

**ПРАКТИЧНА РОБОТА З АСТРОНОМІЇ НА ТЕМУ:
«НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
ПОВЕРХОНЬ АСТЕРОЇДІВ, КЕНТАВРІВ ТА ТІЛ ПОЯСУ КОЙПЕРА
ЧЕРЕЗ МЕРЕЖУ ІНТЕРНЕТ»**

***Юрій Борисович Мирошніченко,**
кандидат педагогічних наук, учитель фізики та
астрономії Центральненської ЗОШ І-ІІІ ступенів,
методист відділу освіти
Миронівської райдержадміністрації*

Мета дослідження полягає у вивченні оптичних властивостей популяцій малих тіл, що знаходяться у внутрішніх і зовнішніх областях Сонячної системи за результатами спостережень провідних науковців, астрономічних інститутів та обсерваторій світу.

Теоретичні відомості. Відкриття зовнішнього поясу малих тіл, що знаходиться за орбітою Нептуна, суттєво змінило уявлення про Сонячну систему. Головний пояс астероїдів, розташований між орбітами Марса і Юпітера, перестав бути унікальним утворенням, а планета Плутон виявилася одним з об'єктів поясу Койпера. За 23 роки, що минули з часу відкриття першого транснептунового тіла, знайдено більше 1500 таких тіл, розподіл орбіт яких свідчить про складну динамічну структуру зовнішнього поясу. Вважається, що популяція кентаврів, до яких відносять тіла, що мають перигелій між орбітами Юпітера й Нептуна, також динамічно пов'язана з тілами поясу Койпера і являють собою перехідну групу від цих тіл до комет сімейства Юпітера. Змінилися уявлення й про джерела походження астероїдів внутрішнього поясу, частина яких могла утворитися в зовнішній частині Сонячної системи й перейти на сучасні орбіти в результаті складної динамічної еволюції. Розуміння процесів походження й еволюції малих тіл різних динамічних класів та їхніх взаємозв'язків – одне із актуальніших питань сучасного планетознавства. Для перевірки динамічних моделей виняткову цінність становить інформація про фізичні властивості малих тіл різних динамічних класів. Все це обумовило актуальність даної роботи, присвяченої вивченню оптичних та фізичних властивостей популяцій малих тіл, що знаходяться у внутрішній та зовнішній частинах Сонячної системи.

Історія відкриття малих тіл Сонячної системи. Малі планети, або астероїди, здебільшого обертаються між орбітами Марса і Юпітера й невидимі неозброєним оком. Першу малу планету відкрито в 1801 р., і за традицією її назвали одним з імен греко-римської міфології - Церера. Незабаром було знайдено й інші малі планети, названі Палладою, Вестою і Юноною. Застосовуючи фотографію, почали відкривати дедалі слабші астероїди. У наш час відомо понад 3000 астероїдів. Протягом мільярдів років астероїди час від часу стикаються один з одним.

На цю думку наводить те, що ряд астероїдів має не кулясту, а неправильну форму. Сумарна маса астероїдів оцінюється лише як 0,1 маси Землі.

Найяскравіший астероїд - Веста не буває яскравішим від 6-ї зоряної величини. Найбільший астероїд - Церера. Його діаметр близько 800 км, і за орбітою Марса навіть у найсильніші телескопи на такому малому диску нічого не можна побачити. Діаметр найменших відомих астероїдів становить лише близько кілометра. Звичайно, астероїди не мають атмосфери. На небі малі планети схожі на зорі, тому їх назвали астероїдами, що в перекладі з давньогрецької означає «зореподібні». Як і для планет, для них характерне петлеподібне переміщення на фоні зоряного неба. Орбіти деяких астероїдів мають незвичайно великі ексцентриситети. Внаслідок цього в перигелії астероїди підходять до Сонця ближче, ніж Марс і Земля, а Ікар - ближче, ніж Меркурій. У 1968 р. Ікар наблизився до Землі на відстань менш як 10 млн. кілометрів, але його зовсім незначне притягання ніяк не вплинуло на Землю. Часом близько підходять до Землі Гермес, Ерот та інші малі планети [17].

Біляземні астероїди, або, як ще їх називають, астероїди, що наближаються до Землі (АНЗ) ($q < 1.3$ а.о.) викликають особливий інтерес з боку дослідників. По-перше, ці астероїди можуть становити потенційну небезпеку для Землі. По-друге, на близьких відстанях від Землі із спостережень можна отримувати більш детальні фізичні та орбітальні характеристики таких тіл. Тому важливо знати, яка кількість АНЗ різних розмірів реально існує.

В США в середині 90 – х років минулого століття прийнято програму по виявленню 90 – 95% всіх існуючих АНЗ з розмірами $D > 1$ км протягом 20 років. На сьогодні таких тіл відкрито біля 900. Скільки їх має бути взагалі – поки що точно не встановлено. За останні десять років таких оцінок зроблено немало, і їх діапазон лежить в межах від 700 до 1300. З останніх публікації з цього питання було відоме число АНЗ з розмірами $D > 1$ км в межах 1800 – 2000 [1], [5].

Нові основні класи малих тіл та поясу Койпера. За орбітальними параметрами виділяють три основні класи об'єктів: класичні, що мають близькі до кругових орбіти з великою піввіссю 39–48 а.о.; резонансні, орбітальні періоди яких знаходяться в резонансі із обертанням Нептуна; об'єкти розсіяного диску з великими ексцентриситетами та нахилами орбіт. Класичні тіла в свою чергу поділяються на динамічно спокійну “холодну” та динамічно збуджену “гарячу” популяції. До кентаврів відносять тіла, у яких значення перигелійної відстані та великої півосі знаходяться між значеннями великих півосей орбіт Юпітера і Нептуна (5.2–30 а.о.) [9].

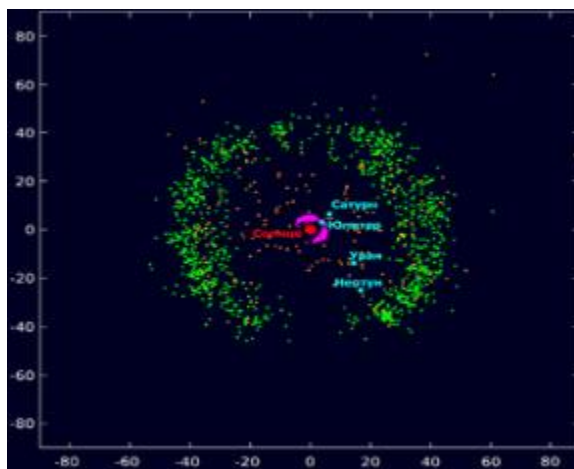


Рис.1. Зображення Сонячної системи

Відкриття поясу Койпера привело до істотного перегляду наявних моделей еволюції Сонячної системи, однак дотепер жодна з них не здатна пояснити складну динамічну структуру її зовнішньої частини. Найбільш популярною є модель міграції планет-гігантів, з якої випливає, що сучасне населення поясу Койпера являє собою залишки планетезималей, що утворилися в різних частинах протопланетного диску. Вважається, що “холодна” популяція класичних тіл і деякі резонансні об'єкти сформувалися в тих областях Сонячної системи, де вони перебувають сьогодні, а інші транснептунові тіла потрапили на сучасні орбіти із

внутрішньої частини Сонячної системи [14]. Відзначаємо подібність поясу Койпера та поясу астероїдів і важливість порівняння їх фізичних властивостей для кращого розуміння походження й еволюції тіл Сонячної системи.

Результати фотометричних спостережень малих тіл українськими та закордонними науковцями. Основні фотометричні спостереження обраних астероїдів головного поясу було виконано багатьма українськими дослідниками, але нас зацікавило дослідження українського науковця доктора фізико-математичних наук Бельської Ірини Миколаївни. В період з 1989–2006 рр. за допомогою 0.7-м телескопа НДІ астрономії Харківського національного університету та 1-м телескопа Симеїзького відділення Кримської астрофізичної обсерваторії [5–7, 9, 10, 11, 27, 30] вона детально здійснила фотометричні спостереження вище названих космічних об'єктів. Епізодично, в рамках спільних програм спостережень кривих блиску нею використовувалися інші телескопи, а саме, 0.6-м телескоп ГАО НАН України (г. Майданак, Узбекистан) [1]; 0.6-м шведський телескоп (Канарські острови, Іспанія) [1, 2, 6]; 0.5-м, 0.6-м та 1-м телескопи Південної європейської обсерваторії (Чілі) [2, 6, 9].

Бельською І. М. проведено детальне спостереження кентаврів і тіл поясу Койпера в 2001–2006 рр. з використанням 1.5-м телескопа обсерваторії С'єрра-Невада (Іспанія) [2,3,4,6], 2-м телескопа обсерваторії Рожен (Болгарія) [7], 3.6-м та 8.2-м телескопів Південної європейської обсерваторії (Чілі) [16].

У дисертації на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук Бельською Іриною Миколаївною висвітлено результати вимірювання періодів обертання та фазових залежностей блиску астероїдів головного поясу з різними композиційними типами поверхні. Для 21 астероїда періоди обертання визначено вперше або істотно уточнені попередні вимірювання раніше відомих [1, 2, 5, 6, 8–10, 17]. Результати спостережень Бельської Ірини Миколаївни увійшли до фотометричного каталогу, створеного за її участю [17]. У її роботі підкреслено важливість адекватного врахування варіацій блиску, пов'язаних з обертанням, при побудові фазових залежностей блиску та детально обговорюється вимірюваний хід фазових залежностей блиску астероїдів 20 Массалія (S-тип), 214 Ашера (E-тип), 303 Жозефіна (C-тип), 313 Чалдея (C-тип), 419

Аврелія (F-тип), 620 Драконія (E-тип) і 1021 Фламмаріо (F-тип).

Наведено результати спостережень фазової залежності блиску класичного тіла поясу Койпера 20000 Варуна [22]. Знайдено вказівки на наявність подібного вузького опозиційного піку в фазових залежностях блиску кентавра 10370 Хілонома, транс-нептунового тіла 15789 (1993 SC) і карликової планети 136199 Еріс. Виявлено збільшення амплітуди кривої блиску Варуни в області опозиційного піку в порівнянні із амплітудою при більших фазових кутах, що може бути пов'язане з варіаціями розсіювальних властивостей поверхні цього тіла.

Основні завдання дослідження:

- провести детальне дослідження фотометричних і поляриметричних спостережень обраних астероїдів головного поясу з різними властивостями відбивання світла;
- вивчити методи дослідження оптичних властивостей поверхонь астероїдів та тіл поясу Койпера;
- дослідити астероїди різних динамічних груп і різних типів поверхонь, у тому числі рідкісних композиційних типів;
- вивчити та проаналізувати класифікацію тіл поясу Койпера за оптичними типами їх поверхонь.

Вивчити та дослідити міжнародну базу даних “Asteroid Photometric Catalogue” (<http://asteroid.astro.helsinki.fi>), “Planetary Data System, NASA” (<http://www.topcoder.com/solarsystem/pds>), “Photometric Database for Kuiper Belt Objects” (http://www.thelivingmoon.com/43ancients/02files/Sedna_01.html).

Дослідити астероїди, які досліджувалися космічною місією “Rosetta” Європейського космічного агентства (<http://www.dlr.de>).

Дослідження показників кольору кентаврів і тіл поясу Койпера. На основі отриманих з мережі Інтернет останніх спостережних даних здійснити відбір однорідних вимірювань показників кольору кентаврів і тіл поясу Койпера у видимій і ближній інфрачервоній ділянках спектра.

Розглянути взаємозв'язки оптичних властивостей поверхонь малих тіл з

різними орбітальними характеристиками, критерії і результати класифікації транснептунових тіл за типами поверхонь та розподілом класів об'єктів у поясі Койпера. Необхідно відзначити, що астероїди F-типу, відрізняються аномальними поляриметричними властивостями, також виділяються за своїми динамічними характеристиками. Астероїди цього типу зустрічаються переважно у внутрішній зоні головного поясу астероїдів, на відміну від інших низькоальбедних тіл[17].

Детально описати виявлені залежності й дати їм можливу інтерпретацію з точки зору відповідності наявним динамічним моделям. Відзначається виявлена бімодальність у розподілі кентаврів за показниками кольору B–V та V–R (рис.2.), що може свідчити на користь припущення про два різні джерела походження цих тіл[17]. На більшому спостережному матеріалі підтверджені кореляції показників кольору класичних тіл з нахилами орбіт і перигелійними відстанями. Показано, що динамічно “холодні” класичні тіла характеризуються показниками кольору $B-R > 1.5^m$, тобто їхні поверхні є більш “червоними” у порівнянні з динамічно “гарячою” популяцією транснептунових тіл [14].

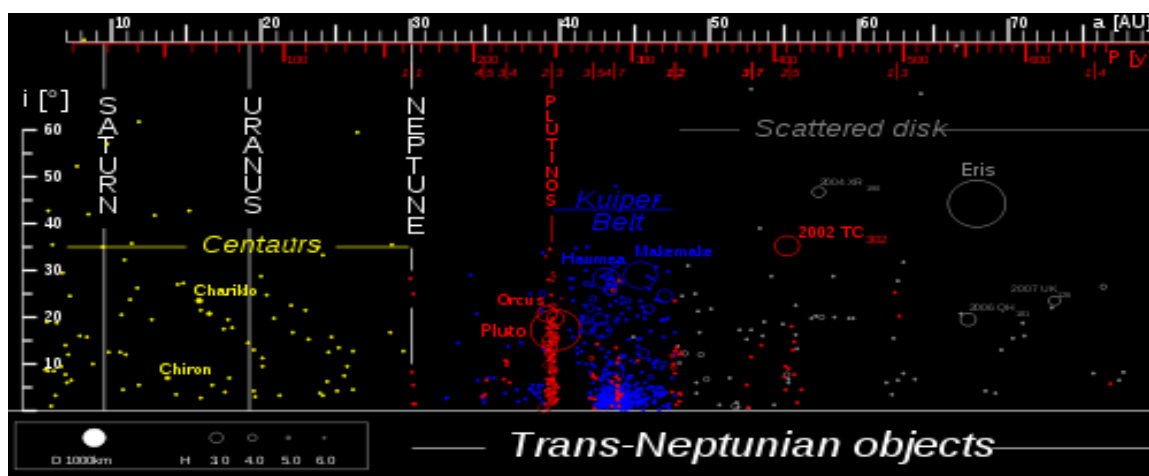


Рис.2. Зображення поясу Койпера

На діаграмі показані великі півосі і нахилення орбіт ТНО (включаючи об'єкти поясу Койпера). У лівій частині для порівняння поміщені кентаври. Резонансні об'єкти позначені червоним кольором.

У наведеній нижче таблиці перераховані транснептунові об'єкти з діаметром, що перевищує 800 км, і надані їх параметри:

Об'єкт	Абс.зор.величина (H)	Діаметр, км	Тип	Кількість супутників
Еріда	-1,19 [51]	~ 2340	Об'єкт розсіяного диска	1
Плутон - Харон	-0,70 I 1	2320 і 1207	Плутіно	3
Хаумеа	0,00	~ 1600	Кьюбівано	2

<u>Седна</u>	1,58	~ 1600	Об'єкт <u>хмари Оорта</u>	0
<u>Макемаке</u>	-0,44	~ 1480	Кьюбівано	0
<u>Орк</u>	2,2	~ 946	Плутіно	1
<u>Кварвар</u>	2,6	~ 890	Кьюбівано	1
			Інші	
<u>2002 TC₃₀₂</u>	3,8	~ 1145		0
			резонуючі об'єкти	
<u>Варуна</u>	3,7	~ 800	Кьюбівано	0
<u>2002 UX₂₅</u>	3,6	~ 910	Кьюбівано	0
<u>2002 AW₁₉₇</u>	3,2	~ 890	Об'єкт розсіяного диска	0
<u>2007 OR₁₀</u>	1,7	~ 875	Об'єкт розсіяного диска	0
<u>Іксион</u>	3,2	~ 820	Плутіно	0

Ці дані підтверджують класифікацію транснептунових тіл за типами поверхні [19].

Дослідження класифікації транснептунових тіл через мережу Інтернет.

Через мережу Інтернет дослідити результати провідних світових обсерваторій щодо класифікації 85-ти транснептунових тіл з використанням різної кількості показників кольору – від 3-х до 6-ти.



Рис.3. Порівняльні розміри найбільших ТНО і Землі

Проаналізувати розподіл таксономічних класів відносно орбітальних характеристик з наступними закономірностями:

- 1) популяція кентаврів відноситься або до BR, або до RR-типу, підтверджуючи бімодальний розподіл цих об'єктів. Єдиним винятком є Хірон, віднесений до BB-типу, тобто його поверхня більш “блакитна” порівняно з BR-типом, що, однак, не порушує відзначену бімодальність популяції кентаврів;
- 2) RR-тип зустрічається у всіх динамічних групах, але найбільша кількість цих об'єктів належить до популяції класичних тіл. При цьому в їхньому розподілі

за нахилами орбіт простежується надлишок “червоних” тіл на орбітах з невеликими нахилами ($i < 4^\circ$);

- 3) простежується надлишок “блакитних” тіл ВВ-типу на орбітах з великими нахилами. Вірогідно, саме тіла ВВ-типу є представниками так званої динамічно “гарячої” популяції транснептунових тіл.

У запропоновані класифікації транснептунових тіл за показниками кольору їх поверхонь вивчити сучасний фізико-хімічний стан цих тіл. Відсутність інших фундаментальних даних про їх властивості (наприклад, альbedo, розмір, маса) не дає змогу зробити вибір між можливими сценаріями еволюції тіл поясу Койпера. Відповідно можна відзначити два найпростіших сценарії, що пояснюють існування різних типів поверхні:

1. Різні типи вказують на різну еволюційну історію транснептунових тіл, а відмінність поверхонь від ВВ до RR-типу вказує на різний час впливу на поверхню тіла різноманітних космогенних процесів. У цьому випадку кожен з типів представляє різну стадію еволюції популяції транснептунових тіл.

2. Тип поверхні відображає первісну відмінність речовини цих тіл. В цьому випадку RR-тип представляє найбільш примітивні за складом об'єкти “холодної” популяції транснептунових тіл, а тіла ВВ-типу містять зразки речовини, що сформувалася при більш високих температурах і занесена на транснептунові орбіти в результаті еволюції (“гаряча” популяція). Проміжні BR та IR-типи можуть представляти наслідки “старіння” поверхонь ВВ й RR-типів відповідно [17].

Дослідження астероїдів засобами космічної місії “Rosetta” . Метою місії був підліт до комети Чурюмова-Герасименко та її дослідження, а також дослідження одного або двох астероїдів на шляху проходження космічного апарата. В якості дослідження об'єктів було запропоновано 9 астероїдів, вибір яких був зроблений виходячи з орбітальних характеристик, необхідних для наближення космічного апарата до астероїда. З 9-ти кандидатів було відібрано два об'єкти, найцікавіших з точки зору головної мети місії – вивчення походження Сонячної системи. Основними критеріями відбору об'єктів дослідження були: композиційний тип поверхні астероїдів, переважно С, М або Е, що раніше

практично не досліджувалися в ході космічних місій, і розмір тіла. Також, здійснити спостереження всіх астероїдів-кандидатів, за результатами яких вдалося визначити композиційний тип поверхні, оцінити розміри та зробити обґрунтований вибір цілей місії [13]. Вдалий запуск космічного апарату “Rosetta” у березні 2004 р. дав змогу вибрати один з оптимальніших варіантів з усіх можливих об’єктів дослідження – астероїди 21 Лютеція (М або С-тип) і 2867 Штейнс (Е-тип) [18].

Відзначено, що незважаючи на наявні чисельні спостереження астероїда 21 Лютеція, його класифікація залишається неоднозначною. Спектральні та поляриметричні спостереження цього астероїда показують подібність матеріалу його поверхні до вуглих хондритів CV3 і C3 типів з відносно низьким вмістом вуглецю [13].

Фізичні спостереження астероїда 2867 Штейнс були розпочаті тільки в 2004 р., коли цей астероїд був оголошений можливим кандидатом для дослідження космічним апаратом. Наведено результати перших спектроскопічних спостережень цього астероїда в інтервалі 0.8–2.5 мкм, що показали наявність смуги поглинання поблизу 0.5 мкм, слабку депресію на 0.96 мкм, а далі плоский, без особливостей спектральний хід. Такий спектр є характерним для деяких астероїдів Е-типу, зокрема, для 64 Ангеліна.

Обігнувши Сонце, Розетта 5 вересня 2008 року, перебуваючи в головному поясі астероїдів наблизилася на 850 кілометрів до астероїда Штейнс (№ 2867) і передала на Землю його зображення та інші наукові дані про нього. Ця мала планета 2867 була відкрита 4 листопада 1969 року Миколою Степановичем Чернихом у Криму й названа на честь відомого латиського астронома професора Карла Августовича Штейнса – фахівця з космогонії комет.



Мал.4. Астероїд Штейнс № 2867 5 вересня 2008 р. («Розетта»)

Повертаючись із пояса астероїдів до Сонця, Розетта в листопаді 2009 р. знову пролетіла поблизу Землі й, зробивши свій четвертий гравітаційний маневр, перейшла на остаточну орбіту польоту до комети Чурюмова-Герасименко. Обігнувши втретє Сонце, Розетта 10 липня 2010 року пролетіла поблизу великого астероїда Лютеції (№ 21) (за оцінкою із Землі діаметром 99 км), сфотографувавши його. Лютеція – астероїд неправильної форми розмірами 132x101x76 км. Астероїд 21 Лютецію відкрив 15 листопада 1852 року Г. Гольдшмидт [11].



Мал. 5. Астероїд Лютеція № 21 10 липня 2010 р. («Розетта»)

Після прольоту поблизу Лютеції всі прилади Розетти були переведені в «очікуваний» режим майже на 4 роки до підльоту до ядра комети Чурюмова-Герасименко.

Відзначемо важливість порівняння результатів до польотних спостережень цих астероїдів із результатами, отриманими в ході виконання космічної місії, для перевірки й подальшого розвитку методів дистанційного зондування тіл Сонячної системи[17].

Джерела інформації мережі Інтернет використані для дослідження астероїдів, кентаврів і тіл поясу Койпера. Дані для дослідження астероїдів, кентаврів і тіл поясу Койпера за результатами спостережень провідних інститутів

та обсерваторій світу через мережу Інтернет, включаючи обсерваторії південної півкулі можна знайти на сайтах:

- **Національна оптична астрономічна обсерваторія** (NOAO, США):
<http://www.noao.edu/noao.html>. Через цей сервер можна вийти на сторінки знаменитих обсерваторій Маунт Вілсон, Маунт Паломар і Кат Пік.
- **Національна радіоастрономічна обсерваторія** (NROO, США):
<http://www.nrao.edu/>.
- **Інститут космічного телескопа ім. Хаббла** (STSc, США):
<http://marvel.stsci.edu/>.
- **Обсерваторія ім. В. М. Кека** (США, Гавайські острови). Має два найбільших на сьогодні оптичних телескопи із сегментованими 18-метровими дзеркалами: <http://astro.caltech.edu/>.
- **Центр астрофізики Гарвардського університету** (Cf, США):
<http://cfa-www.harvard.edu/>.
- **Національний астрономічний і іоносферний центр в Аресібо** (NAIC, США): <http://www.naic.edu/>.
- **Сонячна обсерваторія Біз Бер** (BBSO, США):
<http://www.bbso.njit.edu/>.
- **Обсерваторія Сьєрро Тололо** (СТІО, Чилі):
<http://www.ctio.noao.edu/>.
- **Південна європейська обсерваторія** (ESO):
<http://www.eso.org/>.
- **Англо-Австралійська обсерваторія** (ААО, Австралія):
<http://www.aao.gov.au/>.
- **Радіоастрономічна обсерваторія Джодрелл Бенк** (Англія):
<http://www.jb.man.ac.uk/>.
- **Група ім. І. Ньютона** (ING, о. Ла-Пальма, Канарські острова):
<http://www.ing.iac.es/>.
- **Об'єднаний астрономічний центр** (Гавайські острови):
<http://www.jach.hawaii.edu/>.

- *Інститут астрономії товариства Макса Планка* (MPIA, ФРН, Гайдельберг): <http://www.mpia-hd.mpg.de/>.
- *Інститут астрофізики товариства Макса Планка* (MPA, ФРН, Гархінг): <http://www.mpa-garching.mpg.de/>.
- *Інститут радіоастрономії товариства Макса Планка* (Бонн, Німеччина MPIf): <http://www.mpifr-bonn.mpg.de/>. Має найбільший повноповоротний радіотелескоп з діаметром дзеркала 109 м.
- *Інститут астрономії Віденського університету* (Австрія): <http://www.astro.univie.ac.at/>.
- *Обсерваторія Блакитного берега* (ОСА, Франція): <http://www.obs-nice.fr/>.
- *Обсерваторії Маунт Стромло і Сайдінг Спрінг* (Австралія): <http://msowwww.anu.edu.au/>.
- *Південно-Африканська астрономічна обсерваторія* (ПАР): <http://www.sao.ac.za/>.
- *Національна астрономічна обсерваторія Японії* (NAOJ): <http://www.nao.ac.jp/> [3].

Після дослідження астероїдів, кентаврів і тіл поясу Койпера необхідно підготувати висновок та звіт про проведену роботу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ТА РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Веб-сайт «Астроосвіта» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://astroosvita.kiev.ua/> – (Сайт астрономічної освіти) .
2. Веб-сайт «Астрономічна обсерваторія» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.observe.univ.kiev.ua> – (Сайт Астрономічної обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка)
3. Веб-сайт “Астрономія для всіх ” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://yuriy-myroshnichenko.edukit.kiev.ua/> – (Персональний сайт Ю.Б. Мирошніченка).
4. Веб-сайт «Астрономічні новини NASA. Новини космосу.» [Електронний ресурс].–Режим доступу: <http://www.nasa.gov/> - (Сайт астрономічних новин)
5. Веб-сайт «Астрофизика высоких энергий» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://hea.iki.rssi.ru/ru/index.php/> – (Сайт відділу Астрофізики високих енергій).
6. Веб-сайт «Космічного агентства ЕКА» [Електронний ресурс].–Режим доступу: <http://www.esa.int/rosetta> (Сайт космічного агентства ЕКА) .
7. Веб-сайт «Космічного агентства DLR» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dlr.de> – (Космічне агентство DLR).

8. Веб-сайт «Кафедра астрономії та фізики космосу» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://space.univ.kiev.ua/viewpage.php?page_id=1/ – (Кафедра астрономії та фізики космосу, Фізичний факультет, Київський національний університет імені Тараса Шевченка)
9. Веб-сайт «Київський планетарій » [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kievplanet.org.ua/> – (Сайт Київського планетарію)
10. Веб-сайт «Наукова бібліотека» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.library.ukma.kiev.ua/> – (Наукова бібліотека)
11. Веб-сайт «Вікіпедія» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uk.wikipedia.org/wiki/> – (Довідковий сайт)
12. Витязев А.В., Печерникова Г.В., Сафронов В.С. Планеты земной группы: Происхождение и ранняя эволюция. М.: Наука, 1990.
13. Прянишников В.И. Занимательная астрономия в школе (Пособие для учителей.) / В.И. Прянишников. – М.: Просвещение, 1970. – 127 с.
14. Чурюмов К.И., Пугач А.Ф. Небо без чудес/ К.И. Чурюмов, А.Ф. Пугач. – К.: Издательство политической литературы Украины, 1987. – 120 с.
15. Ксанфомаліті Л.В., Чурюмов К.І. Планети біля інших зір. Журнал «Наше Небо» 2009, - 1, с.24-28
16. Ксанфомаліті Л.В., Чурюмов К.І. Планети біля інших зір-2. Журнал «Наше Небо» 2011, - 1, с.22-26
17. Belskaya I.N., Dovgopol A.N., Erikson A., Lagerkvist C.-I., Oja T. Physical studies of asteroids. XXVII. Photoelectric photometry of asteroids 14 Irene, 54 Alexandra and 56 Melete // Astron. Astroph. Suppl. Ser. – 2013. – Vol. 101. – P. 507–511.
18. Mishchenko M. I., Dlugach J. M. Coherent backscatter and the opposition effect for E-type asteroids // Planetary Space Sci. – 2013. – Vol. 41. – P. 173–181.
19. Muinonen K. Coherent backscattering by Solar system dust particles // In: IAU Symposium No. 160, Asteroids, Comets, Meteors 2013 (A. Milani et al., Eds.), Kluwer Academic Publisher, Dordrecht/ – 2014. – P. 271– 296.
20. Muinonen K. Coherent backscattering of light by complex random media of spherical scatterers: Numerical solution // Waves in Random Media. – 2004. – Vol. 14 (3). – P. 365-388.
21. Muinonen K., Piironen J., Shkuratov Yu.G., Ovcharenko A.A., Clark B.E. Asteroid photometric and polarimetric phase effect // In: *Asteroids III* (W. Bottke et al. eds.), Univ. of Arizona, Tucson. – 2002. – P.123–138.
22. Rosenbush V.K., Kiselev N.N., Shevchenko V.G., Jockers K., Shakhovskoy N.M., Efimov Yu.S. Polarization and brightness opposition effects for the E-type Asteroid 64 Angelina // Icarus. – 2005. – Vol. 178. – P. 222-234.