

**РІВНЕНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ГУМАНІТАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Кафедра методики викладання фізики і хімії**

Електронний збірник науково-методичних праць

**ТЕОРІЯ ТА МЕТОДИКА ВИВЧЕННЯ**  
**ПРИРОДНИЧО-МАТЕМАТИЧНИХ І ТЕХНІЧНИХ ДИСЦИПЛІН**

Електронний збірник науково-методичних праць  
Рівненського державного гуманітарного університету

**Випуск 20**

**Рівне – 2017**

УДК: 370:371:372:373:378

ББК 74.20

Т 59

Збірник науково-методичних праць “Теорія та методика вивчення природничо-математичних і технічних дисциплін”. Наукові записки Рівненського державного гуманітарного університету. Випуск 20. – Рівне: Волинські обереги, 2017 р. – 175 с.

ISBN 978-966-416-187-6

Даний збірник науково-методичних праць містить статті з актуальних проблем теорії та методики навчання природничо-математичних дисциплін, методики і техніки навчального експерименту, зокрема, шкільного фізичного експерименту, з проблем організації і проведення дослідництва учнів. У ряді праць висвітлено процес становлення експериментального методу пізнання природничих наук, зокрема показано історію становлення і розвитку наукового фізичного експерименту. Опубліковані матеріали можуть бути корисними для науковців, використані учителями фізиками та інших природничих дисциплін, викладачами дидактики фізики, студентами природничо-математичних спеціальностей педагогічних університетів.

УДК: 370:371:372:373:378

ББК 74.20

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ** (затверджена Вченою радою РДГУ 26.05.2016 р., протокол № 5):

**Головний редактор:** Тищук Віталій Іванович, кандидат педагогічних наук, професор, зав. кафедри Методики викладання фізики і хімії РДГУ.

**Заступники головного редактора:**

1. **Галатюк Юрій Михайлович**, кандидат педагогічних наук, професор кафедри Методики викладання фізики і хімії.
2. **Семещук Ігор Лаврентійович**, кандидат педагогічних наук, доцент кафедри Методики викладання фізики і хімії.

**Члени редакційної колегії:**

1. **Бомба Андрій Ярославович**, доктор технічних наук, професор кафедри інформатики та прикладної математики;
2. **Вербець Владислав Володимирович**, доктор педагогічних наук, професор кафедри соціології;
4. **Грицай Наталія Богданівна**, доктор педагогічних наук, професор кафедри біології;
5. **Карпенчук Світлана Григорівна**, доктор педагогічних наук, професор кафедри теорії і методики виховання;
6. **Колупасів Борис Сергійович**, доктор хімічних наук, професор, зав. кафедри фізики;
7. **Лісова Світлана Валеріївна**, доктор педагогічних наук, професор, зав. кафедри теорії і методики професійної освіти;
8. **Лисиця Андрій Вікторович**, доктор біологічних наук, професор кафедри екології, географії і туризму;
9. **Литвиненко Світлана Анатоліївна**, доктор педагогічних наук, професор кафедри вікової і педагогічної психології;
10. **Малафійк Іван Васильович**, доктор педагогічних наук, професор, зав. кафедри загальної і соціальної педагогіки та управління освітою;
11. **Пелех Юрій Володимирович**, доктор педагогічних наук, професор; проректор з науково-педагогічної та навчально-методичної роботи;
11. **Петренко Оксана Борисівна**, доктор педагогічних наук, професор, зав. кафедри теорії і методики виховання;
12. **Руденко Володимир Миколайович**, доктор педагогічних наук, професор кафедри інформаційно-комунікаційних технологій та методики викладання інформатики;

*Друкується за рішенням Вченої Ради Рівненського державного гуманітарного університету  
(протокол № 5 від 26 травня 2016 р.).*

За достовірність фактів, дат, назв і т. п. відповідають автори статей. Думки авторів можуть не збігатись з позицією редколегії. Рукописи після рецензії не повертаються.

Адреса редакції: 33000, м. Рівне, вул. Остафова, 31. Рівненський державний гуманітарний університет

ISBN 978-966-416-187-6

© Рівненський державний гуманітарний університет, 2016

## Зміст

1. ГАЛАТЮК Т.Ю., ГАЛАТЮК Ю.М., ГАЛАТЮК М.Ю. Методологічна культура навчально-пізнавальної діяльності в контексті стандарту освітньої галузі “природознавство”.....	3
2. ГРИЦАЙ Н.Б. Методична підготовка майбутніх учителів біології в університетах Франції.....	6
3. КАРПЕНЧУК С.Г. Європейські цінності – цінності загальнолюдські .....	9
4. МИСЛІНЧУК В.О., СЕМЕЩУК І.Л. Використання моделі саморобної карти поясного часу для формування знань учнів про принципи вимірювання часу в астрономії.....	17
5. СЕМЕРНЯ О.М. Безпека життєдіяльності і методика навчання фізики у підготовці майбутнього учителя фізики.....	19
6. МАРТИНЮК Г.В. Композиційні полімерні матеріали - новий напрям сучасної хімічної технології (тема: „основи хімії вмс”).....	24
7. САВОШ В.О. Формування самостійної пізнавальної діяльності старшокласників на заняттях з фізики засобами методу моделювання.....	26
8. ШЕВЧУК В.П., ТИЩУК В.І. Методика застосування мультимедійних комплексів на уроках фізики.....	33
9. СЕМЕЩУК І.Л., ПІНЧУК Р.О. Використання методу найменших квадратів при розв’язуванні експериментальних фізичних задач .....	37
10. ТИЩУК В.І., ШИШКІН Г.О. Методика проведення спостережень при вивченні фізики в середній загальноосвітній школі.....	46.
11. ПАДАЛКО А., ПАДАЛКО Н., СОБЧУК О. Формування пізнавальної діяльності студентів засобами інформаційних технологій.....	58
12. БУРЯК Ю.В. Застосування комп’ютерних технологій у навчальному фізичному експерименті.....	61
13. МСНЯЙЛОВ С.М., ТИЩУК В.І. Активізація пізнавальної діяльності студентів під час аудиторних занять з фізики.....	64
14. МУЛЯР В.П. Інформаційні технології в системі засобів навчання фізики.....	67
15. ВОЙТОВИЧ О.П. Творча діяльність учнів у міжпредметних проектах з фізики.....	70
16. ЖЕЛЮК О.М., ТИЩУК В.І. Комп’ютерний аналіз параметрів коливань фізичного маятника..	74
17. ШВАЙ О.Л. Лекційна форма організації самостійної пізнавальної діяльності студентів.....	78
18. ЛУЦЮК Т.В., ТИЩУК В.І. Шкільний фізичний експеримент як технологія формування творчого досвіду учнів.....	81
19. ТИЩУК В.І. Роль спостережень у фронтальному фізичному експерименті.....	86
20. ЛІСІНА Л.О. Конструювання учителем навчальних технологій як творчий процес.....	90
21. ГОЛОВКО М.В., ТИЩУК В.І. Удосконалення системи фізичної освіти як історично зумовлена провідна функція методичної науки.....	94
22. МОСІЄВИЧ О.С., ПОЛЩУК Н.В., ТИЩУК В.І. П’єр К’юрі (до 110-річчя трагічної загибелі видатного вченого).....	99
23. МОСІЄВИЧ О.С., ПОЛЩУК Н.В., ТИЩУК В.І. Марія Склодовська-К’юрі – людина світу, педагог, вчений (до 150-річчя з дня народження).....	101
24. ГОРЧАК Т.Г., ЛИСИЦЯ А.В. Використання в екологічній освіті студентів матеріалів про місцеві мінеральні ресурси на прикладі цеолітових туфів.....	106
25. АТАМАНЧУК П.С., НІКОЛАЄВ О.М., САМОЙЛЕНКО П.І. Модернізація содержания фізического образования в контексте раскрытия взаимосвязей науки, культуры искусства.....	116.
26. НЕЧИПОРУК Б.Д., ТИЩУК В.І., МАКСИМЦЕВ Ю.Р. Інновації при вивченні елементів схемотехніки в курсі фізики.....	123
27. МИСЛІНЧУК В.О., ТИЩУК В.І. Короткотривалі фронтальні лабораторні роботи з фізики у 8 і 9-х класах загальноосвітньої школи.....	129
28. КАСПЕРСЬКИЙ А.В., ШУТ М.І., ТИЩУК В.І. Принципи адаптивності при політехнічній підготовці вчителів фізики.....	133
19. СЕМЕРНЯ О.М., АТАМАНЧУК П.С., ТИЩУК В.І. Еталонні вимірники якості знань учнів з фізики.....	137

30. ГАЛАТЮК М.Ю., МИСЛІНЧУК В.О. Впровадження у навчальний процес творчих лабораторних робіт на основі інформаційно-комунікаційних технологій.....	146.
31. МЕНДЕРЕЦЬКИЙ В.В. Інформаційні технології навчання – основа перебудови лабораторного практикуму з фізики.....	150
32. КОЛУПАЄВ Б.С., ТИЩУК В.І. Інтегрований спецпрактикум з фізико-хімії полімерів та полімерних композитів.....	154
33. МАЛАФІЙК І.В. Складне знання: становлення і розвиток ідеї.....	157
34. БЕЗКОРОВАЙНА О.В. Актуальні аспекти створення виховного середовища як важливого засобу саморозвитку та особистісного самоствердження сучасного школяра.....	163
35. КУЧЕРУК О.Я. Стан математичної підготовки випускників загальноосвітніх середніх шкіл.....	169
36. ТРОХИМЧУК І.М. Форми організації дослідницької діяльності з екології .....	173
37. ПОЛІЩУК Н.В., ПОЛІЩУК В.Р. Особливості використання відеонаочності у процесі трудової підготовки.....	177
38. МИСЛІНЧУК В.О., СЕМЕЩУК І.Л. Методика виконання лабораторної роботи з курсу загальної астрономії: "рух і конфігурації планет. закони Кеплера".....	180

## НАУКОВЕ ЕЛЕКТРОННЕ ВИДАННЯ

*Теорія та методика вивчення природничо-математичних і технічних дисциплін*

### ЕЛЕКТРОННИЙ ЗБІРНИК НАУКОВО-МЕТОДИЧНИХ ПРАЦЬ

Рівненського державного гуманітарного університету

*Випуск 20*

Відповідальний за підготовку збірника до видання: Тищук В.І.

Комп'ютерна верстка: Власюк В.В.

**Т 59** Теорія та методика вивчення природничо-математичних і технічних дисциплін: Збірник науково-методичних праць: Рівненський державний гуманітарний університет. Вип. 20. – Рівне: Волинські обереги, 2017. – 182 с.

ISBN 978-966-416-187-6

Даний збірник науково методичних праць містить статті з актуальних проблем теорії та методики навчання природничо-математичних дисциплін, методики і техніки навчального експерименту, зокрема, шкільного фізичного експерименту, з проблем організації і проведення дослідництва учнів. У ряді праць висвітлено процес становлення експериментального методу пізнання природничих наук, зокрема показано історію становлення і розвитку фізичного експерименту.

Опубліковані матеріали можуть бути корисними для науковців, використані учителями фізиками і інших природничих дисциплін, викладачами методики фізики, студентами фізичних спеціальностей педагогічних університетів та інститутів.

**УДК: 370:371:372:373:378**

**ББК 74.20**

*Видавництво не несе відповідальності за зміст, ймовірні помилки і неточності видання*

Адреса редакції: 33028, м. Рівне, вул. Остафова, 31

Рівненський державний гуманітарний університет,

кафедра методики викладання фізики та хімії (тел. 22-67-75)

Підписано до друку 26.05.2016 р. Формат 60x84 1/8. Папір офсет.

Гарнітура «Times». Друк офсет. Ум. друк. арк. 22,32. Наклад 100 пр. Зам. 57.

Надруковано в друкарні видавництва «Волинські обереги».

33028 м. Рівне, вул. 16 Липня, 38; тел./факс: (0362) 62-03-97;

e-mail: oberegi@mail15.com

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єкта  
видавничої справи ДК № 270 від 07.12.2000 р.

заняття більш яскравими та наочними. Це, в свою чергу, значно підвищує інтерес учнів до курсу, розвиває пізнавальну активність і самостійну діяльність, образне мислення та уяву.

Відеонаочність є ефективним засобом пізнавальної діяльності учнів, який відкриває для вчителя широкі можливості вдосконалення навчального процесу, за допомогою неї вчитель може унаочнити матеріал, що вивчається, продемонструвати його нові та несподівані сторони невідомим раніше способом, що у свою чергу, підвищує інтерес учнів до предмета та сприяє поглибленню розумінню навчального матеріалу.

#### Список використаних джерел

1. Галузяк В.М. Педагогіка: навч. посібник / В.М. Галузяк, М.І. Сметанський, В.І. Шахов. – Вінниця: «Книга-Вега», 2003. – 416с.
2. Розробка дидактичних і методичних засобів з трудового навчання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kazedu.kz/referat/180852>. – Назва з екрану.
3. Вимоги до методів і організаційних форм трудового навчання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ua-referat.com> – Назва з екрану.
4. Учебная демонстрация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.kamkolb.ru/trud/uchebnaja\\_demonstracija.html](http://www.kamkolb.ru/trud/uchebnaja_demonstracija.html) – Назва з екрану. Важное значение использования средств наглядности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.kamkolb.ru/trud/vazhnoe\\_znachenie\\_ispolzovanija\\_sredstv\\_nagljadnosti.html](http://www.kamkolb.ru/trud/vazhnoe_znachenie_ispolzovanija_sredstv_nagljadnosti.html) – Назва з екрану.
5. Сейдаметова З.Н. Интегрированное практичне заняття з трудового навчання «Маніпулювання об'єктами в графічній програмі CORELDRAW»/ З. Н. Сейдаметова // Трудова підготовка в сучасній школі. –2013. –№ 2. – С. 14-17.
6. Іваницький О.І. Теоретичні і методичні основи підготовки майбутнього вчителя фізики до впровадження інноваційних технологій навчання: Дис ...д-ра пед. наук: 13.00.02 // Іваницький О.І. – К., 2005. – 492 с.
7. Туташинський В. Наочні посібники для трудового навчання та вимоги до них // Трудова підготовка в закладах освіти. –2000. –№4. –С.–37-40.
8. Новые педагогические и информационные технологии в системе образования: учеб. пособие [для студ. пед. вузов и системы повышения квалификации пед. кадров] / [Е.С. Полат, М.Ю. Бухаркина, М.В. Моисеева, А.Е. Петров]; под ред. Е.С. Полат. – М.: Издательский центр «Академия», 2000. – 272с.

УДК 372

МИСЛІНЧУК В.О., СЕМЕЩУК І.Л.

Рівненський державний гуманітарний університет

#### МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ З КУРСУ ЗАГАЛЬНОЇ АСТРОНОМІЇ: "РУХ І КОНФІГУРАЦІЇ ПЛАНЕТ. ЗАКОНИ КЕПЛЕРА"

*У статті розглядається методика виконання лабораторної роботи з курсу загальної астрономії. Показано приклади виконання типових завдань і побудов, зроблено підбір варіантів завдань для забезпечення високого рівня індивідуалізації студентів при вивченні законів Кеплера.*

*In article is considered methods of the performing the laboratory work from course of the general astronomy. Navedeny examples of the performance typical заданими buildings, is made selection variant tasks for ensuring high level individual action student.*

1. Теоретичні відомості (основні формули, означення). За особливостями руху і положенням Сонця планети поділені на дві групи: найближчі до Сонця Меркурій і Венера називаються *нижніми*, або *внутрішніми*, планетами, а всі інші – *верхніми*, або *зовнішніми*.

Проміжок часу, на протязі якого планета здійснює повний оберт навколо Сонця по своїй орбіті, називається сидеричним (або зоряним) періодом обертання (Т). Проміжок часу між двома однаковими конфігураціями планети – синодичним періодом (S).

Складні рухи планет дістали в теорії Коперника дуже просте пояснення. Нехай Земля перебуває на своїй круговій орбіті в точці *T*, Сонце *S* – у центрі орбіти, а орбіта внутрішньої планети розташована всередині земної (рис. 1). Внутрішня планета рухаючись із заходу на схід, може займати будь-яке положення відносно відмічених точками Землі і Сонця. Якщо вона

знаходиться у точці  $V_1$  то це її нижнє сполучення; в положенні  $V_2$  планета перебуває в найбільшій західній елонгації; в точці  $V_3$  вона знаходиться у верхньому сполученні; якщо планета в положенні  $V_4$  – це її найбільша східна елонгація (вечірня видимість). Кутова віддаль між центрами планети і Сонця називається елонгацією.

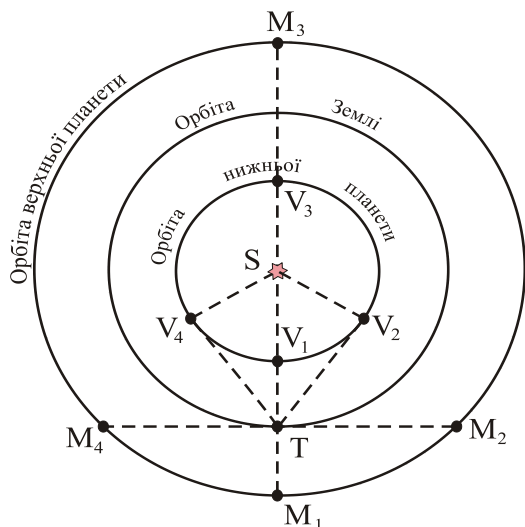


Рис. 1. Планетні конфігурації.

Орбіта зовнішньої планети на тому самому рисунку розташована зовні земної орбіти. Положення  $M_1$  означає протистояння планети,  $M_2$  – західну квадратуру,  $M_3$  – сполучення,  $M_4$  – східну квадратуру. Найменша віддаль між внутрішньою планетою і Землею буває в нижньому сполученні, а між зовнішньою планетою і Землею – в протистоянні. Близк планети збільшується при наближенні до Землі і ослаблюється при віддаленні від неї. Опис положень планет відносно Сонця і Землі називаються конфігураціями планет.

Спостережувані прямі і зворотні рухи планет є наслідком неоднакових лінійних швидкостей Землі і планет, з якими вони рухаються по своїх орбітах. Якщо внутрішня планета (рис. 2а) знаходиться поблизу нижнього сполучення  $V_1$  і за деякий проміжок часу пройде дугу  $a_1$  а Земля  $T_1$  рухаючись з меншою швидкістю, за той же проміжок часу пройде дугу  $b_1$

меншу, ніж  $a_1$  то Земля відстане від планети, і спостерігачеві здаватиметься, що вона рухається в зворотному напрямі за годинниковою стрілкою по дузі  $A_1$ . Поблизу верхнього сполучення планета  $V_2$  проходить дугу  $a_2$ , а Земля  $T_2$  за той самий час пройде в протилежному напрямі дугу  $b_2$ . У цьому разі спостерігачеві здається, що планета рухається по дузі  $A_2$ . Рух її прямий.

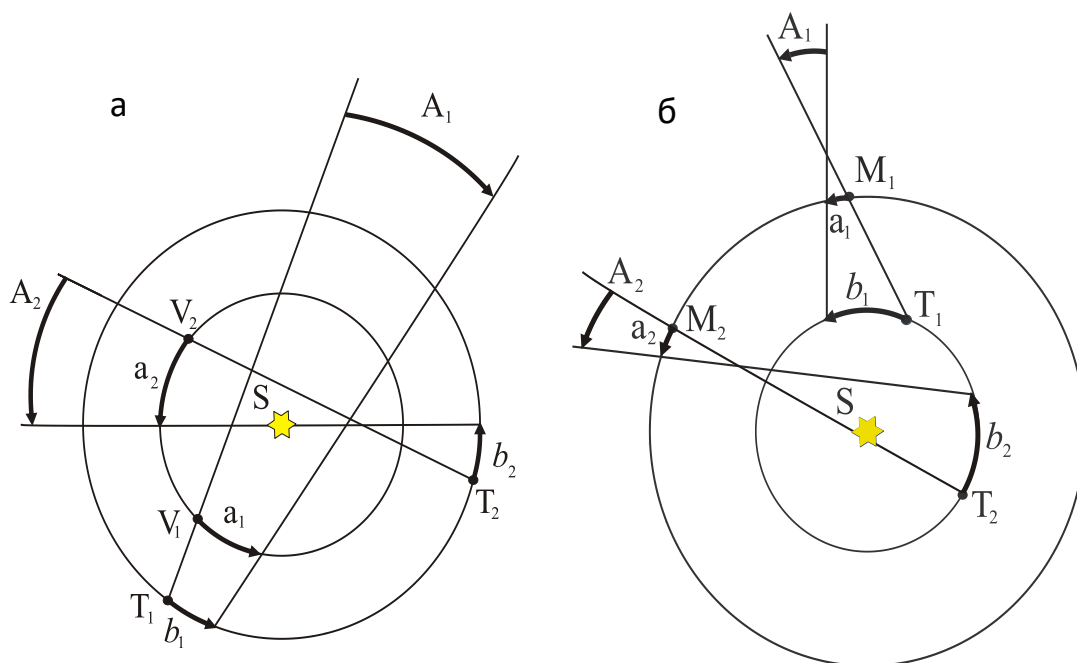


Рис.2. Прямий і зворотний рух внутрішньої (а) і зовнішньої (б) планети

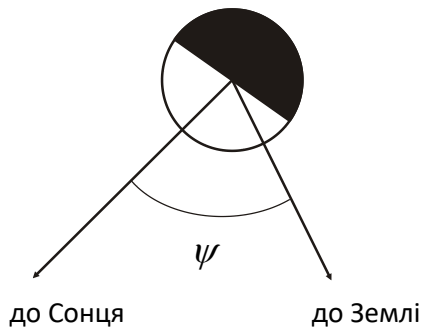


Рис. 3. Фаза і фазовий кут планети.

Коли верхня планета  $M_1$  перебуває поблизу протистояння і проходить дугу  $a_1$  Земля  $T_1$  рухаючись з більшою швидкістю, за той самий час проходить шлях  $b_1$ . Планета відстає від Землі, отже, рух її по дузі  $A_1$  здається зворотним (рис. 26). поблизу сполучення Земля  $T_2$  і планета  $M_2$  рухаються в протилежних напрямках і проходять дуги  $b_2$  і  $a_2$ . Спостерігачеві рух планети по дузі  $A_2$  здається прямим. Подібна побудова поблизу найбільших елонгацій і квадратур дає можливість легко впевнитись у тому, що тут трапляються стояння планет. Отже планети рухаються навколо Сонця в одному напрямку, і кожна з них через проміжок часу, рівний її

сидеричному періоду, здійснює один повний оберт навколо Сонця.

Через проміжок часу, рівному, наприклад, сидеричному періоду Землі ( $T_{\oplus}$ ), нижня планета обжене Землю, а верхня відстане від неї, тобто першочергова конфігурація планет не збережеться. Відповідно, синодичний період не рівний сидеричному. Для нижньої планети, яка рухається по

орбіті швидше Землі, можна записати:  $\frac{1}{S} = \frac{1}{T} + \frac{1}{T_{\oplus}}$ . А для верхньої планети, яка рухається

повільніше, ніж Земля, -  $\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{T}$ , де  $T_{\oplus} = 1$  рік (або 365,26 діб). Дві останні формули називаються формулами синодичного руху.

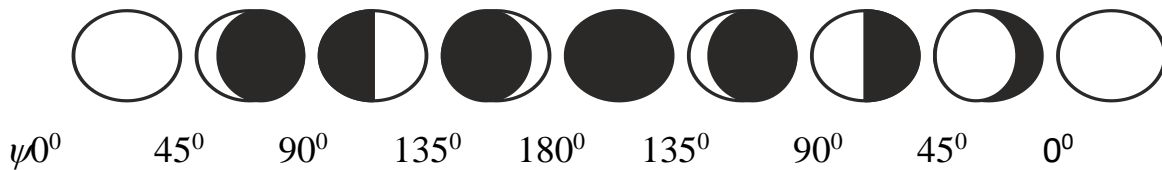


Рис. 4. Фази нижніх (внутрішніх) планет і Місяця

Для нижніх планет

Для верхніх планет

Кожна планета на протязі синодичного періоду займає різні положення по відношенню до Землі і сонця, що дозволяє спостерігати у планети зміну фаз. Фаза планети вимірюється відношенням площі освітленої частини видимого диску до всієї його площі. Кут між напрямком з планети на Сонце і Землю називається фазовим кутом  $\psi$ . Зв'язок між фазою  $\Phi$  і фазовим кутом  $\psi$  визначається формулою:

$\Phi = \cos^2 \frac{\psi}{2}$ . Фазовий кут для нижньої планети змінюється від  $0^\circ$  (верхнє сполучення) до  $180^\circ$  (нижнє

сполучення) і, відповідно, її фази змінюються від нуля до одиниці (рис. 4). Для верхніх планет фазовий кут ніколи не перевищує тієї максимальної величини, яка досягається в моменти квадратур (тобто тоді, коли Земля видна з планети у найвіддаленішій точці від Сонця). Для Марсу ця величина складає не більше  $48,3^\circ$ , для Юпітера –  $11^\circ$ . Тому для Марса фаза завжди не менша  $0,84$ , а для інших верхніх планет вона завжди дуже близька до одиниці.

Геліоцентричною довготою називається кут  $l$  між прямою "Сонце -  $\gamma$ " (Сонце – точка весняного рівнодення) і напрямком від Сонця до планети. Величина  $l$  відлічується проти руху годинникової стрілки від  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

Геліоцентрична довгота Землі позначається через  $L$ .

Геоцентричною довготою планети називається кут  $l'$  між прямою "Земля -  $\gamma$ " і напрямком від Землі на планету. Величина  $l'$  відлічується проти руху годинникової стрілки.

у нижньому сполученні:	$l - L = 0^{\circ}$	у протистоянні:	$l - L = 0^{\circ}$
у верхньому сполученні:	$l - L = 180^{\circ}$	у сполученні:	$l - L = 180^{\circ}$
у західній елонгації:		у західній квадратурі:	$l' - L = 90^{\circ}$
$l - L = 90^{\circ} - \Theta$		у східній квадратурі:	$l' - L = 270^{\circ}$
у східній елонгації:	$l - L = 270^{\circ} + \Theta$		

$\Theta$  - найбільше видиме кутове віддалення планети від Сонця (у Меркурія – 280, у Венери - 480).

Перший закон Кеплера. Усі планети рухаються по еліпсах, в одному з фокусів яких (спільному для всіх планет) знаходиться Сонце.

У сучасній математичній формі цей закон виражається рівнянням конічних перерізів (найчастіше в полярних координатах):  $r = \frac{p}{1 + e \cdot \cos \theta}$ , де  $r$  – радіус-вектор планети,  $e$  – ексцентриситет орбіти,  $\theta$  – полярний кут і  $p$  – півпараметр.

Розміри і форма еліптичної орбіти (рис. 6) визначаються: великою піввіссю еліпса  $a = PC = CA = F_1B = F_2B$  і малою піввіссю еліпса  $b = BC = B_1C$ . Замість малої півосі часто користуються ексцентриситетом еліпса, який визначають як відношення віддалі між фокусом і центром еліпса до величини великої півосі:

$$l = \frac{F_1C}{a}, \text{ або оскільки } F_1C = \sqrt{a^2 - b^2}, \text{ то } e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}, \text{ звідси } b^2 = a^2 \cdot (1 - e^2)$$

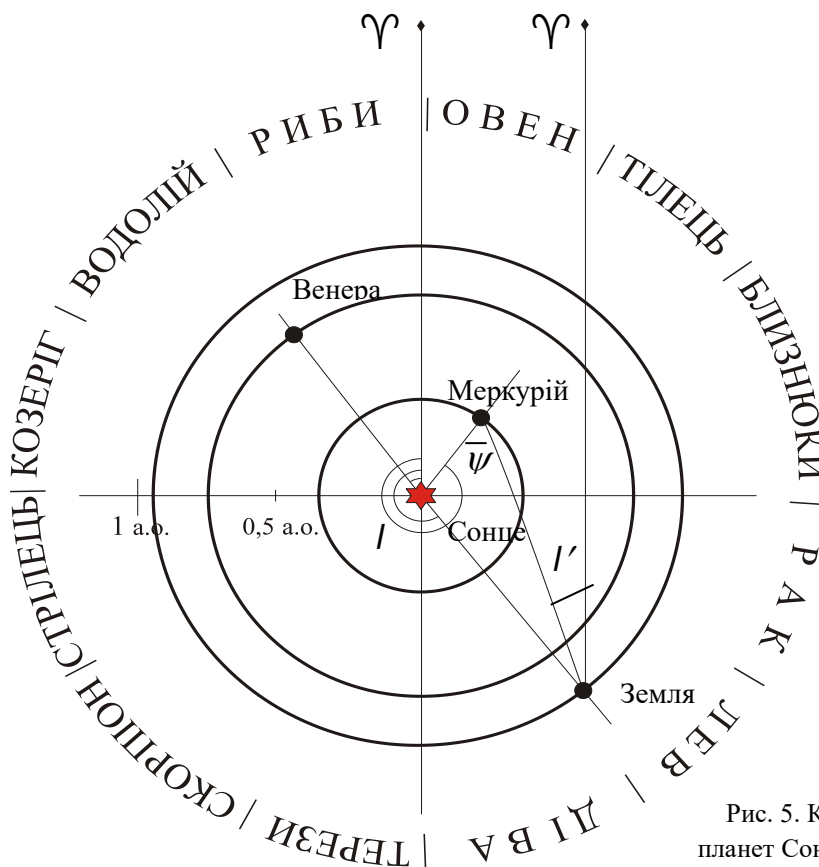


Рис. 5. Конфігурації внутрішніх планет Сонячної системи на 31 січня 2007 р.



Якщо Сонце знаходиться у фокусі  $F_1$  а планета – в найближчій до нього точці  $\Pi$ , то віддаль  $q=PF_1$  називається віддаллю перигелію, а точка  $\Pi$  – перигелієм; найбільша віддаль  $Q=F_1A$  називається віддаллю афелія, а точка  $A$  – афелієм.

$$q = a - F_1C = a \cdot (1 - e)$$

$$Q = a + F_1C = a \cdot (1 + e)$$

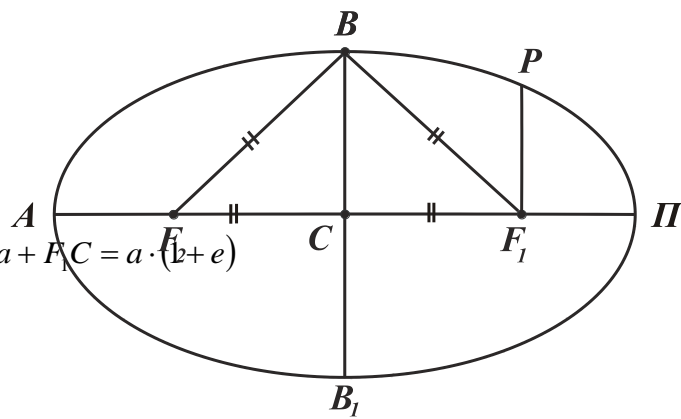


Рис. 6. Еліптична орбіта

$$a = \frac{Q + q}{2}$$

$$e = \frac{Q - q}{Q + q} = \frac{Q - q}{2a}$$

Відрізок, що з'єднує центри планет і Сонця, називається радіус-вектором планети, а кут  $\nu$  між радіусом-вектором і лінією апсид – справжньою аномалією. Півпараметр  $p$  є ординатою фокуса:  $p = a \cdot (1 - e^2)$ , або фокальною півхордою.

Для супутника планети віддаль  $PF_1$  називається перигеєм, а віддаль  $F_1A$  – апогеєм; для подвійних зір відповідно – периастром і апоастром.

Другий закон Кеплера. Радіус – вектор за рівні проміжки часу описує однакові площі.

У полярних і декартових координатах цей закон виражається так:

$$r^2 \frac{d\theta}{dt} = C \quad x \frac{dy}{dt} - y \frac{dx}{dt} = C$$

де  $C$  – константа, а  $x$  та  $y$  – поточні координати планети. Ліва частина останнього рівняння є подвоєна секторіальна швидкість. Обидва закони були опубліковані Кеплером у праці "Нова астрономія" в 1609 р. за кілька місяців до видання "Зоряного вісника" Галілеєм. Третій закон Кеплер відкрив лише через 9 років.

Сталість секторіальної швидкості планети свідчить про те, що лінійна швидкість її орбітального руху періодично змінюється разом із зміною радіуса-вектора  $r$ , причому

$v^2 = \mu \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)$ , де  $\mu = f(M_\odot + m)$ ,  $M_\odot$  і  $m$  – маси Сонця і планети,

$f = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{M^3}{кг \cdot c^2}$  – гравітаційна стала.

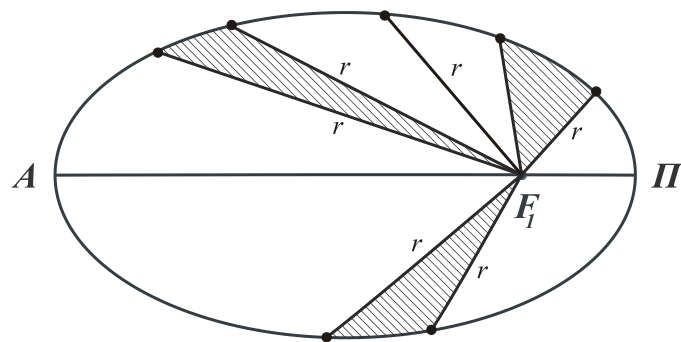


Рис. 7. Пояснення II закону Кеплера

Середня швидкість, що відповідає рухові планети по коловій орбіті радіуса

$a$ , записується у вигляді:  $v_c = \sqrt{\frac{\mu}{a}}$ . Або через сидеричний період обертання  $T$ :  $v_c = \frac{2\pi a}{T}$ . Слід

зауважити, що  $v_c$  – кругова швидкість. При русі тіла по параболі ( $a = \infty$ ) із формули

секторіальної швидкості слідує, що параболічна швидкість:  $v_{Параб} = v_c \sqrt{2} = \sqrt{\frac{2\mu}{a}}$ . Відповідно

швидкість еліптичного руху буде знаходитись у межах:  $v_C \langle v_E \langle v_{Параб}$ . Як видно з рівняння секторіальної швидкості, лінійна швидкість руху планети досягає максимального значення в перигелії ( $r = r_{II}$ ), а мінімального в афелії. Перигелійна і афелійна швидкості визначаються відповідно за формулами:

$$v_{II} = v_C \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \quad v_A = v_C \sqrt{\frac{1-e}{1+e}}$$

Третій закон Кеплера. Відношення квадратів періодів обертання двох довільних планет навколо Сонця пропорційне відношенню кубів великих півосей їхніх орбіт. Третій закон Кеплера записують наступним чином:

$\frac{T^2}{T_1^2} = \frac{a^3}{a_1^3}$ , де  $T$  і  $T_1$  – сидеричні періоди двох планет,  $a$  і  $a_1$  – великі

півосі їхніх орбіт. Останню формулу часто записують у вигляді:  $\frac{T^2}{a^3} = \frac{T_1^2}{a_1^3} = const$ . Якщо за

одиночку періодів брати сидеричний період обертання Землі  $T_I = 1$  рік і  $a_I = 1$ , то відношення  $\frac{T^2}{a^3} = 1$ , або  $T^2 = a^3$ .

Квадрати сидеричних періодів обертання планет навколо Сонця пропорційні кубам великих півосей їхніх орбіт. Закони Кеплера складають найважливіше доповнення геліоцентричної системи – кінематику незбуреного руху планет, що лежить в основі сучасної теоретичної астрономії.

Закони Кеплера справедливі і для руху супутників навколо своїх планет. Закони руху небесних світил є наслідком їх взаємодії за законом всесвітнього тяжіння – всі тіла притягуються одне до одного із силою, модуль якої прямо пропорційний добутку їх мас і обернено пропорційний квадрату відстані між ними. Закон всесвітнього тяжіння виражається формулою:

$F = f \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$ , де  $m_1$  і  $m_2$  – маси тіл;  $r$  – відстань між їх центрами;  $f$  – стала всесвітнього тяжіння

(гравітаційна стала)  $f = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{M^3}{кг \cdot c^2}$ . Ньютон вивів закони Кеплера із закону всесвітнього тяжіння.

Під дією сили тяжіння одне небесне тіло може рухатись відносно другого по кривій кінцевого перерізу – по колу, еліпсу, параболі і гіперболі. У цьому полягає перший узагальнений закон Кеплера. Для визначення мас небесних тіл важливе значення має узагальнення третього закону Кеплера на будь-які системи обертючих тіл.

Квадрати сидеричних періодів планет ( $T_1^2$  і  $T_2^2$ ), помножені на суму мас Сонця і планети ( $M_{\odot} + m_1$  і  $M_{\odot} + m_2$ ), відносяться як куби великих півосей орбіт планет ( $a_1^3$  і  $a_2^3$ ).

$\frac{T_1^2 (M_{\odot} + m_1)}{T_2^2 (M_{\odot} + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$ . Для будь-якої системи, яка складається з центрального тіла маси  $M$  і тіла

маси  $m$ , що обертається навколо нього з періодом  $T$  на середній віддалі  $a$  третій закон Кеплера з уточненням Ньютона зручно використати у вигляді:

$$\frac{T^2 (M + m)}{a^3} = \frac{4\pi^2}{f} = const.$$

Узагальнений третій закон Кеплера можна використовувати і до інших систем, наприклад до руху планети навколо Сонця і супутника навколо планети. Для цього порівнюють рух Місяця навколо Землі з рухом супутника навколо планети, масу якої потрібно визначити, при цьому масами супутників у порівнянні з масою центрального тіла нехтують. Тоді маса планети

визначається за формулою:  $M_{\text{Планети}} = \frac{T^2}{T_1^2} \cdot \frac{a_1^3}{a^3} M$ , де  $T_1$  і  $a_1$  – період і велика піввісь орбіти супутника планети.

## 2. Приклади розв'язування типових вправ.

Приклад №1. Визначити конфігурації планет і Землі на їх орбітах\*, знаючи геліоцентричні довготи планет  $l$  і геліоцентричну довготу Землі  $L$  на 31 січня 2002 р.

Дата	Планета	Геліоцентричні довготи $l$ , град.	Радіус $r$ , а.о.
2002 р. 31 січня	Меркурій	329,0	0,356
	Венера	35,0	0,724
	Земля	215,0	0,985

\* - дані про геліоцентричні довготи планет і відстані до них беруться із змінної частини астрономічного календаря для даного року (Таблиця 20 "Геліоцентрична довгота ( $l$ ), геліо- ( $r$ ) та геоцентрична ( $\rho$ ) відстані до планет").

Розв'язок: Відмічають положення планет і Землі на їх орбітах, використовуючи значення геліоцентричних довгот планет  $l$  і геліоцентричної довготи Землі  $L$  на вказану дату, довільно провівши лінію у напрямку до точки весняного рівнодення  $\Upsilon$  від Сонця (рис. 5). Радіуси кругів, які зображують орбіти планет необхідно будувати з урахуванням масштабу. За одиницю масштабу рекомендується взяти відстань від Землі до сонця – 1 а. о. = 149 600 000 км.

Визначивши положення Землі, проводять із даної точки пряму лінію у напрямку до точки весняного рівнодення, паралельну лінії Сонце -  $\Upsilon$ , і, з'єднавши лінією положення Землі з положенням планети на орбітах, вимірюємо геоцентричний кут транспортером

З допомогою транспортира визначаємо фазові кути планет Сонячної с. истеми. Обраховуємо фази планет. На основі виконаних побудов і обрахунків визначаємо конфігурації планет і в яких сузір'ях вони знаходяться на вказану дату. Результати обрахунків заносимо в звітну таблицю.

$$\Phi_{\text{Меркурій}} = \cos^2 \frac{\psi}{2} = \left( \cos \frac{\psi}{2} \right)^2 = \left( \cos \frac{50,0}{2} \right)^2 = (\cos 25^\circ)^2 = (0,9063)^2 = 0,821$$

$$\Phi_{\text{Венера}} = \cos^2 \frac{\psi}{2} = \left( \cos \frac{\psi}{2} \right)^2 = \left( \cos \frac{0,0}{2} \right)^2 = (\cos 0^\circ)^2 = 1$$

Планета	$l'$ , град	$\psi$ , град	$\Phi$	Сузір'я	Примітка
Меркурій	20,0	50,0	0,821	Риби	-
Венера	35,0	0,0	1	Водолій	Верхнє сполучення

Приклад №2. Як часто повторюються протистояння Марсу, сидеричний період якого рівний 1,9 року?

Дано:

$T_{\oplus} = 1$  рік

Знайти:

Розв'язок:

Оскільки Марс верхня планета, тому скористаємось наступною

формулою:  $\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{T}$ .

$$\frac{1}{S} = \frac{T - T_{\oplus}}{T_{\oplus} \cdot T} \quad S = \frac{T_{\oplus} \cdot T}{T - T_{\oplus}}$$

Відповідь: Протистояння Марсу повторюються приблизно через 2,1 року.

Приклад 3. Обрахувати масу Юпітера, знаючи, що його супутник Іо здійснює один оберт навколо планети за 0,77 доби, а велика піввісь його орбіти 422 тис. км.

Приклад 4. Обчислити параболічну швидкість на поверхні Місяця  $R = 0,27$  радіуса Землі,  $M = 1/81$  маси Землі.

Дано:  
 $m = M_{\oplus} = 1$   
 $T = 27,32$  доби  
 $a = 3,84 \cdot 10^5$  км  
 $T_I = 0,77$  доби  
 $a_I = 4,22 \cdot 10^5$  км

---

Знайти:  
 $M_{II} = ?$

Розв'язок:

Для розв'язку задачі порівняємо обертання Іо навколо Юпітера з обертанням Місяця навколо Землі. Визначимо масу Юпітера по відношенню до маси Землі, масу Землі прийнявши за одиницю

$$M_{II} = \frac{T^2}{T_1^2} \cdot \frac{a_1^3}{a^3} M_{\oplus}$$

$$M_{II} = \frac{(27,32)^2 \cdot (4,22 \cdot 10^5)^3}{(0,77)^2 \cdot (3,84 \cdot 10^5)^3} M_{\oplus} \approx 317 M_{\oplus}$$

Дано:  
 $R_L = 0,27 R_{\oplus}$   
 $M_L = 1/81 M_{\oplus}$

---

Знайти:  
 $V_{II} = ?$

Розв'язок:  $V_{II} = \sqrt{\frac{2\mu}{a}} \quad a = 0,27 R_{\oplus}$

$$\mu_L = f \frac{1}{81} M_{\oplus} \quad \mu_L = \frac{1}{81} \cdot 398600,5$$

$$V_{II} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1 \cdot 398600,5}{81 \cdot 6378 \cdot 0,27}} = \sqrt{5,7} \approx 2,4 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

Відповідь: Параболічна швидкість на поверхні Місяця приблизно 2,4 км/с.

Завдання до лабораторної роботи.

1. Визначте розміщення планет і Землі на їх орбітах, знаючи геліоцентричні довготи планет  $l$  і геліоцентричну довготу Землі  $L$  на вказану у варіанті дату. Графічно визначте геоцентричні довготи планет  $l'$ , та їх фазові кути. Обчисліть фази планет. Визначте конфігурації планет і в яких сузір'ях вони знаходяться на вказану дату. Отримані результати представте у вигляді таблиці.

Планета	$l'$ , град	$\psi$ , град	$\Phi$	Сузір'я	Примітка
1.					
2.					

2. Визначити, як часто повторюється вказана у варіанті конфігурація планети, сидеричний період якої  $T$  років.

3. Ексцентриситет орбіти малої планети, вказаної у варіантах завдань, рівний  $e$ , сидеричний період обертання  $T$  років. Обчисліть максимальну і мінімальну віддаль планети від Сонця, а також відношення її лінійних швидкостей в перигелії і афелії.

4. Обчисліть масу планети  $A$  Сонячної системи (у масах Землі,  $M_{\oplus} = 1$ ), знаючи, що її супутник  $B$  здійснює оберт навколо планети за  $T_1$  доби, а велика піввісь його орбіти –  $a_1$  тис. км. Вважаючи, що період обертання Місяця  $T = 27,32$  доби, а середня відстань від Місяця до Землі  $a = 384$  тис. км.

5. Віддаль комети  $K$ , вказаної у варіантах завдань, від Сонця в перигелії  $q$  а. о., а в афелії  $Q$  а. о. Визначте середню віддаль комети від Сонця, ексцентриситет орбіти та період її обертання навколо Сонця.

Варіанти завдань для лабораторної роботи

№	1 завдання				2 завдання	3 завдання	4 завдання	5 завдання
	Дата	Планети	$l$ , град	$r$ , град				
1	7.01.07	Меркурій Марс Земля	283,9 247,4 105,6	0,453 1,510 0,983	BC* Венера 0,615	Церера $e = 0,076$ $T = 4,60$	Марс Фобос $a_1 = 9,4$ $T_1 = 0,319$	Копфа (1906) $q = 1,567$ $Q = 5,313$
2	13.02.07	Меркурій Венера Земля	96,2 27,5 144,2	0,310 0,725 0,987	C* Марс 1,881	Паллада $e = 0,234$ $T = 4,61$	Юпітер Іо $a_1 = 421,6$ $T_1 = 0,769$	Форбса (1929) $q = 1,541$ $Q = 5,359$
3	9.06.07	Венера Марс Земля	215,1 339,7 258,8	0,723 1,382 1,015	HC* Меркурій 0,241	Юнона $e = 0,258$ $T = 4,46$	Сатурн Мімас $a_1 = 185,4$ $T_1 = 0,942$	Вірганена (1947) $q = 1,612$ $Q = 5,468$
4	15.11.07	Марс Меркурій Земля	70,6 157,9 8 52,8	1,520 0,359 0,990	П* Юпітер 11,86	Веста $e = 0,089$ $T = 3,63$	Уран Міранда $a_1 = 130,4$ $T_1 = 1,414$	д'Арре (1851) $q = 1,167$ $Q = 5,593$
5	23.02.07	Меркурій Венера Земля	152,7 6 40,3 156,0	0,353 0,724 0,989	CE* Венера 0,615	Астрея $e = 0,190$ $T = 4,14$	Нептун Тритон $a_1 = 353,4$ $T_1 = 5,877$	Джонсона (1949) $q = 2,200$ $Q = 4,96$
6	7.03.07	Меркурій Венера Земля	201,8 61,4 166,0	0,419 0,722 0,991	СК* Сатурн 29,46	Геба $e = 0,204$ $T = 3,78$	Марс Деймос $a_1 = 23,5$ $T_1 = 1,262$	Фінлея (1886) $q = 1,080$ $Q = 6,18$
7	25.07.07	Венера Марс Земля	286,7 7,6 301,4	0,728 1,398 1,016	ZE* Меркурій 0,241	Іріс $e = 0,231$ $T = 3,68$	Юпітер Європа $a_1 = 670,9$ $T_1 = 3,551$	Бореллі (1904) $q = 1,45$ $Q = 5,87$
8	24.12.07	Марс Меркурій Земля	92,3 283,3 8 91,8	1,570 0,453 0,984	ЗК* Нептун 164,7	Флора $e = 0,157$ $T = 3,27$	Сатурн Титан $a_1 = 1221$ $T_1 = 15,95$	Даніеля (1909) $q = 1,661$ $Q = 3,70$
9	3.05.07	Меркурій Венера Земля	41,78 153,6 223,4	0,318 0,719 1,008	BC* Меркурій 0,241	Вікторія $e = 0,221$ $T = 3,56$	Уран Аріель $a_1 = 191,9$ $T_1 = 2,520$	Холмса (1892) $q = 2,157$ $Q = 5,203$
10	15.06.07	Меркурій Марс Земля	238,5 343,3 263,4	0,460 1,382 1,016	C Юпітер 11,86	Мельпомена $e = 0,218$ $T = 3,48$	Нептун Нераїда $a_1 = 5570$ $T_1 = 359,9$	Уїппла (1933) $q = 2,480$ $Q = 5,12$
11	28.06.07	Меркурій Венера Земля	278,6 242,3 277,5	0,460 0,725 1,017	HC* Венера 0,615	Массалія $e = 0,143$ $T = 3,74$	Юпітер Калісто $a_1 = 1882$ $T_1 = 16,69$	Файе (1843) $q = 1,616$ $Q = 5,984$
12	10.07.07	Меркурій Марс Земля	311,1 358,6 287,4	0,422 1,390 1,017	П* Марс 1,881	Навізія $e = 0,246$ $T = 3,72$	Сатурн Діона $a_1 = 377,7$ $T_1 = 2,737$	Аренда (1951) $q = 1,822$ $Q = 5,978$
13	18.08.07	Венера Марс Земля	326,2 23,2 325,7	0,728 1,420 1,012	CE* Меркурій 0,241	Бамберга $e = 0,339$ $T = 4,40$	Уран Титанія $a_1 = 439,2$ $T_1 = 8,706$	Шомасса (1911) $q = 1,196$ $Q = 6,884$
14	15.08.07	Меркурій Венера Земля	132,9 318,3 320,6	0,332 0,728 1,013	СК* Нептун 164,7	Аквітанія $e = 0,238$ $T = 4,53$	Юпітер Геракл $a_1 = 1170$ $T_1 = 259,7$	Гейла (1927) $q = 1,183$ $Q = 8,717$
15	12.10.07	Меркурій Марс	320,4 54,6	0,408 1,483	ZE* Венера	Єрос $e = 0,223$	Сатурн Рея	Тутля (1790)

		Земля	20,1	0,997	0,615	$T = 1,76$	$a_1 = 526,7$ $T_1 = 4,518$	$q = 1,023$ $Q = 10,477$
16	7.09.07	Венера Марс Земля	357,9 35,1 345,0	0,727 1,441 1,008	ЗК* Сатурн 29,46	Давіда $e = 0,176$ $T = 5,69$	Уран Оберон $a_1 = 587,0$ $T_1 = 13,46$	Кроммеліна (1818) $q = 0,743$ $Q = 17,617$
17	24.10.0 7	Меркурій Венера Земля	24,7 69,9 28,6	0,330 0,721 0,996	С* Нептун 164,7	Гідальго $e = 0,656$ $T = 13,93$	Юпітер Дедал $a_1 = 22350$ $T_1 = 692,5$	Вестфаля (1852) $q = 1,254$ $Q = 30,086$
18	1.11.07	Меркурій Марс Земля	85,1 65,2 38,2	0,308 1,508 0,993	П* Плутон 247,7	Ганімед $e = 0,542$ $T = 4,34$	Сатурн Янус $a_1 = 157,5$ $T_1 = 17,98$	Ольберса (1815) $q = 1,178$ $Q = 32,922$
19	28.10.0 7	Венера Меркурій Земля	77,9 53,8 34,2	0,720 0,312 0,994	СК* Марс 1,881	Амур $e = 0,436$ $T = 2,67$	Уран Умбріель $a_1 = 267,3$ $T_1 = 4,144$	Галлея (- 466) $q = 0,587$ $Q = 35,013$
20	17.12.0 7	Меркурій Марс Земля	167,5 88,8 84,7	0,370 1,567 0,984	ЗК* Юпітер 11,86	Ікар $e = 0,827$ $T = 1,12$	Юпітер Атлас $a_1 = 1140$ $T_1 = 250,6$	Вайсала (1939) $q = 1,866$ $Q = 7,974$

ВС – верхнє сполучення, НС – нижнє сполучення, ЗЕ – західна елонгація, СЕ – східна елонгація, П – протистояння, С – сполучення, СК – східна квадратура, ЗК – західна квадратура.

Розглядувана лабораторна робота сприятиме розширенню астрономічних знань студентів з теми "Рух і конфігурації планет. Закони Кеплера".

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Бакулин П.И., Кононович Э.В., Морозов В.И. Курс общей астрономии. 6-е изд. – М.: Наук, 1990.
2. Боярченко І.Х., Гулак Ю.К. Астрономія. – К.: Вища школа, 1971. – 320 с.
3. Буромський М.І. Шкільний астрономічний календар на 2008-2009 навчальний рік: випуск п'ятий. – К.: Наук. світ., 2008. – 80 с.
4. Дума Д.П. Загальна астрометрія. – К.: Наукова думка НАН України, 2007. – 600 с.
5. Климишин І.А. Астрономія. – Львів: Видавництво "Світ", 1994. – 378 с.
6. Пришляк М.П. Астрономія: Підручник для 11 класу загальноосвітніх навчальних закладів. – Харків: Веста: Видавництво "Ранок", 2005. – 144 с.
7. Чепрасов В.Г. Практикум з курсу загальної астрономії. – К.: Вища школа, 1976. – 254 с.
8. Маран Стивен Астрономия для "чайников": Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 256 с.