

Комунальний заклад освіти
середня загальноосвітня школа № 19
м.Дніпропетровська

Дослідницька робота з астрономії

Тема: дослідження параметрів руху літального апарату в умовах мандрівки сонячною системою.

Мета: отримати практичні навички використання законів фізики для розрахунку параметрів руху літального апарату і провести дослідження результатів.

Розробив : учитель фізики 1 категорії Сидоренков Є.Є.

Виконав: учень 11 класу Костенко Артем

Рецензент: Заслужений учитель України, заступник директора з НВР
Громова Р.Я.

Редактор : учитель - методист Пономаренко В.В.

Дніпропетровськ 2012р.

Передмова

У шкільному курсі астрономії вивчаються закони Й.Кеплера, а в курсі фізики 10 класу - закон всесвітнього тяжіння, а також закони Ньютона і кінематика обертового руху.

Комплексне використання вказаних законів має практичне значення в сучасній космонавтиці, зокрема, в програмах досліджень космічного простору, наприклад, «Вояджер», «Маринер», «Піонер» та інших.

Долучитись до практичного використання законів фізики учні мають у процесі розв'язування практичних задач і дослідження отриманих результатів.

У шкільних підручниках астрономії [1, 2] наводиться інформація про закони Й.Кеплера і результати їх використання для розрахунків параметрів руху під час мандрівки сонячною системою. Розрахунків автори підручників не наводять і залишають для самостійного практичного виконання. У збірниках задач [3, 4] наведені окремі практичні завдання на використання законів фізики в астрономії.

У розробці «Урок № 5 з астрономії» [5] наведено результати наближених розрахунків часу подорожі до планет сонячної системи гоманівськими орбітами, зокрема до Меркурія, Венери, Марса і Юпітера.

У представленій практичній роботі наведено розрахунок часу подорожі літального апарату до зовнішніх планет: Юпітера, Сатурна, Урана і Нептуна, а також проведено дослідження результатів розрахунків. Аналізується можливість зміни параметрів руху літального апарата в сонячній системі, використовуючи різницю між швидкістю руху гоманівською орбітою і космічною швидкістю окремої планети сонячної системи.

1.Теоретичні відомості

Використовуючи відомі параметри руху планет власними орбітами навколо Сонця (таблиця 1), мається можливість розрахунку великої півосі гоманівської орбіти літального апарату за формулою:

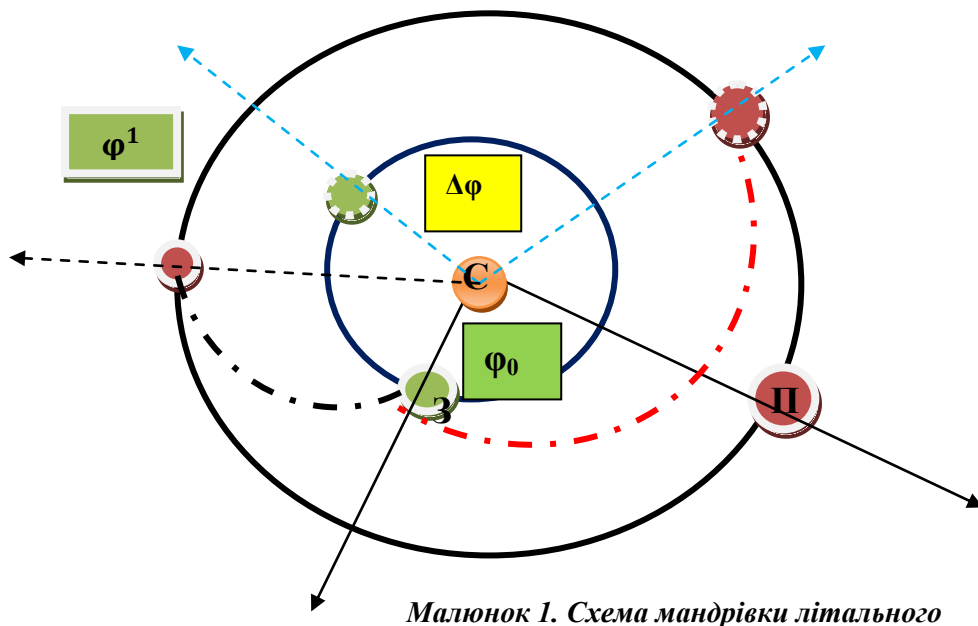
$$a_{ла} = \frac{a_3 + a_{п}}{2} \quad (1), \text{ де } a_3 \text{ і } a_{п} - \text{ півосі Землі і планети.}$$

Таблиця №1. Параметри руху планет.

Планета	Меркурій	Венера	Земля	Марс	Юпітер	Сатурн	Уран	Нептун
T, рік	0,24	0,62	1	1,88	11,86	29,46	84,1	164,79
a _п , а.о.	0,39	0,72	1	1,52	5,2	9,54	19,18	30,06
M/M _з	0,06	0,82	1	0,11	317,89	95,17	14,6	17,2
R/ R _з	0,38	0,95	1	0,53	11,2	9,41	4,11	3,81

Третій закон Й.Кеплера дає можливість розрахувати час мандрівки літального апарату (ЛА) гоманівською орбітою до планети :

$$t_{ла} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{(a_3 + a_{п})^3}{8}} \quad (2). \text{ Час розраховується в роках, якщо відстань в астрономічних одиницях.}$$



Малюнок 1. Схема мандрівки літального апарату.

Час, що розраховується за формулою 2, дорівнює половині періоду обертання ЛА гоманівською орбітою без урахування часу Δt затримки біля планети.

Старт ЛА від Землі (див. малюнок 1) відбувається із різницею фаз φ_0 між положеннями Землі і планети :

$\varphi_0 = (\omega_{\text{ла}} - \omega_{\text{п}}) t_{\text{ла}}$ (3), де $\omega_{\text{ла}}, \omega_{\text{п}}$ - значення кутових швидкостей ЛА і планети відповідно.

У мить прибуття ЛА до іншої планети Земля буде випереджати цю планету на кут $\Delta\varphi$. Розрахунок $\Delta\varphi$ має проводитись за формулою кінематики обертального руху Землі відносно планети :

$\Delta\varphi = (\omega_3 - \omega_{\text{п}}) t_{\text{ла}} - \varphi_0$ (4), де ω_3 - кутова швидкість Землі.

Для подальших розрахунків потрібно вилучити зі значення $\Delta\varphi$ кут, що дорівнює цілому числу повних обертів Землі за час $t_{\text{ла}}$ перельоту ЛА до планети.

Зворотна подорож ЛА до Землі повинна початися в момент досягнення різниці фазових значень φ^1 планети і Землі , яка відповідає умові одночасного прибуття ЛА і Землі в точку простору на орбіті Землі:

$\varphi^1 = (\omega_3 - \omega_{\text{ла}}) t_{\text{ла}}$ (5).

При розрахунку за формулою 5 потрібно вилучити кут, що дорівнює цілому числу повних обертів Землі за час $t_{\text{ла}}$.

Поставивши (3) в рівняння (4) ми отримаємо $\varphi^1 = \Delta\varphi$

Час очікування на зовнішній планеті до встановлення потрібної фази φ^1 розраховується за формулою кінематики руху Землі відносно планети:

$$\Delta t = \frac{2\pi - 2\Delta\varphi}{\omega_3 - \omega_{\text{п}}} \quad (6).$$

Загальний час τ мандрівки до планети складається з часу активної фази перельоту і часу очікування Δt встановлення потрібної початкової фази φ^1 :

$$\tau = 2t_{\text{ла}} + \Delta t \quad (7).$$

Швидкість пересування ЛА гоманівською орбітою можна розрахувати за формулою кінематики обертального руху:

$$v = \frac{\pi a_{\text{ла}}}{t_{\text{ла}}} = \omega_{\text{ла}} a_{\text{ла}} \quad (8).$$

Перші космічні швидкості планет сонячної системи можна розрахувати , використавши закон всесвітнього тяжіння і другий закон Ньютона :

$$v_k = \sqrt{G \frac{M}{R}} \quad (9), \text{ де } G - \text{ гравітаційна стала, } M \text{ і } R \text{ маса і радіус планети.}$$

Кутова швидкість має розраховуватись за кінематичною формулою:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (10), \text{ де } T - \text{ період обертання .}$$

2. Розрахунки і дослідження результатів.

Результати проведених розрахунків занесені до таблиці № 2.

Таблиця № 2. Результати розрахунків.

Планети	Меркурій	Венера	Марс	Юпітер	Сатурн	Уран	Нептун
параметри							
$a_{\text{ла}}, \text{ а.о.}$	0,7	0,86	1,26	3,1	5,27	10,09	15,53
$t_{\text{ла}}, \text{ рік}$	0,29	0,4	0,71	2,73	6,05	16	30,6
$\varphi_0, \text{ рад}$	$-1,4\pi$	$-0,28\pi$	$0,25\pi$	$0,535\pi$	$0,59\pi$	$0,615\pi$	$0,63\pi$
$\Delta\varphi, \text{ рад}$	$-0,42\pi$	$-0,2\pi$	$0,417\pi$	$0,461\pi$	$1,11\pi$	π	$0,2\pi$
$\Delta t, \text{ рік}$	0,18	1,33	1,24	0,59	~ 0 (0,92)	0	0,8
$\tau, \text{ рік}$	0,76	2,13	2,66	6,05	12,1(13)	32	62
$v, \text{ км/с}$	36,225	32,25	26,65	17	13	9,46	7,62
$v_k, \text{ км/с}$	3,14	7,34	3,6	42,1	25,1	14,9	16,8
n	-2	0	0	2	6	16	30
$\omega_{\text{п}}, \text{ рад/рік}$	$8,33\pi$	$3,2\pi$	$1,06\pi$	$0,17\pi$	$0,068\pi$	$0,0238\pi$	$0,012\pi$
$\omega_{\text{ла}}, \text{ рад/рік}$	$3,45\pi$	$2,5\pi$	$1,41\pi$	$0,366\pi$	$0,165\pi$	$0,0625\pi$	$0,0327\pi$
$T_{\text{планети}}, \text{ рік}$	0,24	0,62	1,88	11,86	29,46	84,1	164,79

Розрахунки v_k для планет проводились з урахуванням довідкової інформації, яку наведено в [2] (див. таблицю № 1) з урахуванням відносних характеристик планет. Так, наприклад, нам відоме значення першої космічної швидкості для Землі. Вона складає 7,9 км/с. При її розрахунку у формулу (9) ставились характеристики Землі. Для розрахунку v_k Марса достатньо

розрахувати коефіцієнт $\sqrt{\frac{0,11}{0,53}}$ і помножити його на 7,9 км/с.

При розрахунку кутових значень від'ємними указані значення, при яких Земля випереджає внутрішні планети в своєму обертовому русі. Для зовнішніх планет Земля повинна мати відставання на кути φ_0 і $\Delta\varphi$ під час початку руху ЛА.

Для розрахунку швидкості ЛА по гоманівській орбіті v використовується довідкова інформація [1] про швидкість руху Землі навколо Сонця

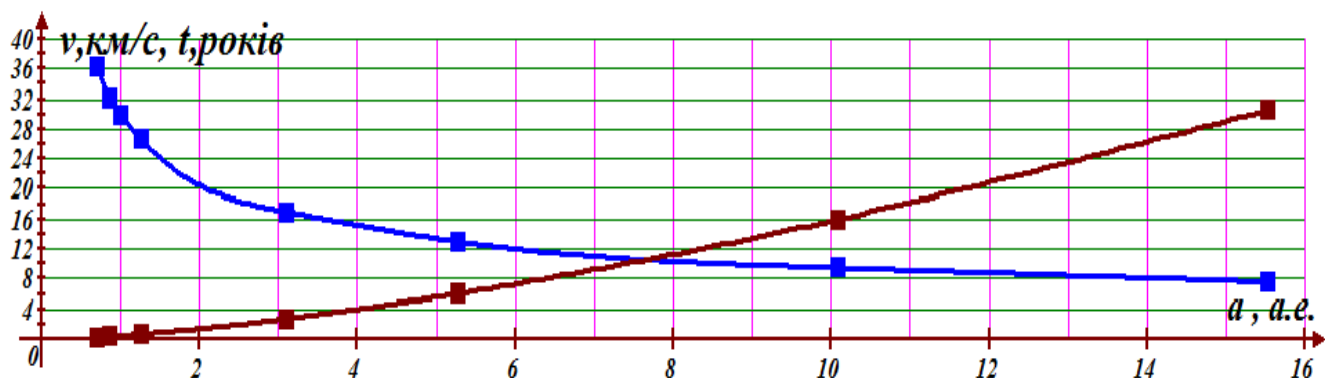
$$v = \omega_3 \cdot a_3 = 2\pi (\text{рад} \cdot \text{а.о./рік}) = 30 \text{ км/с}, \text{ де кутова швидкість}$$

$\omega_3 = 2\pi$ рад/рік а піввісь обертання Землі $a_3 = 1 \text{ а.о.}$ Наприклад, для ЛА, що мандрує гоманівською орбітою до Меркурія:

$v = \omega_{\text{ла}} \cdot a_{\text{ла}} = 3,45\pi \cdot 0,7 = 2,415\pi$ (рад · а. о./рік). Таким чином, перевідний коефіцієнт складає 1,2075, а швидкість ЛА на гоманівській орбіті Меркурія складає $v = 1,2075 \cdot 30 \text{ км/с} = 36,225 \text{ км/с}$.

Залежність швидкості ЛА і часу його мандрівки до планети від розміру півосі траєкторії руху ЛА наведено графічно.

Залежність швидкості ЛА від розміру півосі орбіти



Залежність часу мандрівки ЛА до планети від розміру півосі орбіти

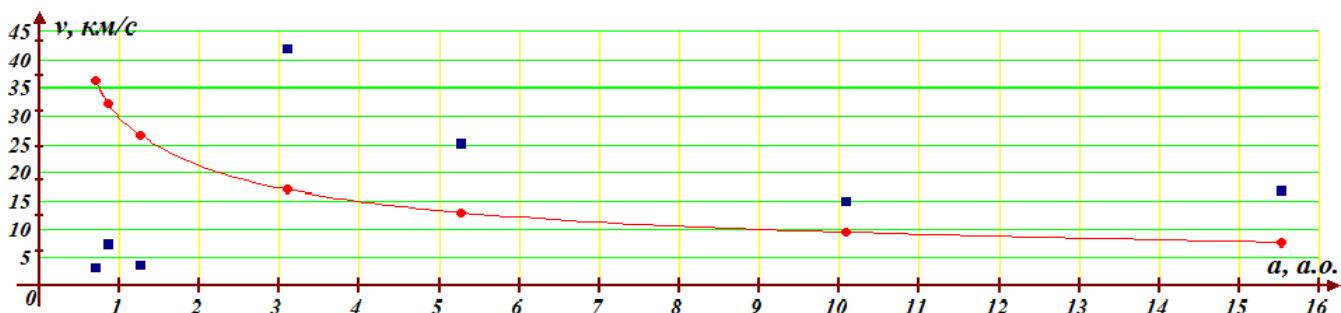
Малюнок 2. Графіки залежності швидкості і часу від значення великої півосі орбіти.

Аналізуючи графіки, маємо можливість зробити висновок: для мандрівки на безмежно велику відстань витрачається безмежна кількість часу, але мандрівка ЛА відбувається з наближеною до нульової швидкістю, або ЛА при цьому має змогу не залишати Землю. Найбільш віддалена точка Всесвіту знаходиться поряд зі спостерігачем. Таким чином, можна сформулювати гіпотезу про замкнену форму силової лінії гравітаційного поля, яка співпадає з гоманівською орбітою ЛА.

У таблиці № 2 відображена кількість обертів Землі n за час перельоту ЛА до планети. Від'ємні значення n відповідають кількості обертів внутрішньої планети за час перельоту ЛА.

За результатами розрахунків космічних швидкостей планет і швидкостей ЛА

Графічне порівняння космічних і гоманівських швидкостей



на гоманівській орбіті можна зробити висновок: планети розподіляються на дві категорії, три з яких мають $v_k < v$, і чотири зовнішні планети-гіганти мають $v_k > v$.

Перша група планет має значні проміжки часу Δt очікування ЛА до початку зворотної подорожі. Тому найбільш вірогідна схема очікування - посадка ЛА на поверхню планети або зменшення швидкості v до значення v_k і перебування ЛА на орбіті планети. Після встановлення потрібного значення $\Delta\phi$ необхідно буде використати додаткову енергію для збільшення швидкості і початку зворотного руху ЛА.

Друга група планет має відносно невеликі значення Δt в порівнянні із загальним часом τ мандрівки ЛА і схематично не потребує посадки ЛА на поверхню планети. Наближення ЛА до планети приведе до збільшення швидкості ЛА на орбіті планети за рахунок дії сили тяжіння планети. Зворотній рух ЛА по гоманівській орбіті можливий після зменшення його швидкості.

Звертає увагу на себе той факт, що за рахунок високої космічної швидкості Юпітера ЛА може збільшити свою швидкість на гоманівській орбіті за рахунок роботи сили тяжіння Юпітеру і перейти на іншу орбіту, яку можна запланувати заздалегідь. Така швидкість (42,1 км/с) дозволить літальному апарату вилетіти за межі сонячної системи, якщо ЛА зможе зманеврувати в зоні гравітаційної дії Юпітеру. Маневри зі зміною траєкторії руху можливі і біля інших планет. Такі маневрування, наприклад, здійснили зонди «Піонер 10» і «Піонер 11».

Порівняно однакові значення гоманівських і космічних швидкостей Юпітера і Нептуна, Нептуна і Венери, а також Марса і Сатурна дають можливість планувати більш комбіновану мандрівку ЛА в межах сонячної системи, ніж «звичайну» подорож до іншої планети. Але пілотований ЛА має обмеження в часі подорожі.

Висновки.

1. У практичній роботі систематизовані параметри руху ЛА по гоманівських орбітах.
2. Графічний аналіз дає можливість висунути гіпотезу про розширення нашої галактики, оскільки планета Земля рухається в напрямку безмежно віддаленої ділянки Всесвіту.
3. Порівняльний аналіз космічних швидкостей планет і швидкостей ЛА на гоманівських орбітах показує можливість маневрування ЛА в сонячній системі зі зміною орбіт і напрямків руху.

Перелік використаної літератури і джерела інформації.

1. Воронцов-Вельямінов Б.А., Страут Є.К., Астрономія 11 клас, ПОВ «Дрофа», Москва, 2002р.
2. Пришляк М.П., Астрономія 11 клас, «Ранок», Харків, 2005р.
3. Климшин І.А., Крячко І.П., Астрономія 11 клас, «Знання України», Київ, 2003р.
4. А.Костюк, Уроки астрономії, «Підручники і посібники», Тернопіль 2003р.
5. Сидоренков Є.Є. «Урок №5 з астрономії», "Відкритий урок: розробки, технології, досвід" № 1 2013р. (<http://osvita.ua/publishing/urok/>).
6. Л.А.Кирик, К.П.Бондаренко, Астрономія, Самостійні роботи, «Гімназія», Харків 2002р.
7. ММЦ м. Дніпропетровська, Електронні посібники БУФ 2011р., 2012р.