.
4. Чернецький І.С. Аспект історичної реконструкції у формуванні фізичного освітнього середовища середньої школи. – Керч: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Фізико-технічна і фізична освіта у гуманістичній парадигмі», 2007. – 168 с.
5. Чернецький І.С. Апробовані шляхи розширення гностичного поля фізичного дослідження учня // Проблеми педагогічних технологій. Збірник наукових праць. Вип. 1, 2008 (№38). – Луцьк, 2008. – 240 с.
6. Чернецький І.С. Інформаційно-технологічна складова освітнього середовища позакласних досліджень з фізики та астрономії. Наукові записки. – Вип. 82. – Серія: Педагогічні науки. – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка. – 2009. – Ч. 2. – 328 с.

Article is denote analysis of structure of information space and designing an educational ambience of extracurricular studies on the physicist and astronomy in the context an open to integrations an ambience in the global information space.

**Key words:** information space, educational ambience, modeling of educational ambience.

Отримано: 21.07.2009

УДК 521.314:523.64

К. И. Чурюмов

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

## КОСМИЧЕСКИЕ МИССИИ К ЯДРАМ КОМЕТ ОТ ВЕГИ И ДЖОТТО ДО РОЗЕТТЫ

Комети є первинними об'єктами Сонячної системи. Багато вчених вважають, що вони зберегли пам'ять про фізичні і хімічні процеси, які мали місце на ранніх етапах еволюції нашого Сонця і Сонячної системи. Таким чином, як ми тепер вважаємо, комети були свідками й учасниками космогонічного процесу, який призвів до формування Сонця, планет та інших тіл Сонячної системи. Їх ядра зберегли первісну матерію початкової туманності. Місії VEGA-GIOTTO до комети Галлея дали перші прямі дані про ядро цієї комети. Значні завдання були реалізовані, і тепер багато космічних експедицій до комет знаходяться на різних стадіях реалізації. Місія New Millenium DS-1 до комети 9P/Borrelly була успішно завершена 23 вересня 2001. Місія Stardust вивчила ядро комети 81P/Wild 2 у січні 2004. Deep Impact вивчала комету 9P/Tempel з 1 по 4 липня 2005. Місія ROSETTA до комети 67P/Churyumov-Gerasimenko стартувала 2 березня 2004. Корабель Rosetta був розроблений спеціально для досягнення важливих наукових цілей шляхом дослідження простору навколо комети і вивчення її самої. Спусковий апарат буде надавати інформацію про хімічні і фізичні властивості обраної області поверхні комети. Основний корабель буде виконувати складні аналітичні дослідження пилу і газу, що надходить з ядра. Фізика коми і взаємодія її з сонячним вітром, буде також вивчена. Найбільш важкий етап місії Rosetta є остаточною рандеву з кометою що швидко рухається. Після гальмування у травні 2014 пріоритетним буде вивчення ядра. Корабель знову буде активований для зближення з кометою, в ході якого швидкість складе близько 25 метрів на секунду. Коли Rosetta наблизиться до серця комети, дослідники будуть намагатися уникати будь-яких кометного пилу і досягнути хороших умов освітлення комети. Перші знімки камерою різко поліпшать розрахунки позиції комети та орбіти, а також її розміру, форми та обертання. Відносна швидкість корабля і комети буде поступово зменшуватись до 2 метрів в секунду, приблизно через 90 днів. Менш ніж за 200 км від ядра, зображення з Rosetta покаже зворотній бік комети орієнтацію осі, кутову швидкість та інші основні характеристики. Врешті-решт, космічний апарат буде виведено на орбіту навколо ядра на відстані близько 25 кілометрів. Їх відносна швидкість знизилася до кількох сантиметрів на секунду. Orbiter почне картографувати ядро дуже докладно. Врешті-решт, п'ять потенційних місць посадки, буде відібрано для ретельного спостереження. Посадка відбувається при швидкості ходьби – менше одного метра на секунду. Як тільки відбудеться посадка на ядро, спусковий апарат надішле фотографії з високою роздільною здатністю та іншою інформацією про характер крижаного покриву комети і її кору. Дані передаються на орбітальний апарат, який зберігає їх для передачі на Землю на наступний період контакту з наземною станцією. Rosetta стане першим космічним апаратом на ядрі комети. Orbiter продовжує слідувати орбітою комети 67P/Churyumov-Gerasimenko, спостерігаючи, що відбувається, коли крижане ядро наближатиметься до Сонця, а потім віддаляться від нього. Місія закінчується в грудні 2015 року. Rosetta буде знову проходити поряд з орбітою Землі, більш ніж за 4000 днів після початку місії.

**Ключові слова:** комета, місія Розетта, Вега, Джотто.

### Почему ученых интересуют кометы?

Человечество интересуется кометами с очень давних пор. Древние хроники человеческой цивилизации сохранили многочисленные свидетельства за много столетий до Рожде-

ства Христова о появлении необыкновенно ярких с огромными хвостами, которые протягивались, порой, через весь небосвод. Правда, в далекие времена, кометы представлялись людям как знамения, как небесные предвестники тра-

гических событий на Земле – будь то смерть вождя племени, короля какой-либо страны, страшная эпидемия чумы или холеры, разрушительная война, неурожай, голод и т.д. и т.п. Об этом речь идет, например, в самых старинных китайских хрониках, датированных 2296 годом до Р.Х. В Китайской “Шелковой книге” (IV век после Р.Х.) был опубликован первый каталог комет, в котором все кометы были разделены на 27 типов, якобы по характеру того вреда, который они приносят на Землю. Вот несколько примеров таких “пагубных” воздействий комет на земные события.

Яркую комету, появившуюся в мае-июне 44 г. до Р.Х. во время игр, организованных Октавианом в память погибшего перед этим в Сенате от рук заговорщиков Юлия Цезаря, сочли небесным знаменем, появлением во время игр души скончавшегося римского понтифика. А в 79 г. после Р.Х. на небе сияла яркая комета и в этом же году произошло мощное извержение вулкана Везувия, под раскаленной лавой и пеплом которого погибли цветущие римские города Помпея и Геркуланум. Римский писатель Плиний старший, который погиб во время этого извержения, наблюдая за этой кометой, предупреждал жителей погибших городов задолго до неожиданного извержения Везувия, что в связи с появлением кометы на небе может случиться несчастье, так как все кометы, как он считал и написал об этом в одной из своих книг, делятся на 12 классов, в соответствии с характером беды, которую они предвещают.

Киевский князь Вещий Олег, за год до своей смерти в 911 г. увидел яркую комету в созвездии Геркулеса и воспринял это как недобрый знак, так как волхвы предсказали ему смерть в год появления кометы на небе. В следующем 912 году снова появилась яркая комета, на этот раз в созвездии Льва (это была комета Галлея). И когда она засияла сперва в разрывах облаков, а затем полностью на чистом небе, Олег, справлявший тризну по погибшим своим дружинникам на самой высокой горе под Киевом (сейчас – это центр Киева и здесь находится известная во всем мире Астрономическая обсерватория Киевского университета) почувствовал боль в сердце от «кукуса небесного змия», вспомнив предсказание волхвов. Это был инфаркт, от которого Вещий Олег скончался. А 18 марта 1584 г. Иоанн Грозный также с ужасом смотрел с Красного крыльца в Кремле на двух-хвостое светило – комету в созвездии Змееносца, которая по предсказаниям волхвов, собранным в Москве по повелению Бориса Годунова, в этот Кириллин день вешало грозному деспоту неминуемую смерть. Так оно и случилось. Во время игры в шахматы со своим любимцем Богданом Бельским Ивана Грозного, находившегося с самого утра в хорошем настроении, хватил удар и он умер.

Большая яркая комета 1665 года появилась на небе в то время, когда эпидемия чумы выкосила 90 тысяч жителей Лондона, а Украина потеряла остатки своего самоуправления, хотя избранный в 1665 г. гетманом правобережной Украины Петр Дорошенко, сменивший на этом посту Павла Тетерю, самоотверженно пытался объединить Украину в независимое государство.

Знаменитая комета Галлея в 1835 г. также стала “вестником” не одной беды. Около 530 домов в Нью-Йорке было полностью разрушены огнем за несколько дней и ночей. Все мужчины города Аламо в Мексике были убиты солдатами армии генерала Санта Анна. Десять тысяч зулусов напало на поселок Винен в Африке и вырезали 97 бурских мужчин и женщин и 185 детей. Войны в это время уничтожали все живое на Кубе, в Мексике, Эквадоре, Центральной Америке, Перу, Аргентине и Боливии. Вождь флоридских семинолов Осцеола обращался с молитвой к этой комете и называл ее “большой нож на небе”, и вскоре после этого семинолы, предводительствуемые Осцеолой напали и вырезали всех солдат форта Кинг.

Конечно это все весьма странные, но все же случайные совпадения, никакого отношения к науке не имеющие, так как кометы никакого влияния на земные события и на судьбы людей не оказывают из-за их малой гравитации.

Ученых кометы интересуют во-первых, из-за того, что кометные ядра являются реликтовыми “кирпичиками”,

из которых образовалась Солнечная система. Кометы сохраняют первичное вещество – свидетельство ранней стадии зарождения Солнца и планет 4,6 миллиардов лет тому назад. Во-вторых, кометы – это своеобразные индикаторы физических условий в межпланетной среде и средство диагностики межпланетной плазмы, солнечного ветра и вспышек солнечных космических лучей, причем как на малых, так и на больших гелиоцентрических расстояниях и гелиографических широтах. В-третьих, кометы – естественные космические лаборатории, в которых происходят уникальные физические явления, невозможные для воспроизведения в земных лабораториях. В-четвертых, существует вероятность столкновения ядра кометы с Землей, следствием которого возможна глобальная катастрофа. Примерами таких столкновений являются Тунгусский «метеорит» в 1908 г. и комета динозавров 65 млн. лет тому назад.

Помимо всего прочего, кометы сыграли большую роль в развитии науки, особенно физики, математики и космонавтики. Так на комете Галлея был проверен и триумфально подтвержден закон всемирного тяготения. Когда она вернулась в 1759 году, как и предсказала ей зарождающаяся тогда наука – небесная механика (Э.Галлей, 1709 г.) закон всемирного тяготения был безоговорочно воспринят всеми учеными как один из фундаментальных законов природы. Первый молекулярный спектр был получен в 1864 г. Донати для кометы 1864 II, который позже был правильно истолкован Хаггинсом, как спектр молекулы углерода (полосы Свана), что послужило толчком для первых шагов молекулярной спектроскопии. Кометные хвосты демонстрировали реальность давления света на твердые тела и газы, что было доказано теоретически и экспериментально (Фридрих Бессель, Максвелл, Федор Бредихин, Петр Лебедев) в XIX-XX ст. Для решения уравнений движения комет, были развиты новые методы численного интегрирования дифференциальных уравнений (Адамс, Коуэлл и др.). Исследование динамической эволюции комет показало на разительные изменения их орбит в поле тяготения планет, что было использовано в космонавтике для пертурбационных маневров космических аппаратов в поле тяготения планет Солнечной системы для точной доставки аппарата в любую точку Солнечной системы [1-2].

Чтобы в деталях изучить многие загадочные явления в кометах и установить связь вещества ледяных кометных ядер с реликтовым веществом протопланетного облака учеными и инженерами были разработаны, осуществлены и продолжают осуществляться космические миссии к ядрам периодических комет [3].

### Первые космические миссии к ядрам комет Галлея и Джакобини-Циннера

Первыми космическими аппаратами, которые впервые в истории науки были отправлены в космическое пространство с целью пролететь вблизи. Ядра знаменитой кометы Галлея, были два советских космических корабля Вега-1 и Вега-2. Они стартовали с космодрома Байконур 15 и 21 декабря 1984 г. и сначала взяли путь в направлении к планете Венера, чтобы сбросить в ее атмосферу два научных зонда, а также с помощью ее гравитационного поля совершить маневр, который бы точно направил бы их в окрестности ядра кометы Галлея. Поэтому-то аппараты и получили название ВЕГА, что означало по первым двум буквам Венера и Галлей. Так все и произошло – оба аппарата успешно справились со своей задачей вблизи Венеры, получив новые результаты об ее атмосфере, а затем точно по расписанию 6 марта и 9 марта 1986 г. они пролетели вблизи ядра кометы – сначала Вега 1 прошла на расстоянии 9000 км от ядра, а Вега 2 на расстоянии 3000 км, При пролете на огромной скорости относительно ядра равной 77 км/сек, Вегами, а затем и европейским аппаратом “Джогто”, который с помощью Вега пролетел 14 марта 1986 г. на расстоянии 600 км от ядра, была впервые решена главная задача – фотографирование загадочного ядра кометы Галлея. Оно оказалось бесформенной гигантской монолитной глыбой размером 14x10x8 км, массой около 300 миллиардов тонн, состоящей на 80% из водяного льда с

примесью органической и минеральной пыли и вращающейся с периодом 2.2 суток вокруг своей оси. Также ядро оказалось необыкновенно черным, отражающим всего 4% солнечного света, и очень пористым – его плотность составляла около 0.1 г/см<sup>3</sup>. При каждом прохождении кометы Галлея вблизи Солнца ее ледяное с примесями ядро уменьшается на 6 метров, т.е. за 30 ее датированных прохождений начиная с 12 г. до Р.Х. кометное ядро “похудело” на 180 м. А полностью оно растает примерно через 600-700 тысяч лет. Так впервые была решена загадка тысячелетий – что же представляют собой кометные ядра? Также были изучены физические характеристики газово-пылевой атмосферы, плазменного хвоста и магнитного поля кометы. В получении этих данных большую роль также сыграли два японских аппарата Суисей (Комета) и Сакигаке (Пионер), которые исследовали далекие окрестности кометы, соответственно на расстояниях 151000 км (8 марта 1986 г.) и 7 миллионов км (11 марта 1986 г.).

Однако первым космическим кораблем, который за полгода до триумфального пролета 5 космических кораблей вблизи ядра кометы Галлея сблизился с ядром кометы Джакобини-Циннера до расстояния в 10000 км стал Международный кометный исследователь (International Cometary Explorer – ICE), запущенный NASA, и который впервые измерил значение напряженности магнитного поля в плазменном хвосте этой кометы (100 Нанотесла). Однако на его борту не было видеокамеры и о ядре этой кометы нам ничего не известно.

### Миссия Дип Спейс 1 (Deep Space 1)

Космический аппарат Дип Спейс 1 22 сентября 2001 г. приблизился к короткопериодической комете 19 Р/Боррелли на расстояние 2171 км и сфотографировал ее ядро. Качество полученных снимков ядра кометы Боррелли намного превосходили качество снимков ядра кометы Галлея, полученные в 1986 г. По форме ядро напоминало картофелину. Размеры ядра 8x3.5 км. На поверхности ядра видны разнообразнейшие структуры, включая долины, горы и впадины. По всей поверхности ядра рассеяны темные участки. Гладкие равнины, на которых преобладают более светлые структуры, концентрируются в средней части ядра. С этими структурами, по-видимому, связано образование пылевых и газовых струй (джетов), которые пополняют своим веществом кому.

### Миссия Стардаст (Stardust)

КА Стардаст стартовал с мыса Канаверал 7 января 1999 г., совершил три витка вокруг Солнца и 2 января 2004 г. пролетел на расстоянии 236 км от ядра периодической кометы Вильда 2. При этом сближении были получены наиболее детальные, из всех полученных ранее до этого пролета, изображения поверхности ядра кометы с высоким разрешением. Размеры ядра 1.65 x 2.00 x 2.75 км ± 0.05 км. Альбедо = 0.03±0.0153.

На изображениях, полученных Стардастом видны остроконечные пики высотой 100 м и кратеры, глубиной более 150 м. Некоторые кратеры имеют круглые центральные впадины, окруженные неровным рядом выброшенного из недр ядра кометного вещества, тогда как другие кратеры имеют совершенно плоское дно и прямые стены. Диаметр самого большого кратера, получившего название «Левая ступня» равен 1 км, а это 1/5 всего 5 километрового ядра кометы Вильда 2. Другим большим сюрпризом было обилие (более 25) и активность джетов частиц, вытекающих из различных участков поверхности ядра. Перед сближением предполагалось, что джеты должны выбрасываться на короткие расстояния от ядра, затем диссипировать, образуя светящееся гало вокруг ядра кометы Вильда 2. Вместо этого, некоторые сверхскоростные джеты оставались узкими, как струя воды, вытекающая из мощного садового брандспойнта. Эти джеты создали весьма серьезную обстановку для КА Стардаст во время его сближения с ядром кометы Вильда 2. Зонд Стардаст был совершенно изрешечен миллионами частичек в секунду при его пролете через три гигантских джета. 12 таких частиц, некоторые больше пули, проникли через верхний слой защитного экрана космического аппарата.

В течение 6 летнего полета к ядру кометы Вильда КА Стардаст, с помощью специальной ловушки, в ячейки которой были уложены блоки специального вещества низкой плотности – аэрогеля (состав такой же, как у стекла, но в 1000 раз меньше плотности стекла), производил сбор межзвездного вещества, поток которого был обнаружен в Солнечной системе в направлении от созвездия Стрельца, и сбор кометных частичек вблизи ядра кометы Вильда 2. Частицы проникали в аэрогель, образовали треки, напоминающие головастиков, тормозились и застревали в аэрогеле вблизи треков. Пылинки также сталкивались с экраном из алюминийевой фольги, оставляя в нем следы в виде микрократеров.

Капсула с кометными и межзвездными пылинками благополучно вернулась на Землю 15 января 2005 г. и была доставлена в исследовательскую лабораторию в Беркли (США). Сразу же после просмотра ячеек ловушки около 25 треков-«головастиков» было обнаружено невооруженным глазом в некоторых блоках аэрогеля. Сотни других частиц было найдено только с помощью специального микроскопа в Беркли, причем много частиц уже обнаружено любителями, которые подключились к поискам межзвездных и кометных частичек по программе Stardust@home.

Анализ уже найденных в аэрогеле кометных частиц показал, что в каждой четвертой из частиц, изученных к настоящему моменту, присутствуют “высокотемпературные” минералы, такие, как форстерит и кальциево-алюминиевые включения (CAIs), которые формируются при температурах выше тысячи градусов по Цельсию. Также были найдены другие неожиданные “ингредиенты” минералы, богатые титаном, и оливин. Но кометы формировались в холодных внешних областях ранней Солнечной системы, где мог существовать лёд, и никогда не подвергались такому нагреву. А это значит, что их история куда более сложна, чем предполагалось ранее, и они представляют собой смесь компонентов, сформированных в самых различных областях молодой Солнечной системы как на её периферии, так и вблизи её центра, в условиях очень высокой температуры.

Вполне могут быть, по крайней мере, две возможности для появления “высокотемпературных” минералов в составе комет. Первая: существует гипотеза о сильном звездном ветре и мощных выбросах корональной плазмы молодого Солнца (проходившего стадию звезды Т Тельца), выдувавших во внешние области зарождающейся планетной системы капельки расплава из центрального её района. Вторая версия заключается в том, что данные минералы были сформированы около других звёзд, и лишь потом, после странствий по Галактике, проникли и перемешались с веществом Солнечного протопланетного диска. Научный руководитель проекта Stardust, профессор Дональд Браунли (Donald Brownlee) из университета Вашингтона полагает, что детальный изотопный анализ этих минералов, вероятно, поможет выбрать одну из этих гипотез.

КА Стардаст с успехом выполнив свою главную программу, продолжает полет по гелиоцентрической орбите. Так как все его приборы продолжают функционировать, было предложено переориентировать его полет к комете Темпель 1 – главной цели миссии Дип Импект. Новая миссия Стардаста получила название Стардаст-Некст (Stardust-NEXT – New Exploration of Tempel). Одна из ее основных целей сблизиться в 2011 г. с ядром кометы Темпель 1 и сфотографировать искусственный кратер на ее ядре, образовавшийся вследствие удара импактора Дип Импекта с ядром кометы Темпель 1.

### Миссия Дип Импект (Deep Impact)

КА Дип Импект стартовал с космодрома Кеннеди 12 января 2005 г. 3 июля 2005 г. зонд сблизился с короткопериодической кометой семейства Юпитера Темпель 1 9P/Tempel 1 и с него был направлен на ядро кометы импактор, состоящий на 49% из меди, 24% алюминия и 25% других материалов, в том числе 6.5 кг неиспользованного гидразина (N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) [5]. 4 июля 2005 г. импактор на скорости 10.3 км/с врезался в ядро кометы Темпель 1. Причем по мере сближения с ядром видеокамера, установленная на импакторе передавала детальные изображения ядра вплоть до 4 се-

кунд до столкновения. Пролетный модуль Дип Импект в это время приблизился к ядру кометы на 500 км и зафиксировал удар импактора по ядру кометы. Одной из главных целей пролетного модуля являлось получение четких изображений искусственного ударно-взрывного кратера на поверхности ядра кометы, образовавшегося вследствие удара импактора об ядро. К сожалению при взрыве из внутренних областей ядра была выброшена огромное облако мелких льдинок, с вкраплением пылинок, которое заэкранировало кратер, и пролетный модуль не смог сфотографировать этот новый кратер на ядре кометы Темпеля 1 и определить его диаметр и глубину. А это весьма важный результат, который позволял проверить реальность моделей многих исследователей, в том числе и разработанной в Астрономической обсерватории Киевского национального университета им. Т.Г.Шевченко (Кручиненко, Чурюмов и Чубко [6]). В рамках этой модели, основанной на идее Эпика об использовании закона сохранения импульса при движении импактора в поверхностном слое мишени [9], были выведены уравнения, связывающие диаметр  $D$  и  $h$  глубину искусственного кратера, плотность  $\rho$  и прочность на сжатие  $\sigma_p$  вещества поверхностного слоя кометного ядра с диаметром  $d$  и плотностью ударника  $\delta$  с КА Дип Импект:

$$\frac{h}{d} = 1,785 \cdot \left(\frac{\delta}{\rho}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{V^2}{\sigma_p}\right)^{1/30} \cdot \cos Z \quad (1)$$

и

$$\frac{D}{d^{3/2}} = 1,20 \cdot \left(\frac{kV\delta}{h}\right)^{1/2} \cdot (\rho\sigma_p)^{-1/4} \quad (2)$$

Здесь также  $V$  – скорость ударника  $Z$  – угловое зенитное расстояние траектории ударника,  $k$  – безразмерный коэффициент передачи радиального импульса.

Подставляя в уравнения (1) и (2) скорость столкновения  $V=10.3$  км/с, плотность вещества импактора  $7.0...8.9$  г/см<sup>3</sup>, плотность вещества кометного ядра  $\rho = 0.5...1.0$  г/см<sup>3</sup>, прочность вещества кометного ядра  $\sigma_p = 10...100$  кН/м<sup>2</sup>, эквивалентный диаметр сферического ударника  $d = 43.0...46.6$  см, безразмерный фактор передачи импульса  $k = 2.45$ , из формулы (1) получаем, что глубина образованного кратера составит  $h = 4.8...5.6$  м, а диаметр кратера, который определяется по формуле (2), будет равняться  $D = 22...57$  м. С другой стороны ученые команды «Дип Импект» полагают, что диаметр кратера должен быть  $D \sim 110$  м и глубина  $h \sim 27$  м, принимая при этом крайне низкое значение прочности вещества кометного ядра  $\sigma_p = 65$  Н/м<sup>2</sup> (65 Па), что не представляется реальным, так как даже прочность рыхлых метеорных пылевых шаров в атмосфере Земли (по Уипплу) составляет  $1$  кН/м<sup>2</sup>. Реальность той или иной модели может быть подтверждена КА Стардаст, который в 2011 г. сблизится с ядром кометы Темпеля 1 и сфотографирует искусственный кратер на нем, который должен находиться между двумя похожими друг на друга ударными кратерами на ядре кометы.

В спектре выброшенного из кратера вещества обнаружен цианид водорода HCN. Также предполагается наличие метилцианида (CH<sub>3</sub>CN) в выброшенном из кратера веществе (пик на 4.40 мкм). На начальных стадиях выброса вещество было горячее 1000°K, на последней стадии выброса вещество имело температуру значительно меньшую. Скорость наиболее быстрых частиц в выбросе достигала 5 км/с. В начале выброса количество органики по сравнению с водой возросло.

На изображениях ядра и фрагментов его поверхности, полученным импактором Дип Импакта, и покрывающих около 30% поверхности ядра, хорошо заметны несколько областей с разной морфологией. Поверхность ядра покрыта несколькими десятками кольцевых структур, размерами от 40 до 400 м. Общее распределение этих структур по размерам и частотой этих структур согласуется с популяцией ударных кратеров, наблюдающихся на поверхностях других тел Солнечной системы. На поверхности ядра кометы Темпеля существуют две большие области с гладкой поверхностью (плато). Одна из гладких поверхностей ограничена с севера обрывом  $\sim 20$  м высотой. Похожее плато с

гладкой поверхностью наблюдалось также на ядре кометы Боррелли. Гладкие области и окружающие их обрывы могут указывать на слоистость строения ядра кометы Темпеля 1. В целом же вся поверхность ядра кометы Темпеля 1 довольно однородна по альбедо и цвету. Вариации альбедо лежат в пределах 50% от средней величины 0.04. Никаких выходов льда или инея на ядре не было обнаружено, исходя из анализа альбедо или цвета. Была сделана оценка, что ядро кометы Темпеля 1 теряет  $10^9$  г вещества за одно прохождение через перигелий. С помощью инфракрасных наблюдений (1.05-4.8 мкм) была построена температурная карта ядра, которая показывает вариации температуры на освещенной стороне от  $260 \pm 6^\circ\text{K}$  до  $329 \pm 8^\circ\text{K}$ . Температурная карта полностью соответствует топографии ядра: тени – это холодные области, а наиболее теплые области лежат вблизи подсолнечной точки. Период вращения ядра вокруг собственной оси равен  $1.701 \pm 0.0014$  суток ( $40.832 \pm 0.33$  часа). Форма ядра определена не полностью из-за малого периода вращения и большой скорости пролетного модуля Дип Импекта. Размеры ядра  $7.6 \times 4.9$  км. Эффективный радиус ядра кометы равен  $3.0 \pm 0.1$  км. Средняя плотность ядра  $0.6$  г/см<sup>3</sup>.

КА Дип Импект продолжал свой полет по гелиоцентрической орбите и в декабре 2007 г. он пролетел вблизи Земли, где получив гравитационный импульс был переориентирован на пролет вблизи ядра короткопериодической кометы семейства Юпитера Бетина (85P/Boethin), мимо которого он пролетит в 2008 г.

### Миссия Розетта (Rosetta)

КА Розетта стартовала 2 марта 2004 г. с космодрома Куру (Французская Гвиана) в направлении к ядру короткопериодической кометы Чурюмова-Герасименко (67P/Churyumov-Gerasimenko) [7].

Название миссии это аббревиатура названия проекта на английском языке, которая удачно совпадает с названием древнего города Розетта, который находился в дельте реки Нил и вблизи которого французским капитаном армии Наполеона Пьером Бушаром 15 июля 1799 г. была найдена базальтовая плита или, иначе, знаменитый “розеттский” камень. На нем сохранились записи одного и того же самого текста, но на трех языках: древнеегипетском (иероглифами), коптском (египетском демотическом шрифтом) и древнегреческом. Коптский и древнегреческий язык знали хорошо и это дало возможность впервые Томасу Янгу и Жану Франсуа Шампольону в 1822 г. расшифровать древнеегипетские иероглифы, что позволило открыть всему миру интереснейшую историю древнего Египта. Эти три текста были нанесены на плиту в 196 г. до Р.Х. и представляли собой благодарственную надпись египетских жрецов царю Птолемею V Епифану, который руководил Египтом в 204-180 гг. до Р.Х. Розеттский камень сохраняется в Лондоне в Британском музее. Символическое название миссии Розетта и состоит в том, что ядро кометы Чурюмова-Герасименко, после посадки на него посадочного модуля, который доставит космический аппарат “Розетта”, сыграет своеобразную роль “розеттского” камня для расшифровки тайн ледяных кометных ядер – носителей загадочного реликтового вещества Солнечной системы, а от них прямой путь к решению фундаментальной проблемы космогонии Солнечной системы и происхождения жизни на Земле.

Как же была открыта комета, которой суждено стать “розеттским” камнем?

Летом 1966 г. кафедра астрономии Киевского государственного университета имени Т.Г.Шевченко снарядила и отправила первую кометную экспедицию в Таджикистан на гору Санглок с целью наблюдений и поисков комет как фотографическими, так и визуальными способами. В 1968 г. Вторая кометная экспедиция КГУ проводила наблюдения и поиски комет в Туркменистане на горе Душак.

А в 1969 году мы со Светланой Ивановной Герасименко, которая тогда была аспирантом профессора С.К.Всехсвятского, в составе Третьей кометной экспедиции КГУ оправились в Казахстан в Алмаатинскую обсерваторию астрофизического института имени академика АН СССР В.Г.Фесенкова. Нас привлек имеющийся там светосильный 0,5 мет-

ровый менисковый максутовский рефлектор. С его помощью мы организовали патрулирование нескольких короткопериодических комет семейства Юпитера, сняли много фотопластинок и выполнили их исследования. На пяти снимках мы нашли диффузный объект, который сначала приняли за периодическую комету Кома-Сола, которую мы и снимали на эти же пластинки. Позднее, когда мы вернулись из экспедиции в Киев, то выяснили, что этот объект по координатам отличается на 2 градуса от теоретического положения кометы Кома-Сола. Это вызвало у нас удивление и мы начали искать таинственный объект на других снимках. И еще на четырех снимках, почти на самом краю пластинок, обнаружили этот же объект. Пять его точных положений, определенных по снимкам, давали возможность точно вычислить орбиту кометы. Она оказалась эллиптической и принадлежала до сих пор неизвестной короткопериодической комете с периодом 6,5 лет. О нашем открытии мы сообщили в Центральное бюро астрономических телеграмм в США доктору Б.Марсдену, где фиксируются открытия объектов во Вселенной и Солнечной системе. Через несколько дней нам пришло сообщение, что это действительно новая комета и ее зарегистрировали как комету 1969h или комету Чурюмова-Герасименко. Сейчас эта комета имеет постоянный номер 67P во всех каталогах комет (комета Галлея имеет номер 1P). С момента открытия эта комета уже возвращалась к Земле 7 раз. Перед ее седьмым появлением вблизи Солнца к комете отправлен КА "Rosetta", который достигнет ее в 2014 г. И вместе с ним комета пройдет перигелий в восьмой раз в 2016 году.

Интересной оказалась и динамическая история кометы 67P, т.е. эволюция ее орбиты в прошлое. Оказалось, что за 10 лет до открытия в 1959 г. комета прошла от Юпитера на очень близком расстоянии в 0.05 астрономической единицы или 7.5 миллионов км, что существенно трансформировало все элементы ее орбиты и главным образом перигелийное расстояние, которое до этого сближения превышало 2.5 а.е., а после сближения уменьшилось до 1.3 а.е. Именно после такого заметного изменения орбитальных элементов комета стала доступной для фотографических наземных наблюдений с телескопами, благодаря чему, попав в поле зрения нашего менискового телескопа в Алматы, и была открыта мной и Герасименко.

В 2003 г. с космического телескопа Хаббла была получена серия изображений кометы 67P, на основании которых было построено модельное изображение ядра кометы (рис. 1).

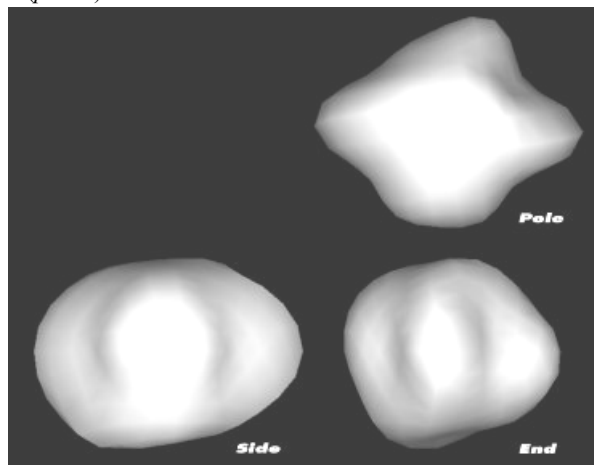


Рис. 1. Ядро кометы 67P/Чурюмова-Герасименко по данным наблюдений с помощью телескопа Хаббла в 2003 году

В плане комета имеет форму креста, а в других проекциях напоминает шляпу. Размер ядра 6x4 км, а период вращения вокруг собственной оси 12 часов, т.е. сутки на комете составляют половину земных суток.

Розетта совершив свой второй виток по околосолнечной орбите, пролетела в марте 2005 г. вблизи Земли и получила от нее первый гравитационный импульс. А 26 марта 2007 г. пролетела над Марсом на высоте 240 км, получив от него второй ускоряющий гравитационный импульс, а в

октябре 2007 г. вновь пролетела вблизи Земли, получив от нее третий гравитационный импульс и направилась к Солнцу. При пролете вблизи Марса приборы Розетты провели детальное картографирование поверхности Марса, измерения его магнитного поля и другие исследования.

Обогнув Солнце, Розетта 5 сентября 2008 г., находясь в главном поясе астероидов приблизилась на 850 километров к астероиду Штейнс (№ 2867) и передала на Землю, его изображения и другие научные данные о нем. Эта малая планета 2867 была открыта 4 ноября 1969 Николаем Степановичем Черныхом в Крыму и названа в честь известного латышского астронома профессора Карла Августовича Штейнса – специалиста по космогонии комет. Это высокоальбедный астероид диаметром около 4.6 км и альбедо 0.35 [8]. Двигается по эллиптической орбите с большой полуосью  $a=2.36$  а.е., эксцентриситетом  $e=0.146$  и наклоном  $i=9.9^\circ$ .

Возвращаясь из пояса астероидов к Солнцу Розетта в ноябре 2009 г. вновь пролетит вблизи Земли и, совершив свой четвертый гравитационный маневр, перейдет на окончательную орбиту полета к комете Чурюмова-Герасименко. Обогнув в третий раз Солнце, Розетта 10 июля 2010 г. пролетит вблизи крупного астероида Лютеция (№ 21) диаметром 99 км и сфотографирует его. Астероид 21 Лютеция открыл 15 ноября 1852 г. Г.Гольдшмидт. Он движется по эллиптической орбите с большой полуосью  $a=2.43$  а.е., эксцентриситетом  $e=0.163$  и наклоном  $i=3.1^\circ$ . Такой крупный астероид будет исследоваться с помощью КА впервые.

После пролета вблизи Лютеции все приборы Розетты будут переведены в «спящий» режим почти на 4 года до подлета к ядру кометы Чурюмова-Герасименко. В мае 2014 Розетта снизит свою скорость относительно ядра кометы до 2 м/с, приблизится к нему расстояния 25 км и перейдет на орбиту искусственного спутника ядра кометы Чурюмова-Герасименко. Все приборы Розетты будут «разбужены» и приведены в полную готовность, чтобы начать систематические исследования ядра и околоядерной области кометы. В это время будет проведено полное и детальное картографирование поверхности ядра кометы, которое позволит впервые в мире построить детальный «глобус» ядра кометы. Подробный анализ рельефа ядра кометы даст возможность выбрать пять площадок на его поверхности для безопасной посадки спускаемого модуля Филы. В ноябре 2014 будет проведен самый сложный и главный этап всей миссии Розетта – отделение от орбитального модуля спускаемого зонда «Филы» и посадка его на одну из 5 выбранных для этой цели безопасных площадок на ядре кометы. При этом будет включен двигатель на Филах, который погасит скорость зонда до величины меньше 1 м/с. Филы совершит мягкую посадку сперва на одну из трех его ножек, затем обопрется и на две другие ножки, когда они коснутся кометного грунта. При касании второй ножки из зонда выдвинется специальный гарпун, который, проникнув в кометный грунт, закрепит модуль Филы на кометном ядре и сделает его положение надежно устойчивым. После закрепления Фил на кометном ядре 9 приборов установленные на нем по команде с Земли будут «расчехлены» и приступят к главной задаче миссии – комплексного исследования загадочного реликтового вещества кометного ядра и Солнечной системы.

Филы – это уникальный научный контейнер массой около 21 кг. На нем установлено 9 приборов: спектрометр альфа лучей, протонов и рентгеновских лучей (АРХ) для исследования элементного состава кометного вещества; газо-хроматограф и мас-спектрограф КОЗАК и МОДУЛУС/ПТОЛЕМЕЙ для исследования химического состава, изотопного состава и идентификации сложных органических молекул в кометном веществе; СЕЗАМ для акустического исследования вещества поверхностного слоя ядра, измерения диэлектрических свойств среды, окружающей ядро и мониторинга столкновений с пылевыми частицами; МУПУС для изучения физических свойств вещества кометы; КОНЦЕРТ для исследования электрических характеристик всего ядра и его внутренней структуры; РОМАП для исследования кометного магнитного поля и его взаимодействия с солнечным ветром; СИВА для получения изображений рельефа ядра в месте посадки Фил и РОЛИС для

обеспечения бурения кометного грунта и исследования вещества, которое находится под поверхностным слоем ядра, для изучения распределения и величины электрических зарядов на ядре и в образцах кометного грунта, который будет помещен в специальный коллектор.

На орбитальном модуле Розетте будут работать следующие приборы: ОЗИРИС, АЛИСА, ВИРТИС, МИРО – для получения дистанционным путем прямых изображений поверхности ядра и спектральных исследований ядра и околоядерной области; РОЗИНА, КОЗИМА, МИДАС – для анализа химического состава кометного вещества, КОНЦЕРТ – для исследования крупномасштабной структуры ядра совместно с аналогичным прибором, установленным на Филах, ГИАДА – для исследования потока пыли и распределения пылевых частиц по массам, РПС – для исследования кометной плазмы и ее взаимодействия с солнечным ветром, РСИ – для исследования кометы с помощью радиоволн.

С модуля Филы научные данные, полученные каждым из его 9 высокоточных и чувствительных приборов, будут передаваться на орбитальный модуль Розетту, а оттуда с помощью радиотелескопа вместе с данными, полученными 11 приборами Розетты, вся научная информация будет передаваться на Землю.

Для питания приборов космической орбитальной лаборатории будет использоваться солнечная батарея, площадью 32 м<sup>2</sup>. С помощью 2-м антенны радиотелескопа, установленного на Розетте впервые в истории науки будут поступать в научные лаборатории на Земле уникальные данные о реликтовом веществе Солнечной системы. Много ученых считают, что это – эксперимент тысячелетия, а по количеству израсходованных на него средств – большее одного миллиарда евро – это будет наиболее дорогой эксперимент в истории науки, но “игра стоит свечей”. Без всякого сомнения – это самая грандиозная кометная миссия, уникальный эксперимент в истории человеческой цивилизации.

#### Список использованной литературы:

1. Чурюмов К.И. Кометы и их наблюдение. – М.: Наука, 1980. – 160 с.
2. Беляев Н.А., Чурюмов К.И. Комета Галлея и ее наблюдение. – М.: Наука, 1985. – 270 с.
3. Чурюмов К.И. Космические миссии к ядрам комет – от Вегдо Розетты // Физика космоса. Труды 35-й международной студенческой научной конференции. – Екатеринбург, 2006. – С.197-209.
4. Marc D. Rayman. The Deep Space 1 extended mission: challenges in preparing for an encounter with comet Borrelly. *Acta Astronautica* 51, No. 1-9, pp. 507-516 (2002).
5. A Deep Impact mission contribution to the internal structure of Jupiter family cometary nuclei: the talps or “layered pile” model. M. J. S. Belton and the.
6. Deep Impact science team. Belton Space Exploration Initiatives, LLC, Tucson, Lunar and Planetary Science XXXVII (2006), 1232.pdf.
7. Churyumov K., Kruchynenko V., Chubko L. On sizes of the artificial explosive crater on the nucleus of comet 9P/Tempel 1. International Workshop “Deep Impact as world observation event”, Belgium, Brussels, Book of abstracts, 2006, p. 87.
8. Churyumov K.I. Discovery, observations and investigations of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko in Kyiv// in the book “The new ROSETTA targets”, 2004, Astrophysics and space science library. Kluwer acad. Publ. Collangelli et al. (eds), p.1-13.
9. Formasier S., Belskaya I., Fulchignoni M., Barucci M.A., Barbieri C. First albedo determination of 2867 Steins, target of the Rosetta mission// *Astron. Astroph.* – 2006. – V. 455. – P.L9-L12.

10. Opik E. J. Researches on the physical theory of meteor phenomena. I. Theory of the formation of meteor crater // *Tartu Obs. Publ.* – 1936. – 28, № 6. – 27 p.

Comets are the most primitive objects in the Solar System. Many scientists think that they have kept a record of the physical and chemical processes that occurred during the early stages of the evolution of our Sun and Solar System. Thus, how we now believe, comets were the witnesses and participants of the cosmogonic process that had resulted in the formation of the Sun, planets and other bodies of the Solar system. Their nuclei retain the pristine matter of the primordial nebula. The VEGA-GIOTTO missions to Comet Halley gave the first direct data on the nucleus of this comet. The great significance of *in situ* investigations of comets was realized and now there are many space missions to comets, which are on the different stages of implementation. The New Millennium DS-1 mission to Comet 9P/Borrelly has been successfully finished on September 23, 2001. The Stardust mission explored the nucleus of comet 81P/Wild 2 in Jan., 2004. The Deep Impact mission spacecraft reached Comet 9P/Tempel 1 on July 4, 2005. The ROSETTA mission spacecraft to Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko is launched on March 2, 2004. ESA’s Rosetta mission has been designed specifically to achieve important scientific goals by making investigations actually on and around a comet itself. The lander will provide information on the chemical and physical properties of a selected area of comet surface. The main spacecraft will perform sophisticated analyses on the dust grains and the gas flowing out from the nucleus. It will remain for most of the mission within a few tens of kilometres of the nucleus, where the analysed dust and gas is likely to be very similar to the surface material, and where it can be traced back to specific active regions on the comet surface. The physics of the outer coma and the interaction with the solar wind will also be studied. The most difficult phase of the Rosetta mission is the final rendezvous with the fast-moving comet. After the braking manoeuvre in May 2014, the priority will be to edge closer to the nucleus. Since this takes place before Rosetta’s cameras have imaged the comet, accurate calculations of Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko’s orbit, based on ground-based observations, are essential. The spacecraft is re-activated prior to the comet rendezvous manoeuvre, during which the thrusters fire for several hours to slow the relative drift rate of the spacecraft and comet to about 25 metres per second. As Rosetta drifts towards the heart of the comet, the mission team will try to avoid any comet dust and achieve good comet illumination conditions. The first camera images will dramatically improve calculations of the comet’s position and orbit, as well as its size, shape and rotation. The relative speeds of the spacecraft and comet will gradually be reduced, slowing to 2 metres per second after about 90 days. Rosetta will drop a lander onto a comet for the first time. Less than 200 kilometres from the nucleus, images from Rosetta show the comet’s spin-axis orientation, angular velocity, major landmarks and other basic characteristics. Eventually, the spacecraft is inserted into orbit around the nucleus at a distance of about 25 kilometres. Their relative speed is now down to a few centimetres per second. The orbiter starts to map the nucleus in great detail. Eventually, five potential landing sites are selected for close observation. Once a suitable landing site is chosen, the lander is released from a height of about one kilometre. Touchdown takes place at walking speed — less than one metre per second. Once it is anchored to the nucleus, the lander sends back high-resolution pictures and other information on the nature of the comet’s ices and organic crust. The data are relayed to the orbiter, which stores them for transmission back to Earth at the next the period of contact with a ground station. Rosetta will be the first spacecraft to orbit a comet’s nucleus. The orbiter continues to orbit Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko, observing what happens as the icy nucleus approaches the Sun and then travels away from it. The mission ends in December 2015. Rosetta will once again pass close to Earth’s orbit, more than 4000 days after its adventure began.

**Key words:** comet, VEGA, GIOTTO Rosetta missions.

*Отримано:* 28.08.2009