

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**
**«Пермский государственный национальный исследовательский
университет»**

Колледж профессионального образования

АСТРОНОМИЯ

методические рекомендации

для самостоятельной работы по изучению дисциплины
для студентов Колледжа профессионального образования

Пермь 2022

Составитель:

Смирнов В.В., преподаватель КПО ПГНИУ

Астрономия: методические рекомендации для самостоятельной работы по изучению дисциплины для студентов Колледжа профессионального образования специальности. Содержат перечень и образцы самостоятельных работ по дисциплине «Астрономия», методические рекомендации по их выполнению.

Предназначены для студентов Колледжа профессионального образования ПГНИУ специальности всех форм обучения.

СОДЕРЖАНИЕ

I. Пояснительная записка.	4
Практическая работа № 1 «Измерение углов, дуг и расстояний»	6
Практическая работа № 2 «Суточное движение звёздного неба»	9
Практическая работа № 3 «Основы измерения времени»	11
Практическая работа № 4 «Законы движения небесных тел»	13
Практическая работа № 5 «Определение расстояний и размеров тел Солнечной системы»	17
II. Требования к результатам выполнения самостоятельных работ.	20
III. Критерии оценки.	20

I. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические указания для выполнения практических работ являются частью основной общеобразовательной программы Колледжа профессионального образования ПГНИУ.

Методические указания по выполнению практических работ адресованы студентам всех форм обучения.

Методические указания созданы в помощь для работы на занятиях, подготовке к практическим работам, правильного составления отчетов.

Приступая к выполнению практической работы, необходимо внимательно прочитать цель и задачи занятия, краткими теоретическими и учебно-методическими материалами по теме практической работы, ответить на вопросы для закрепления теоретического материала.

Все задания к практической работе необходимо выполнять в соответствии с инструкцией, анализировать полученные в ходе занятия результаты по приведенной методике.

Отчет о практической работе необходимо выполнить по приведенному алгоритму, опираясь на образец.

Наличие положительной оценки по практическим работам необходимо для получения допуска к итоговой аттестации по дисциплине «Астрономия», поэтому в случае отсутствия на занятии по любой причине или получения неудовлетворительной оценки за практическую работу необходимо найти время для ее выполнения или пересдачи.

Правила выполнения практических работ

1. Студент должен прийти на практическое занятие подготовленным к выполнению практической работы.

2. Студент должен представить выполненную работу в письменном виде.

3. Работу следует выполнять в тетрадях.

Оценку по практической работе студент получает, если:

- студентом работа выполнена в полном объеме;
- студент может пояснить выполнение любого этапа работы;
- работа выполнена в соответствии с требованиями к выполнению работы;
- студент отвечает на контрольные вопросы на удовлетворительную оценку и выше.

Зачет по итогам практических работ студент получает при условии выполнения всех предусмотренных программой практических работ после проверки выполненных работ в тетрадях и отметки преподавателя.

Внимание! Если в процессе подготовки к практическим работам или при решении задач возникают вопросы, разрешить которые самостоятельно не удастся, необходимо обратиться к преподавателю для получения разъяснений или указаний в дни проведения дополнительных занятий.

Рекомендуемые источники

- Астрономия: учеб. пособие для СПО / отв. ред. А.В.Коломиец, А.А.Сафонов.- М.: Издательство Юрайт, 2018 - 277 с. : (16) с.цв.вкл.-(Серия: Профессиональное образование).
- Астрономия: учебник для проф. образоват. организаций / [Е. В.Алексеева, П.М.Скворцов, Т.С.Фещенко, Л.А.Шестакова], под ред. Т.С. Фещенко. — М.: Издательский центр «Академия», 2018.
- Татарников А.М. Астрономия. Сборник задач и упражнений: учебн. Пособие для общеобразоват. организаций / - 2-е изд. М.: Просвещение, 2018 – 160с.

Порядок выполнения практической работы

1. Ознакомиться с теоретическим материалом по практической работе.
2. Выполнить предложенное задание.
3. Продемонстрировать преподавателю результаты выполненной работы в письменном виде в тетради.
4. Ответить на дополнительные вопросы.

Практическая работа № 1

«Измерение углов, дуг и расстояний»

Учебная цель: Изучить градусную, радианную и часовую меру измерения углов. Понимать физический смысл видимых угловых размеров объектов, научиться вычислять величины угловых и линейных размеров объектов и расстояний до них.

- Студент должен знать меры измерения углов и астрономические единицы измерения расстояний.

- Студент должен уметь решать задачи на определение видимых угловых размеров объектов и расстояний до них.

Краткие теоретические материалы по теме практической работы

1. Измерение плоских углов.

Измерение плоских углов общепринято осуществлять тремя мерами измерений:

1. Градусная мера. Полный угол $\Phi = 360$ [°] градусов
2. Радианная мера. Полный угол $\Phi = 2\pi$ [радиан], где π – число «пи».
3. Часовая (временн'ая) мера. Полный угол $\Phi = 24$ [h] часов

Соответственно связь между этими единицами измерения определяется соотношением 360 [°] = 2π [рад] = 24 [h].

Один градус (1°) это 1/360 часть полного угла (так сложилось исторически, по договоренности, это ниоткуда не следует).

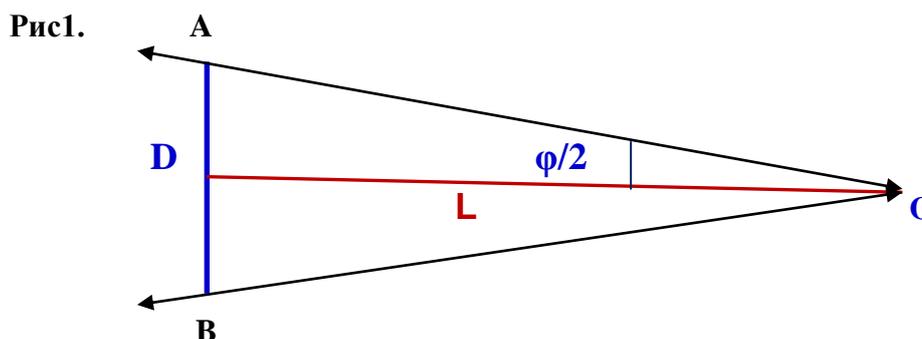
С другой стороны, по определению **радиана**, **1 рад** есть величина центрального угла окружности, который отсекает на окружности длину дуги l равную радиусу окружности $R, l = R$. Поскольку длина полной окружности - $L=2\pi R$ (по определению числа π), то соответственно полный угол равен 2π [рад] = 360 [°] градусов. Откуда и следует соотношение градус – радиан **$1^\circ = \pi/180$ рад; 1 рад = $180^\circ/\pi$** (1.1)

Угол безразмерная величина. Безразмерность плоского угла означает, что единицей его измерения является число один (хоть градус, хоть радиан). Однако, плоским углам равным единице были присвоены специальные названия: «градус» - исторически; «радиан» -математически, для того, чтобы в каждом конкретном случае облегчить понимание того, какая именно угловая величина имеется в виду.

Углы, выраженные в градусной мере, принято делить на доли кратные числу 60. Угловые минуты $1' = (1/60)^\circ = \pi/10800$ рад и Угловые секунды $1'' = (1/60)' = \pi/648000$ рад

2. Угловой размер объекта. Расстояние до объекта.

Видимый угловой размер объекта φ – есть угол, образованный лучами от двух крайних (габаритных) точек объекта и точкой наблюдения (глазом наблюдателя).



На рис.1 Точка О – точка наблюдения. Отрезок $D = AB$ — наблюдаемый объект, отрезок L — линия наблюдения, перпендикулярная отрезку D и равная расстоянию до объекта. Угол φ — угловой размер объекта D .

Очевидно, что L является серединным перпендикуляром к D , а треугольники $\triangle AOD = \triangle BOD$ прямоугольные.

Тогда согласно тригонометрическим соотношениям получаем $D/2 = L \cdot \operatorname{tg}(\varphi/2)$.

Принимая во внимание, что в астрономических наблюдениях как правило $L \gg D$, откуда следует, что $\operatorname{tg}(\varphi/2) \approx \varphi/2$, имеем окончательно:

$$D = L \cdot \varphi, \text{ где } \varphi \text{ – угол выраженный в радианах.} \quad (1.2)$$

Примеры по выполнению практической работы

Пример №1. Луна имеет радиус 1737 км. Расстояние от Земли до Луны $3,844 \cdot 10^8$ м. Найти угловую величину Луны при наблюдениях с Земли. Ответ выразить в градусной мере.

Решение:

1. Приводим размер и расстояние к единой единице длины, например, к километрам. Тогда $L = 3,844 \cdot 10^8 \text{ м} = 3,844 \cdot 10^5 \text{ км}$.

2. Находим решение в общем виде. Пользуясь формулой (1.2) имеем, $\varphi = D / L$, где D – линейный диаметр объекта, L – расстояние до объекта.

3. Находим диаметр Луны. $D=2r = 2 \cdot 1737 \text{ км} = 3474 \text{ км}$

4. Подставляем численные значения величин в общую формулу и производим вычисления. $\varphi = 3474 \text{ км} / 3,844 \cdot 10^5 \text{ км} \approx 903,74 \dots \cdot 10^{-5}$. Приводим число в стандартный вид и округляем до двух значащих цифр. Имеем, $\varphi \approx 9,0 \cdot 10^{-3}$ радиан.

5. Выражаем ответ в градусной мере. Пользуясь формулой (1) имеем, $\varphi \approx 9,0 \cdot 10^{-3} \cdot 180^\circ / \pi \approx 9,0 \cdot 10^{-3} \cdot 57,3^\circ \approx 0,516^\circ$. Выражать градусные углы в десятичных дробях не принято, поэтому переводим значение в угловые минуты, пользуясь определением $1^\circ = 60'$. Получаем $\varphi \approx 0,516^\circ \cdot 60' \approx 30,96'$. Округляя до двух значащих цифр (до целых минут), получаем $\varphi \approx 31'$.

6. Записываем окончательный ответ в виде: **Ответ:** $\varphi \approx 31'$

Пример №2. Угловой размер Сириуса $0,006''$. Расстояние от Земли до Сириуса 8,7 св.год. Вычислить: А). Радиус Сириуса в километрах. Б) Относительную погрешность полученного результата если за точное значение принять радиус Сириуса равным 1,7 радиусов Солнца (R_\odot).

Решение:

А) 1. Находим решение в общем виде. Пользуясь формулой (1.2) имеем, $D = L \cdot \varphi$, где D – диаметр объекта, L – расстояние до объекта. Тогда, если R_c – радиус Сириуса и соответственно диаметр $D_c = 2 \cdot R_c$, то получаем общее решение $R_c = L \cdot \varphi / 2$.

Очевидно, чтобы выразить R_c в километрах, L должно быть также в км, а угол φ в радианах.

2. Выражаем расстояние до Сириуса в километрах. По определению **1 св. год** = 9 460.730.472.580.800 м (точно). Такая точность нам не нужна, поэтому обойдёмся приближённым значением до трёх знаков **1 св. год** = $9,46 \cdot 10^{15} \text{ м} = 9,46 \cdot 10^{12} \text{ км}$.

Тогда $L = 8,7 * 9,46 * 10^{12} \text{ км} \approx 82,3 * 10^{12} \text{ км} \approx 8,23 * 10^{13} \text{ км}$

3. Выражаем угловой размер Сириуса в радианах. Пользуемся формулой $1'' = \pi/648000$ рад. Тогда, по условию задачи, имеем, $\varphi = 0,006'' = 0,006 * \pi/648000$ рад $\approx 6 * 10^{-3} * 3,14 / (6,48 * 10^5) \approx 2,907... * 10^{-8}$ рад.

Округляя до трёх значащих цифр, имеем $\varphi \approx 2,91 * 10^{-8}$ рад.

4. Подставляем численные значения величин в общую формулу и производим вычисления. $R_c = L * \varphi / 2 \approx 8,23 * 10^{13} \text{ км} * 2,91 * 10^{-8} / 2 \approx 11,974... * 10^5 \text{ км}$. Приводим число в стандартный вид и округляем до трёх значащих цифр. Получаем $R_c \approx 1,20 * 10^6 \text{ км}$.

5. Записываем окончательный ответ на вопрос А): **Ответ:** $R_c \approx 1,20 * 10^6 \text{ км}$

Б) 1. Находим табличное значение радиуса и диаметра Солнца. Справочное значение радиуса Солнца $R_{\odot} = 695,5 * 10^3 \text{ км}$.

2. Находим табличное значение радиуса Сириуса ${}^T R_c = 1,7 * R_{\odot}$. Или ${}^T R_c = 1,7 * 695,5 * 10^3 \text{ км} = 1182,35 * 10^3 \text{ км}$. Приводим в стандартный вид и округляем (в соответствии со значащими цифрами в расчётном радиусе Сириуса) с точностью до трёх цифр. Получаем ${}^T R_c = 1,18 * 10^6 \text{ км}$.

3. Находим абсолютную погрешность h . По определению $h \equiv |{}^T R_c - R_c|$. Подставляем значения, $h \equiv |1,18 * 10^6 \text{ км} - 1,20 * 10^6 \text{ км}| = 0,02 * 10^6 \text{ км}$.

4. Находим относительную погрешность r . По определению $r \equiv h/R_c * 100\%$. Тогда $r = 0,02 * 10^6 \text{ км} / 1,20 * 10^6 \text{ км} * 100\% = 1,6(6) \%$. Округляем до двух цифр, имеем: $r \approx 1,7 \%$.

5. Записываем окончательный ответ на вопрос Б): **Ответ:** $r \approx 1,7 \%$

Практическая работа № 2 «Суточное движение звёздного неба»

Учебная цель: Сформировать понятие о звёздном небе и его суточном движении. Дать понятие Небесной сферы и ее основных элементов. Понимать физический смысл суточного вращения Небесной сферы, координатных систем. Понимать связь координат небесных светил и географической широты места наблюдения. Научиться решать координатные задачи.

- Студент должен знать основные понятия и элементы небесной сферы - Ось мира, Полюсы мира, горизонт, Небесный экватор, горизонтальная $[h, A]$ и экваториальная $[\delta, \alpha]$ системы координат, изменение горизонтальных координат, кульминации светил. Формулы, связывающие координаты светил и географическую широту места наблюдения.

- Студент должен уметь решать задачи на определение различных координат светил и широты места наблюдения.

Краткие теоретические материалы по теме практической работы

1. Основные понятия

Небесная сфера (НС) – воображаемая сфера неопределённого радиуса с центром в точке наблюдения (О) на которую проецируются видимые изображения небесных тел (светил).

Ось мира Р (ОМ) – воображаемая ось, относительно которой происходит видимое суточное движение (вращение) НС.

Полюсы мира (P_N ; P_S) – точки пересечения НС и ОМ, вокруг которых происходит видимое суточное вращение НС.

P_N – северный полюс мира; P_S – южный полюс мира.

Вертикаль Z – линия действия силы тяжести Земли в точке наблюдения.

Горизонт – плоскость перпендикулярная вертикали проходящая через точку наблюдения.

Линия горизонта – большой круг НС, образованный пересечением НС и плоскостью горизонта.

Зенит z_1 – точка пересечения вертикали и НС, расположенная над горизонтом.

Надир z_2 – точка пересечения вертикали и НС, расположенная под горизонтом.

Небесный меридиан (НМ) – большой круг НС, образованный пересечением НС и плоскости проходящей через точки P_N , z_1 , О, z_2 , P_S .

Небесный экватор (НЭ) – большой круг НС, образованный пересечением НС и плоскости перпендикулярной ОМ проходящей через точку наблюдения.

Кульминации светила (ВК, НК) – явления прохождения светила через Небесный меридиан. ВК – точка наивысшей высоты подъёма светила над горизонтом в течении суток. НК – точка наинизшей высоты подъёма светила над горизонтом в течении суток.

Горизонтальная система координат (ГСК) - $[h, A]$,

где $h[-90^\circ ; 90^\circ]$ – высота подъема светила над горизонтом, $A[0^\circ ; 360^\circ]$ – азимут светила.

Экваториальная система координат (ЭСК) - $[\delta, \alpha]$,

где $\delta[-90^\circ ; 90^\circ]$ – склонение светила, т.е. высота подъёма над НЭ; $\alpha[0^h ; 24^h]$ – прямое восхождение светила.

Эклиптика – большой круг НС, образованный пересечением НС и плоскости обращения Земли вокруг Солнца (или плоскости видимого годичного движения Солнца по Небесной сфере).

2. Основные соотношения

2.1 Связь высоты полюса мира над горизонтом h_p и географической широты места наблюдения φ . $\varphi = h_p$

2.2 Зенитное расстояние z – угловое расстояние между точками нахождения светила и зенита. $h + z = 90^\circ$

2.3 Связь максимальной высоты подъёма светила над горизонтом h (момент ВК), географической широты места наблюдения φ , и склонением светила δ :

- для ВК к югу от зенита $\varphi = \delta + z = \delta + (90^\circ - h)$

- для ВК к северу от зенита $\varphi = \delta - z = \delta - (90^\circ - h)$

2.4 Условие верхней кульминации (ВК) светила:

- к югу от зенита $\varphi > \delta$

- к северу от зенита $\varphi < \delta$

- в точке зенита $\varphi = \delta$

Примеры по выполнению практической работы

Пример №1. Звезда Денеб в момент ВК видна на высоте $77^\circ 10'$. На каких широтах может располагаться данная точка наблюдения?

Решение:

1. В справочнике находим координату склонения Денеба $\delta = +45^\circ 10'$.
2. Мы не знаем где происходит ВК, к югу от зенита или к северу, поэтому будем использовать обе формулы.
3. ВК к Югу от Z. $\varphi = \delta + z = \delta + (90^\circ - h) = 45^\circ 10' + 90^\circ - 77^\circ 10' = 58^\circ 00'$.
ВК к северу от Z. $\varphi = \delta - z = \delta - (90^\circ - h) = 45^\circ 10' - 90^\circ + 77^\circ 10' = 32^\circ 20'$.
4. Получаем две возможные широты наблюдения Денеба с такой высотой в момент ВК $\varphi_1 = 58^\circ 00'$, $\varphi_2 = 32^\circ 20'$. φ_1 – широта Перми, φ_2 – широта юга средиземноморья.
5. Записываем окончательный ответ на вопрос **Ответ:** $\varphi_1 = 58^\circ 00'$, $\varphi_2 = 32^\circ 20'$

Пример №2. Какую высоту подъёма над горизонтом имеет звезда Вега в г. Пермь в момент ВК? Широта Перми $58^\circ 00'$ с.ш.

Решение:

1. Находим в справочнике склонение Веги $\delta = +38^\circ 47'$.
2. Проверяем условие верхней кульминации... к Югу или Северу от зенита. $\varphi > \delta$, значит Вега имеет ВК к югу от зенита.
3. Тогда воспользуемся формулой $\varphi = \delta + z = \delta + (90^\circ - h)$. Откуда находим h – высоту подъёма над горизонтом. $h = \delta + 90^\circ - \varphi$.
4. Подставляем численные значения, имеем $h = 38^\circ 47' + 90^\circ - 58^\circ 00' = 70^\circ 47'$.
5. Записываем окончательный ответ на вопрос. **Ответ:** $h = 70^\circ 47'$

Практическая работа № 3 «Основы измерения времени»

Учебная цель: Дать понятие «времени». Сформировать представление о краткосрочной (текущее время) и долгосрочной (летоисчисление) системе исчисления времени.

- Студент должен знать:
 - определение T_0 - мирового времени, различать T_λ - истинное (астрономическое) время, T_n - поясное время, T_m – местное время и связь между ними.
 - понятие Тропического года и солнечные календари, основанные на его базе.
- Студент должен уметь решать задачи на определение времени в точках с различной географической долготой.

Краткие теоретические материалы по теме практической работы

1. Основные понятия

Время в точке наблюдения зависит от земного меридиана, на котором происходит наблюдение.

Истинный полдень – момент времени, в который центр солнечного диска кульминирует в ВК.

Истинная полночь - момент времени, в который центр солнечного диска кульминирует в НК.

T_λ – истинное время в точке наблюдения, т.е. на данном земном меридиане.

T_0 – время на Гринвичском меридиане, принято за точку отсчёта мирового времени.

T_n – поясное время. Время в часовом поясе с номером n .

T_m – местное время. Время, принятое в отдельных странах местными декретами. В каждой стране своё.

2. Основные соотношения

$T_\lambda = T_0 + \lambda^c$, где λ – географическая долгота места наблюдения выраженная в часовой мере.

$T_n = T_0 + n$, где n – номер часового пояса. $n = [-12^c; 12^c]$.

Местное время в России $T_m = T_n + 1^c$.

Примеры по выполнению практической работы

Пример №1. В Перми часы показывают $14^c 45^m$. Найти истинное время в Перми. Найти истинное и местное время на данный момент в г. Владивосток.

Решение:

1. В справочнике находим географическую долготу Перми и Владивостока.

$\lambda_p = 131^\circ 54'$, $\lambda_v = 56^\circ 15'$. Там же находим часовые пояса городов $n_p = 4$, $n_v = 9$.

2. Переводим градусную меру географической долготы городов в часовую. Земля делает полный оборот 360° за 24^c . Отсюда 1° оборота = 4^m , $1' = 4^c$.

Значит: $\lambda_p = 56^\circ * 4^m + 15' * 4^c = 224^m + 60^c = 3^c 44^m + 1^m = 3^c 45^m$.

$\lambda_v = 131^\circ * 4^m + 54' * 4^c = 524^m + 216^c = 8^c 44^m + 3^m + 36^c \approx 8^c 48^m$.

3. Находим всемирное время, соответствующее Пермскому $14^c 45^m$. Часовой пояс Перми $n = 4$.

$$T_M = T_n + 1^q = T_0 + n + 1^q = 14^q 45^M. \rightarrow T_0 = T_M - n - 1^q = 14^q 45^M - 4^q - 1^q = 9^q 45^M.$$

4. Находим истинное время в Перми.

$$T_\lambda = T_0 + \lambda_n^q = 9^q 45^M + 3^q 45^M = 13^q 30^M.$$

5. Находим истинное и местное время во Владивостоке.

$$T_\lambda = T_0 + \lambda_B^q = 9^q 45^M + 8^q 48^M = 18^q 33^M.$$

$$T_M = T_n + 1^q = T_0 + n + 1^q = 9^q 45^M + 9^q + 1^q = 19^q 45^M$$

Пример №2. Самолёт вылетел рейсом из Перми в Москву в $7^q 50^M$ местного времени и был в полёте $1^q 50^M$. Найти местное время прибытия самолёта.

Решение:

1. В справочнике находим часовые пояса городов $n_P = 4$, $n_M = 2$.

2. Введём обозначения: $T_{П1}$ – время вылета в аэропорту г. Перми. $T_{М1}$ – время в момент вылета в аэропорту г. Москвы. $T_{М2}$ – время прилёта в аэропорту г. Москвы.

3. Определяем московское время вылета самолёта:

$$T_{М1} = T_n + 1^q = T_0 + n_M + 1^q = T_0 + 3^q$$

4. Находим T_0 в момент вылета. Поскольку $T_{П1} = T_0 + n_P + 1^q$, то $T_0 = T_{П1} - n_P - 1^q$

$$T_0 = 7^q 50^M - 4 - 1^q = 2^q 50^M$$

5. Находим московское время прилёта из условия $T_{М2} - T_{М1} = 1^q 50^M$.

$$\text{Тогда } T_{М2} = T_{М1} + 1^q 50^M = T_0 + 3^q + 1^q 50^M = 2^q 50^M + 3^q + 1^q 50^M = 7^q 40^M$$

6. Записываем окончательный ответ на вопрос

Ответ: Московское время прибытия самолёта $7^q 40^M$.

Практическая работа № 4 «Законы движения небесных тел»

Учебная цель: Дать понятие о законах движения планет (три закона Кеплера). Сформировать представление об общем законе всемирного тяготения Ньютона.

Студент должен знать:

- конфигурации планет, различать сидерические и синодические периоды обращения планет.
 - формулировки законов Кеплера и закона всемирного тяготения Ньютона.
- Студент должен уметь применять законы Кеплера и Ньютона при решении задач.

Краткие теоретические материалы по теме практической работы

1. Конфигурации планет

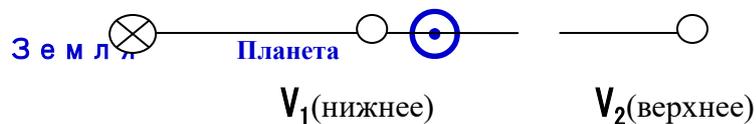
Конфигурациями планет называются характерные взаимные расположения планет относительно Солнца и Земли.

Планеты относительно Земли делятся на **нижние** и **верхние**. Нижние планеты – Меркурий и Венера – орбиты которых располагаются внутри орбиты Земли. Верхние планеты – все остальные. Их орбиты находятся вне орбиты Земли, т.е. содержат внутри себя орбиту Земли.

Различают разные типы конфигураций для верхних и нижних планет:

1. Для нижних планет:

- **Соединения** (верхнее и нижнее). Когда планета, Земля и Солнце располагаются на одной прямой.



- **Элонгации** (западная и восточная). Когда планета имеет максимальное угловое удаление от Солнца при наблюдении с Земли.

2. Для верхних планет:

- **Соединение**. Когда планета, Земля и Солнце располагаются на одной прямой, а планета находится за Солнцем.
- **Противостояние**. Когда планета, Земля и Солнце располагаются на одной прямой, а планета и Земля находятся по одну сторону от Солнца.



- **Квадратуры** (восточная и западная). Когда с Земли направление на солнце и на планету составляет 90° .

2. Периоды обращения планет

Различают два типа периодов обращения планет – Сидерический и Синодический.

Сидерический период (T) – это промежуток времени за который планета совершает полный оборот вокруг Солнца по своей орбите (относительно звёзд).

Синодический период (S) – это промежуток времени между двумя одинаковыми конфигурациями планеты, т.е. одинаковыми расположениями планеты на своей орбите относительно Земли и Солнца.

Соотношения между $S_{пл}$ – планеты, $T_{пл}$ – планеты, T_{\otimes} – земли и называются **уравнениями синодического движения**.

$$\text{Для верхних планет} - (S_{пл})^{-1} = (T_{\otimes})^{-1} - (T_{пл})^{-1} \quad (4.1)$$

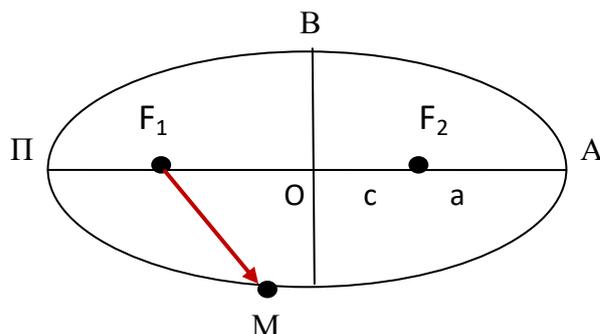
$$\text{Для нижних планет} - (S_{пл})^{-1} = (T_{пл})^{-1} - (T_{\otimes})^{-1} \quad (4.2)$$

3. Законы Кеплера

1-закон. Движение планет вокруг Солнца происходит по эллиптическим орбитам. Т.е. орбита каждой планеты есть эллипс в одном из фокусов (F) которого находится Солнце. Соответственно есть точки max. и min. удаления планеты от Солнца.

Перигелий – ближайшая к Солнцу точка орбиты планеты.

Афелий – наиболее удалённая точка орбиты планеты.



Точка O – центр эллипса. Точка M – планета на орбите.

Точки F_1, F_2 – фокусы эллипса. В точке F_1 – находится Солнце.

Отрезок F_1M – радиус-вектор планеты. Текущее расстояние между планетой и Солнцем.

Точка П – перигелий, А – афелий планеты.

Отрезок $a = OA$ – большая полуось эллипса. Это есть среднее расстояние от планеты до Солнца. $b = OB$ – малая полуось эллипса. $c = F_1M$ – расстояние от центра до фокуса эллипса.

Степень отличия эллипса от окружности определяет эксцентриситет эллипса $e = c/a$.

При $c = 0$ (фокусы совпадают с центром), $e = 0$ и эллипс становится окружностью.

2-закон. Радиус-вектор планеты в равные промежутки времени описывает равные площади.

3-закон. Квадраты сидерических периодов обращения двух планет относятся как кубы больших полуосей их орбит.

$$(T_1)^2 / (T_2)^2 = (a_1)^3 / (a_2)^3 \quad (4.3)$$

4. Закон всемирного тяготения. Обобщение Ньютоном законов Кеплера.

Ньютон обобщил законы Кеплера на основе универсального закона всемирного тяготения.

Закон всемирного тяготения – все тела притягиваются друг к другу с силой пропорциональной произведению масс тел и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. $|F| = G \cdot (m_1 \cdot m_2) / r^2$.

Тогда законы Кеплера могут быть представлены в виде законов Небесной механики (НМ):

1-закон НМ. Орбиты движения тел относительно друг друга могут быть окружностями, эллипсами, параболами и гиперболами в зависимости от скоростей движения тел.

2-закон НМ. Обобщения не потребовал и остался в неизменном виде.

3-закон НМ. Квадраты сидерических периодов (T_1 , T_2) обращения двух планет с массами m_1 , m_2 вокруг Солнца, помноженные на суммы масс Солнца и планеты, относятся как кубы больших полуосей (a_1 , a_2) их орбит.

$$[(T_1)^2 (M_{\odot} + m_1)] / [(T_2)^2 (M_{\odot} + m_2)] = (a_1)^3 / (a_2)^3 \quad (4.4)$$

Обобщённые Ньютоном законы Кеплера получили название законов Небесной механики. Из 3-го закона НМ вытекают важные следствия.

Следствие 1. 3-закон может быть применён и для описания движения системы Звезда – Планета – Спутник планеты. Т.е. спутник обращается вокруг планеты, а планета со спутником вокруг звезды. Тогда уравнение движения такой системы согласно 3-закону НМ может быть записано в виде: $(T_1/T_{сп})^2 (M_{\odot} + m_1)/(m_1 + m_{сп}) = (a_1/a_{сп})^3$.

Где m_1 – масса планеты. T_1 – сидерический период обращения планеты вокруг Солнца. $m_{сп}$ – масса спутника. $T_{сп}$ – сидерический период обращения спутника вокруг планеты.

Учитывая, что обычно $M_{\odot} \gg m_1$, а также $m_1 \gg m_{сп}$, имеем:

$$(T_1)^2 M_{\odot} / (T_{сп})^2 m_1 = (a_1)^3 / (a_{сп})^3 \rightarrow M_{\odot} / m_1 = (T_{сп} / T_1)^2 (a_1 / a_{сп})^3 \quad (4.5)$$

Следствие 2. 3-закон может быть применён для описания движения двух независимых систем Планета1 – Спутник планеты1; Планета2 – Спутник планеты2. В том числе и для движения искусственных спутников. Уравнение движения такой системы записывается в виде:

$$(T_{сп1} / T_{сп2})^2 (m_1 / m_2) = (a_{сп1} / a_{сп2})^3 \quad (4.6)$$

Уравнения (4.4), (4.5), (4.6) позволяют находить массы планет, их спутников, а также различных других тел Солнечной системы.

Примеры по выполнению практической работы

Пример №1. Нижние соединения Венеры повторяются через 1,6 лет. За сколько земных суток Венера делает оборот вокруг Солнца?

Решение:

1. По условию дан синодический период нижних соединений Венеры. $S_B = 1,6$ земных лет. Нужно найти сидерический период обращения Венеры $T_B = ?$ в земных сутках.

2. Решаем задачу в общем виде. Обозначим T – сидерический период Земли. Венера относится к нижним планетам, следовательно по формуле 4.2 $(S_B)^{-1} = (T_B)^{-1} - (T)^{-1}$. В результате $(T_B)^{-1} = (S_B)^{-1} + (T)^{-1}$.

3. Подставляем численные значения. $S_B = 1,6$ год; $T = 1$ год. Имеем:
 $(T_B)^{-1} = (S_B)^{-1} + (T)^{-1} = 1/1,6 + 1/1 = 2,6/1,6 \rightarrow T_B = 1,6/2,6 \approx 0,61$ год

4. Переводим полученное значение в сутки, считая сидерический период Земли за один юлианский год $T = 365,25$ суток. $T_B \approx 0,61 * 365,25 = 222,8$ сут.

5. **Ответ:** $T_B \approx 222,8$ земных суток.

Пример №2. Юпитер обращается вокруг Солнца за 12 земных лет. Найти среднее расстояние от него до Солнца.

Решение:

1. Согласно 3-го закона Кеплера $(T_1)^2 / (T_2)^2 = (a_1)^3 / (a_2)^3$.
2. По условию $T_{\text{Ю}} = 12$ лет, $T_{\text{Земли}} = 1$ год, $a_{\text{Земли}} = 1$ а.е. ! (это важно).
3. Решаем задачу в общем виде. Имеем: $(T_{\text{Ю}})^2 / (1)^2 = (a_{\text{Ю}})^3 / (1)^3$, тогда $T_{\text{Ю}}^2 = a_{\text{Ю}}^3$.
4. $a_{\text{Ю}} = (T_{\text{Ю}}^2)^{-3} = ((12)^2)^{-3} = (144)^{-3}$ лет $\approx 5,24$ а.е.
5. **Ответ:** $a_{\text{Ю}} \approx 5,24$ а.е.

Пример №3. Сравнить массу Урана с массой Земли, если известно, что спутник Урана Титания обращается вокруг планеты с периодом 8сут17ч (земных) на расстоянии $438 \cdot 10^3$ км.

Решение:

1. Согласно 3-го закона НМ (4.6),
 $m_3/m_{\text{Ур}} = (T_1/T_{\text{Л}})^2 \cdot (a_{\text{Л}}/a_1)^3$, где m_3 – масса Земли, $m_{\text{Ур}}$ – масса Урана. $T_{\text{Л}}$ – период обращения спутника Земли – Луны, $a_{\text{Л}}$ – среднее расстояние Земля-Луна. T_1 – период обращения спутника Урана, a_1 – среднее расстояние Уран-Титания.

Уточняем исходные данные. $T_{\text{Л}} = 27,32$ сут. (в справочнике), $T_1 \approx 8,71$ сут. (дано по условию), $a_{\text{Л}} = 384 \cdot 10^3$ км (в справочнике), $a_1 = 438 \cdot 10^3$ км (по условию).

2. Подставляем в формулу численные значения
 $m_3/m_{\text{Ур}} = (8,71/27,32)^2 \cdot (384 \cdot 10^3 / 438 \cdot 10^3)^3 \approx 0,319^2 \cdot 0,877^3 \approx 0,102 \cdot 0,674 \approx 0,069$
или $m_{\text{Ур}}/m_3 \approx 14,5$

3. **Ответ:** $m_{\text{Ур}}/m_3 \approx 14,5$. Масса Урана больше массы Земли \approx в 14,5 раза

Практическая работа № 5

«Определение расстояний и размеров тел Солнечной системы»

Учебная цель: изучить понятие параллакса. Научиться определять расстояния до светил по известным величинам их параллаксов. Понимать геометрический смысл эффекта параллакса.

- Студент должен знать определения горизонтального и годичного параллакса светил. Отличать видимые угловые размеры объектов, от их параллаксов. Знать определение и физический смысл астрономической единицы измерения расстояний 1 парсек.

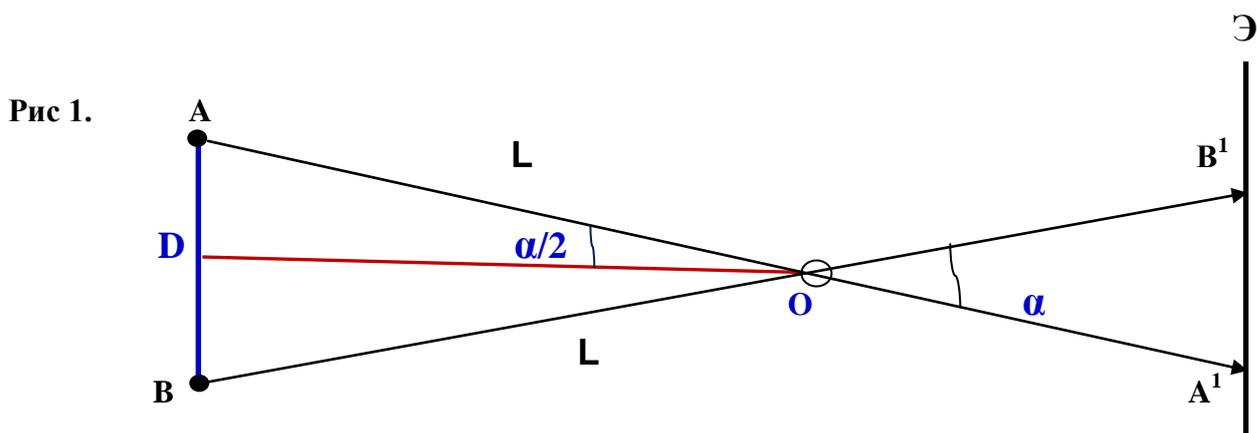
- Студент должен уметь решать задачи на определение расстояний по параллаксам светил.

Краткие теоретические материалы по теме практической работы

1. Эффект параллакса.

Параллакс – явление (эффект) видимого углового смещения объекта относительно удалённого фона при изменении точки наблюдения за объектом (т.е. в зависимости от положения наблюдателя). См. Рис.1

Т.е. **Параллакс** это угол видимого смещения объекта при изменении точки наблюдения.



Где, O – объект наблюдения. A, B – точки наблюдения.

Отрезки AO=BO = L – расстояние до объекта из точек наблюдения.

Отрезок AB = D – базис наблюдения. AA', BB' – лучи зрения на объект O.

Э – плоскость более удалённого, чем наблюдаемый объект фона (экрана).

Точки A', B' – точки проекций объекта O на удалённый фон Э.

α – угол видимого смещения объекта O, он же – угол параллактического смещения или **тригонометрический параллакс** объекта O.

Соответственно, из геометрии понятно, что $(D/2)/L = \sin(\alpha/2) \Rightarrow$

$$L = D / \{2 * \sin(\alpha/2)\} \quad (5.1)$$

При $L \gg D \Rightarrow \sin(\alpha/2) \approx \alpha/2$ и получаем простую формулу для определения расстояний L до отдалённых объектов намного превышающих базис наблюдения.

$$L = D / \alpha \quad (5.2)$$

В астрономии различают два специальных вида тригонометрических параллаксов – суточный и годовой. Оба служат для определения расстояний до объектов, но имеют разные параллактические базы.

2. Суточный параллакс.

Суточный параллакс (геоцентрический параллакс) — угол между направлениями на одно и то же светило из центра масс Земли (геоцентрическое направление) и из заданной точки на поверхности Земли (топоцентрическое направление).

Этот угол зависит от высоты светила над горизонтом, максимальное его значение достигается при нулевой высоте (когда светило наблюдается прямо на горизонте).

Такая величина называется горизонтальным параллаксом. База горизонтального параллакса принимается равной экваториальному радиусу Земли $R_{\oplus} = 6378$ км.

Горизонтальный параллакс используется для определения расстояний внутри Солнечной системы. Обозначается латинской буквой **p**.

Очевидно, что поскольку расстояния от Земли до объектов Солнечной системы много больше радиуса Земли $L \gg R_{\oplus}$ то справедлива формула (5.2).

$$L = R_{\oplus} / p, \text{ где } p \text{ – угол выраженный в радианах.} \quad (5.3)$$

3. Годичный параллакс.

Годичный параллакс или Годичный звёздный параллакс — угол между направлениями на объект (например, звезду), при наблюдении из разных точек земной орбиты при движении Земли вокруг Солнца.

База годового параллакса принимается равной большой полуоси (среднему радиусу) земной орбиты, т.е. **1 а.е.**

Годичный параллакс звезды равен углу (**α**), под которым с данной звезды перпендикулярно лучу зрения видна большая полуось земной орбиты.

$$\alpha = 1 \text{ а.е.} / L \text{ или } L = 1 \text{ а.е.} / \alpha$$

Годичные параллаксы используются для определения расстояний до звёзд. На базе понятия годового параллакса астрономы ввели внесистемную единицу измерения расстояний – **1 парсек**.

1 парсек (пк) – это расстояние до объекта, годичный параллакс которого равен одной угловой секунде $1''$. Или, другими словами, 1пк – это расстояние, с которого 1 а.е. видна под углом $1''$ перпендикулярно лучу зрения.

Учитывая, что $1'' = \frac{2\pi}{360^\circ} \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{1}{60}$, то

$$1 \text{ парсек} \approx 206\,264,8... \text{ а.е.} \approx 3,0856775... \cdot 10^{16} \text{ м} \approx 3,26156... \text{ св. года.}$$

С другой стороны,

$$1 \text{ пк} = 1 \text{ а.е.} / 1'' \text{ или } L(\text{пк}) = 1 \text{ а.е.} / \alpha'' \quad (5.4)$$

Т.е. зная годичный параллакс звезды в угловых секундах, я могу сразу вычислить расстояние до неё в парсеках.

Примеры по выполнению практической работы

Пример №1. Горизонтальный параллакс Солнца (угол, под которым со среднего расстояния до Солнца виден экваториальный радиус Земли 6378 км) 8,8". Вычислить расстояние от Земли до Солнца в км. Пользуясь табличным значением ($149,6 \cdot 10^6$ км) найти относительную погрешность полученного результата.

Решение:

1. Выразим горизонтальный параллакс Солнца в радианах. Воспользуемся формулой (1.1) $1'' = \pi/648000$ рад. Тогда, p (рад) = $8,8'' \cdot \pi/648000 \approx 8,8 \cdot 4,8457 \cdot 10^{-6}$.

2. Далее, воспользуемся формулой (5.3). Тогда $L \approx 6378 \text{ км} / (8,8 \cdot 4,8457 \cdot 10^{-6}) \approx 1,3162 \cdot 10^9 \text{ км} / 8,8 \approx 149,57 \cdot 10^6 \text{ км}$.

Записываем ответ на вопрос задачи в виде **Ответ:** $L_{\odot} \approx 149,57 \cdot 10^6 \text{ км}$

3. Находим абсолютную погрешность h . По определению $h \equiv |L_c - L_c|$. Подставляем значения, $h \equiv |149,60 \cdot 10^6 \text{ км} - 149,57 \cdot 10^6 \text{ км}| = 0,03 \cdot 10^6 \text{ км}$.

4. Находим относительную погрешность r . По определению $r \equiv h/L_c \cdot 100\%$. Тогда $r = 0,03 \cdot 10^6 \text{ км} / 149,57 \cdot 10^6 \text{ км} \cdot 100\% = 0,020 \dots \%$. Округляем до сотых, имеем: $r \approx 0,02 \%$. Записываем ответ на вопрос задачи **Ответ:** $r \approx 0,02 \%$

Пример №2. Найти горизонтальный параллакс Луны. Среднее расстояние до Земли принять равным $384,4 \cdot 10^3$ км. Ответ выразить в градусной мере.

Решение:

1. Находим решение в общем виде. Пользуясь формулой (5.3) имеем, $p = R/L$, где R – радиус Земли, L – расстояние Луна-Земля.

2. Подставляем численные значения величин в общую формулу и производим вычисления. $p = 6378 \text{ км} / 3,844 \cdot 10^5 \text{ км} \approx 1659,2 \dots \cdot 10^{-5}$. Приводим число в стандартный вид и округляем до четырёх значащих цифр. Имеем, $p \approx 1,66 \cdot 10^{-2}$ радиан.

3. Выражаем ответ в градусной мере. Пользуясь формулой (1.1) имеем, $p \approx 1,66 \cdot 10^{-2} \cdot 180^\circ/\pi \approx 1,66 \cdot 10^{-2} \cdot 57,3^\circ \approx 0,951^\circ$. Выражать градусные углы в десятичных дробях не принято, поэтому переводим значение в угловые минуты, пользуясь определением $1^\circ = 60'$. Получаем $p \approx 0,951^\circ \cdot 60' \approx 57,06'$. Округляя до двух значащих цифр (до целых минут), получаем $p \approx 57'$.

4. Записываем окончательный ответ в виде **Ответ:** $p \approx 57'$

II. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Требования к результатам выполнения самостоятельных работ основываются на требованиях к результатам обучения по дисциплине «Астрономия», которые нацелены на развитие определенных компетенций, знаний и умений согласно п. 4 Рабочей программы.

III. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ

Оценка результатов выполнения самостоятельных работ осуществляется с опорой на требования к результатам обучения по дисциплине «Астрономия», на основании достигнутого учащимся в данной работе уровня освоения учебного материала согласно п. 5 Рабочей программы.