

Орбітальний рух супутників Юпітера

Мета

Виходячи з третього закону Кеплера та вимірюючи параметри орбіт його супутників і аналізуючи їх рухи, визначити масу Юпітера.

Завдання

Інтерпретувати прямі та зворотні видимі рухи як проекції колового руху та використовувати цю інтерпретацію для визначення параметрів реальних орбіт супутників. Знайти співвідношення між радіусом орбіти та періодом обертання у системах, що побудовані на законі всесвітнього тяжіння.

Використати третій закон Кеплера для знаходження маси Юпітера.

Обчислити орбітальний період чи радіус орбіти одного з галілеєвих супутників Юпітера.

Теоретичні основи.

Незважаючи на те, що у більшості випадків ми не можемо безпосередньо вимірювати характеристики небесних тіл, деякі з них можна вивести із спостережень. У 1543 році Миколай Копернік висунув гіпотезу, що всі планети обертаються навколо Сонця по колових орбітах. Тихо Браге (1546-1601) на протязі 20 років провів дуже ретельні спостереження планет і 777 зірок. Ці спостереження дозволили Йогану Кеплеру, який був студентом Браге, вивести три емпіричні закони, які стосувалися орбіти одного тіла довкола іншого. Третій закон Кеплера для обертання супутника навколо масивної планети дає

$$M = a^3 / T^2,$$

де M - маса центрального тіла, a - велика піввісь, T - період обертання.

Астрономи при обчисленні орбіт, як правило, користуються такою системою одиниць: маси Сонця, астрономічні одиниці, роки.

У 1609 р. було побудовано перший телескоп. Це зразу дозволило спостерігати об'єкти, невидимі неозброєним оком. Галілео Галілей за допомогою телескопа відкрив чотири супутники Юпітера і провів досить детальні дослідження цієї системи. Система Юпітера особливо важлива тому, що вона є ніби зменшеною копією Сонячної системи, і її вивчення корисне для кращого розуміння Сонячної системи в цілому. Система Юпітера дала прекрасний доказ того, що геліоцентрична система Коперніка фізично можлива.

Ви будете спостерігати чотири супутники Юпітера, які побачив Галілей у телескоп. Це Іо, Європа, Ганімед, Каллісто. Для спостерігача на Землі, супутники розміщуються

близько однієї лінії, оскільки ви спостерігаєте систему Юпітера близько до площини, у якій знаходяться орбіти супутників. З плином часу супутники обертаються навколо Юпітера. Вони обертаються по орбітах, близьких до кругових, але ви можете бачити тільки проекції на картинну площину відстані від супутника до планети.

Таким чином, відстань супутника від планети, відлічена по перпендикуляру до лінії зору, мусить бути синусоїдою в залежності від часу. Виконавши достатнє число вимірювань положень супутника, ви можете провести синусоїду і визначити її параметри: період та амплітуду. Як тільки радіус та період визначені та переведені у потрібні одиниці вимірювань, за допомогою третього закону Кеплера можна визначити масу Юпітера. Масу Юпітера потрібно визначити за кожним із супутників окремо, так як цілком можливі похибки, що залежать від супутника, отже слід чекати деякої дисперсії у значенні маси центрального тіла.

Програма моделює роботу автоматичного телескопа, обладнаного ПЗЗ камерою, яка дозволяє робити цифрові знімки поля та відображати його на екрані дисплея. Програма дає можливість виконувати вимірювання прямо на екрані дисплея і керувати збільшенням телескопа. Замість того, щоб спостерігати супутники на протязі багатьох днів, ви маєте можливість отримувати дані для будь-якого наперед заданого моменту часу, вводючи довільний момент спостережень.

План роботи

Провести спостереження та виміряти видимі положення супутників Юпітера. Викладач вкаже вам, спостереження яких супутників, на якому інтервалі часу та з якою дискретністю ви повинні провести.

Нанести спостереження одного супутника на один графік і провести (методом найменших квадратів, наприклад), найкращу синусоїду на кожному з графіків.

Визначити період обертання та велику піввісь орбіти кожного супутника за параметрами синусоїди, перетворити значення у астрономічні одиниці та роки.

Визначити масу Юпітера за кожним з супутників, та усереднити це значення.

Щоб розпочати роботу виберіть пункт **Start**. З'явиться діалогове вікно, яке називається **Start Date and Time** і за допомогою якого потрібно ввести параметри інтервалу спостережень.

На екрані, що з'явився, Юпітер знаходиться у центрі, а малі точкові об'єкти довкола нього, що розташовуються майже на одній лінії – це його супутники. Навіть при великих збільшеннях вони малі порівняно з Юпітером. Збільшення телескопа приводиться

у верхньому лівому куті, а дата спостереження та діаметр Юпітера (у астрономічних одиницях) у нижньому лівому куті.

Ви можете переглядати екрани при чотирьох збільшеннях: 100x, 200x, 300x, 400x. Збільшення встановлюється кнопками внизу екрана. Для кращих результатів, користуйтеся найбільшими значеннями збільшення, хоча відомо, що при реальних спостереженнях максимальне збільшення обмежується атмосферною турбуленцією.

Вимірювання положення супутників проводяться за допомогою миші. Ставте курсор миші на диск супутника і натискайте кнопку. У нижньому правому куті екрана з'явиться інформація про супутник: його назва, абсциса та ордината у пікселях екрана, відстань супутника (в радіусах диска Юпітера) в картинній площині. Якщо миша встановлена погано, назва супутника не з'являється. В такому випадку треба ретельніше встановити курсор миші і повторити вимірювання. Переходьте до наступного спостереження кнопкою **Next**.

Послідовно клацніть мишею на кожному з супутників і запишіть відстань супутника від планети у діаметрах планети. Якщо супутник за планетою і його немає на зображенні, покладіть відстань рівною нулю. Занесіть дані у таблицю.

Зберіть не менше 18 спостережень кожного супутника.

Дата	Час	День	Іо	Європа	Ганімед	Каллісто

У колонках 4-й - 7-й повинні бути положення супутника відносно Юпітера у радіусах Юпітера, + на захід, - на схід.

Тепер приступіть до аналізу даних. Нанесіть їх на графік: відстань від часу. Чим менший інтервал спостережень, тим більш гладка крива виходить на графіку. Реальні графіки можуть містити розриви в даних, наприклад, через погану погоду.

Які особливості, суттєві для нашої задачі, мають накреслені графіки? Орбіти супутників регулярні, тобто вони не змінюються суттєво від періоду до періоду, їх радіуси (півосі) не змінюються з часом. Таким чином, графіки теж не змінюються з часом і повинні проходити через усі точки і не повинні мати змін амплітуди.

Самостійно проробіть усю роботу, пов'язану з визначенням радіуса та періоду. Один із методів – за графіком, інший – відомий метод найменших квадратів. Скористайтесь третім законом Кеплера і знайдіть масу Юпітера по кожному з супутників та середнє значення. Запишіть результати.