

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Иркутский государственный университет путей сообщения»

Сибирский колледж транспорта и строительства

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО СОПРОВОЖДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ
БД.08 Астрономия

для специальности

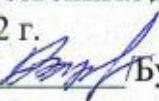
21.02.06 Информационные системы обеспечения градостроительной деятельности

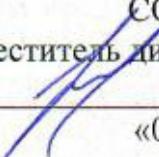
*базовая подготовка
среднего профессионального образования*

Иркутск 2022

Электронный документ выгружен из ЕИС ФГБОУ ВО ИрГУПС и соответствует оригиналу
Подписант ФГБОУ ВО ИрГУПС Трофимов Ю.А.
00a73c5b7b623a969ccad43a81ab346d50 с 08.12.2022 14:32 по 02.03.2024 14:32 GMT+03:00
Подпись соответствует файлу документа



РАССМОТРЕНО:
Цикловой методической
комиссией естественных дисциплин
«08» июня 2022 г.
Председатель:  Бурдина О.В.

СОГЛАСОВАНО:
Заместитель директора по УВР
 /А.П.Ресельс
«09» июня 2022 г.

Разработчик: Панина В.Е. преподаватель высшей квалификационной категории
Сибирский колледж транспорта и строительства ФГБОУ ВО «Иркутский
государственный университет путей сообщения».

Методические указания разработаны на основе рабочей программы учебной дисциплины
БД.08 Астрономия специальности среднего профессионального образования.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение	3
1.1 Практическая работа 1	3
1.2 Практическая работа 2.....	7
1.3 Практическая работа 3.....	10
1.4 Практическая работа 4.....	12

Введение

Учебная дисциплина БД.08«АСТРОНОМИЯ» входит в состав цикла профильных дисциплин основной образовательной профессиональной программы. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине БД.08 «АСТРОНОМИЯ» составлены в соответствии с рабочей программой по данной дисциплине.

Содержание методических указаний по выполнению практических работ соответствует требованиям Федерального Государственного Стандарта среднего профессионального образования с дополнениями и разъяснениями.

Выполнение практических работ должно способствовать более глубокому пониманию, усвоению и закреплению материала предмета, развитию логического мышления, аккуратности, умению делать выводы и правильно выполнять расчеты.

Предлагаемые методические указания предназначены для студентов технических специальностей. В пособии содержаться методические указания по выполнению практических работ, в которых дается теоретический материал и приводятся примеры расчета наиболее сложных задач.

В результате выполнения заданий и ответа на контрольные вопросы студент получает зачет.

Практическое занятие 1

Тема: Работа с картой звездного неба

Цель работы: усвоить методику решения данного типа задач.

Пособия и оборудование: фотографии карты звездного неба и круга с текущим временем.

Методические указания к работе.

- 1) Пользоваться подвижной картой звездного неба очень просто. Наложите на нее круг, совместив текущую дату на лимбе карты с текущим временем на обрезе круга. В круглом вырезе Вы увидите звезды, находящиеся над горизонтом в данном пункте в данное время. Следует иметь в виду, внутренние цифры часов на накладном круге соответствуют летнему времени, а внешние (далее от центра круга) - зимнему. Полезно натянуть на накладном круге нить от точки севера к точке юга, обозначив узелком место на полпути, немного ближе к точке севера.
- 2) Выйдя под звездное небо, расположите "настроенную" на текущий момент карту над головой в соответствии со сторонами света, указанными на накладном круге. Центр выреза (узелок на нити) будет соответствовать зениту (точке над Вашей головой). Мысленно продолжите и спроектируйте вниз до горизонта сектора карты спереди, сзади, слева и справа от себя, представив, что карта нарисована изнутри на куполе.

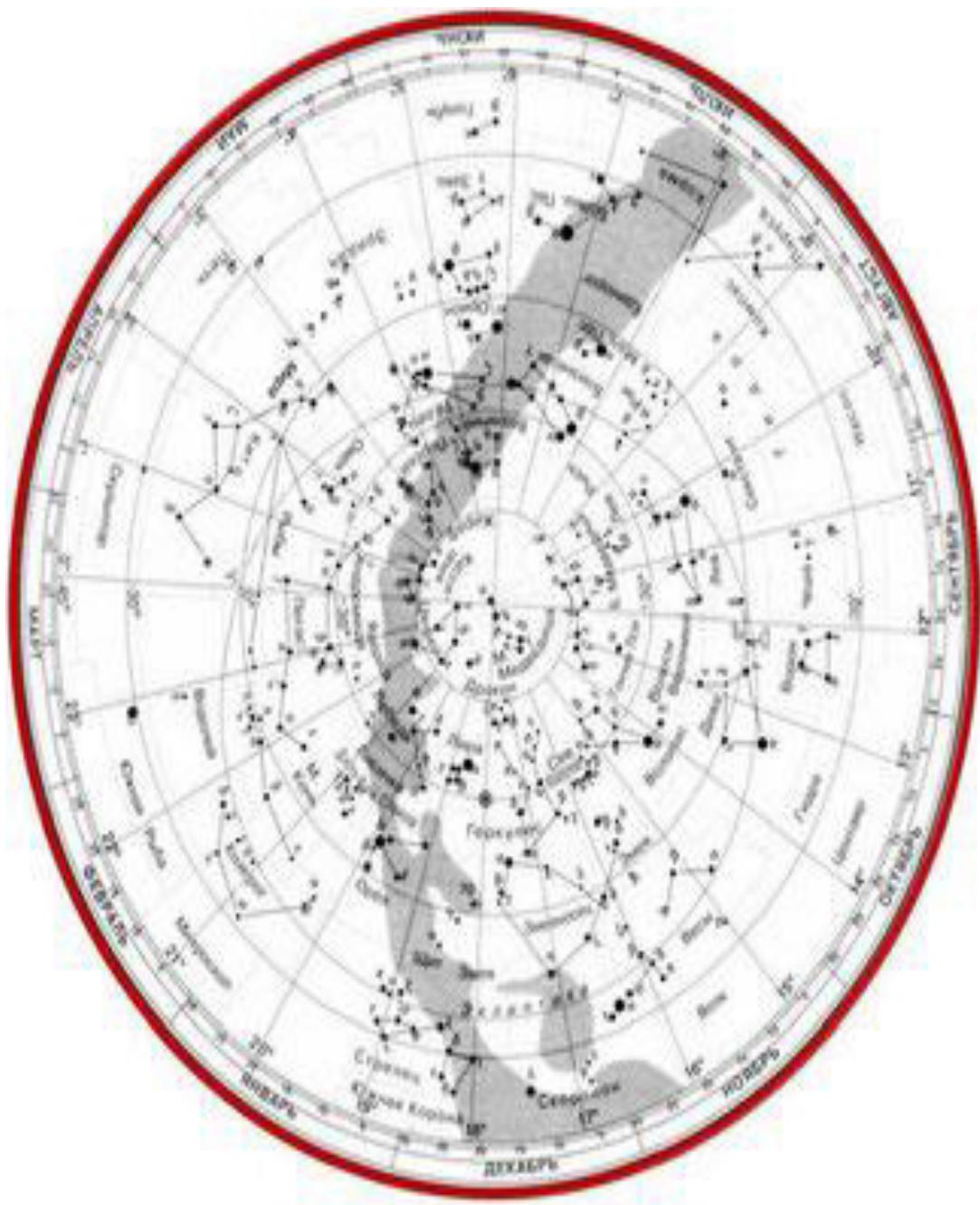


Рисунок 1. Карта звездного неба.

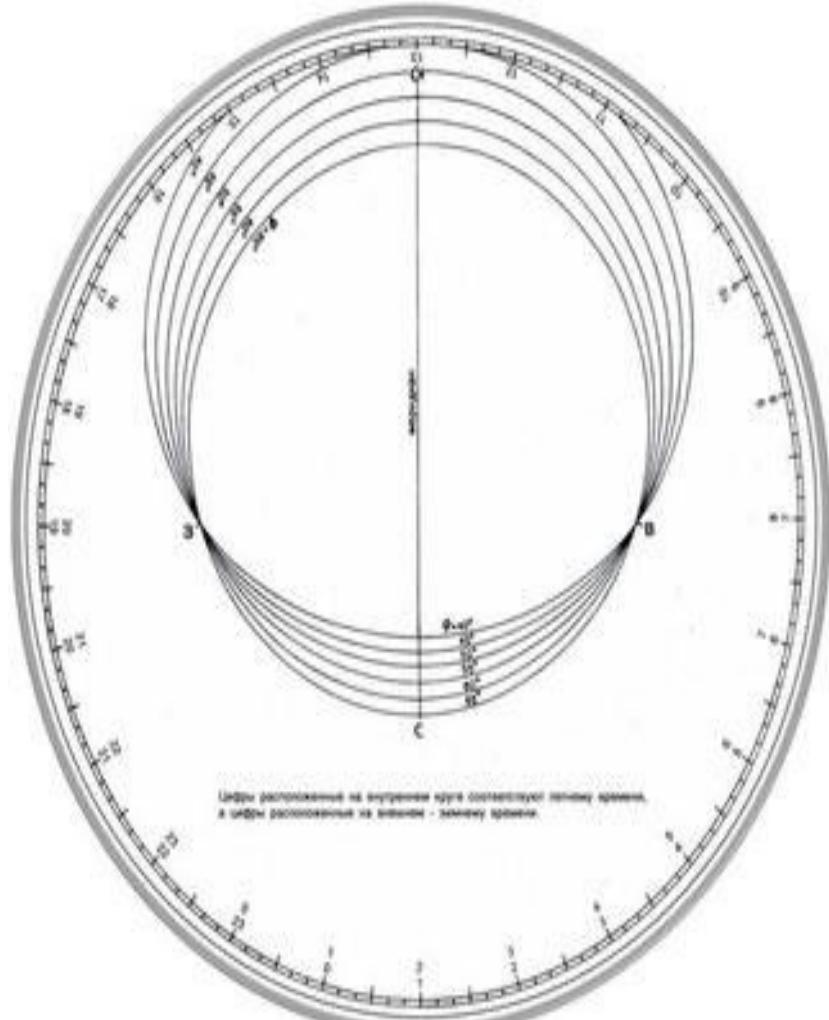


Рисунок 2. Круг с текущим временем.

3) Определение вида звездного неба

Для этого нужно совместить дату наблюдений на внешнем лимбе карты с нужным временем на накладном круге. Время на этой шкале указано местное. Следовательно, необходимо пересчитать поясное время по формуле:

$$t_m = T_n + n - \lambda, \text{ где}$$

λ - географическая долгота в часовой мере (положительна для в.д.);

t_m - местное время;

T_n - поясное время n -го часового пояса.

Поправку ($n - \lambda$) для Вашего населенного пункта лучше записать где-то на самой карте - она будет нужна постоянно. Например, для Москвы $\lambda = 37.5^\circ = 2$ ч 30 мин, $n = 3$ (зимой) или 4 (летом). Соответственно, поправка для пересчета поясного времени в местное равна 30 мин или 1 ч 30 мин. (Да, полночь в Москве летом наступает не в 0 часов, как сообщает нам радио, а в 1 ч 30 мин).

4) Моменты кульминаций, захода и восхода светил

Для определения нужно поворачивать накладной круг, пока нужная звезда не окажется на меридиане (момент кульминации) - линии, соединяющей точки север - юг на накладном круге или не совпадет с краем прорезанного круга (момент восхода или захода). Проверьте сносность накладного круга и карты и считайте время напротив даты наблюдения.

5) Моменты кульминаций, захода и восхода Солнца

Все делается так же, как и в предыдущем пункте, только нужно предварительно отметить положение Солнца - оно приблизительно (без учета уравнения времени) находится как пересечение эклиптики с линией, проведенной от полюса к текущей дате.

Звездное время

Оно равно прямому восхождению светил, пересекающих меридиан на юге. Так как поправка для перехода к звездному времени меняется не очень быстро (4 минуты в сутки), для большинства задач можно использовать всю ночь поправку, определенную для полуночи - эта поправка есть координата (прямое восхождение), приходящаяся напротив даты наблюдения.

Практическая работа № 2

Тема: Сравнительные характеристики тел Солнечной системы

Цель работы: Обобщить знания о физических характеристиках и движении тел Солнечной системы. Методом сравнения выявить общие и отличительные параметры этих тел.

Пособия и оборудование: фотографии Солнца, планет и их крупных спутников, циркуль, транспортир, линейка, калькулятор.

Методические указания к работе.

Данная практическая работа поможет учащимся систематизировать знания о телах Солнечной системы, выявить их различия и общие особенности в физических характеристиках и движении тел.

Первая часть практической работы посвящена физическим характеристикам тел Солнечной системы: диаметры, наклон оси вращения, наличие и геометрические характеристики колец, внешний вид поверхности. Для сравнительного анализа диаметров тел предлагается перевести линейные диаметры в относительные размеры с Землей $D_{\text{КМ}}/D_3$. Далее выбрать удобный масштаб для нанесения окружностей на сравнительный рисунок. Следует отдельно выполнять рисунки для планет Земной группы и крупных спутников, и для планет гигантов с их кольцами. С помощью транспортира отмечается угол наклона оси вращения планеты от перпендикуляра по часовой стрелке, полученную ось обозначают пунктиром. Каждое тело разукрашивается в соответствии с его внешним видом по предложенным преподавателем фотографиям. Чтобы нарисовать кольца планеты, необходимо провести перпендикуляр к оси вращения (экваториальная плоскость). На нем отметить внутренний и внешний радиус колец с обоих сторон. Провести концентрические эллипсы через эти точки. Видимая толщина колец более тонкая за планетой и более широкая перед ней.

Вторая часть практической работы посвящена элементам орбиты тел Солнечной системы. Она включает в себя закрепление следующих понятий: большая полуось орбиты, эксцентриситет, афелий и перигелий. Используя значения этих элементов, строятся сравнительные схемы орбит, отдельно для Земной группы планет, для планет гигантов и больших спутников планет с гипотетической планетой в центре. Для сравнительной схемы орбит тел, рекомендуется сначала перевести данные таблицы в километрах в астрономические единицы, а затем выбрать удобный масштаб для рисунков

На схеме отметить вертикальную и горизонтальную оси. На вертикальной оси отметить большие полуоси (вверх и вниз), на горизонтальной оси отметить перигейное расстояние справа, а афельное расстояние слева, через полученные точки провести орбиту.

Общая таблица с данными параметрами, вычисление дополнительных параметров.

№ п.	Небесное тело	D_{км}	D_{км}/D_З	ε°	R, млн.км	R, а.е.	e	P,а.е.	A, а.е.
1	Меркурий	4880	0,38	2	57,9	0,39	0,21	0,31	0,47
2	Венера	12100	0,94	2,7	108	0,72	0,01	0,71	0,73
3	Земля	12756	1	23,5	149,6	1	0,02	0,98	1,02
4	Марс	6794	0,53	25,2	228	1,52	0,09	1,38	1,66
5	Юпитер	113200	11,23	3,1	778,4	5,2	0,05	4,94	5,46
6	Сатурн	120000	9,4	26,7	1424,6	9,52	0,05	9	10
7	Уран	51800	4,06	97,9	2867	19,16	0,05	18,2	20,12
8	Нептун	49500	3,88	29,6	4486	29,99	0,01	29,7	30,3
9	Плутон	2600	0,2	57,5	5890	39,37	0,25	29,5	49,21
10	Астероиды	1003-1	0,08		330-540	2,2-3,6	~0,3		
11	Луна	3476	0,27	18,3-28	0,384	0,00256	0,05	0,364	0,403
12	Ио	3630	0,28	0,04	0,421	0,0028	0	0,421	0,421
13	Европа	3138	0,25	0,47	0,64	0,00446	0	0,67	0,67
14	Ганимед	5260	0,41	0,19	1,07	0,0071	0	1,07	1,07
15	Каллисто	4880	0,38	0,28	1,883	0,0125	0	1,883	1,883
16	Титан	5150	0,4	0,35	1,221	0,0081	0,03	1,184	1,257
17	Тритон	2700	0,21	157	0,351	0,0023	0	0,351	0,351
18	Комета Галлея	16*8	0,001		18,13	27	0,96	0,58	35,31
19	Комета Энке	3,5	0,0005		2,22		0,84	0,34	4,1

1. Таблица.

Задаются следующие параметры:

D_{км} – диаметр тела в километрах;

ε° - наклон оси вращения тела;

R – большая полуось орбиты;

e – эксцентриситет орбиты;

Вычисляются следующие параметры:

D/D_З – диаметр тела по отношению к диаметру Земли;

R_{а.е.} - большая полуось орбиты в астрономических единицах;

R_{а.е.} = R/149600000

P_{а.е.} – перигелий орбиты в астрономических единицах;

P_{а.е.} = **R_{а.е.}** (1-e).

A_{а.е.} – афелий орбиты в астрономических единицах;

A_{а.е.} = **R_{а.е.}** (1+e).

Сравнительные размеры планет

1. Сравнительные размеры планет Земной группы.

Сравнительные размеры планет земной

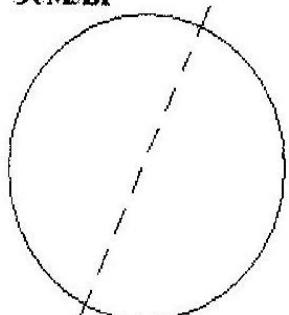
группы и наклоны осей вращения.

Масштаб: 1мм - 255 км

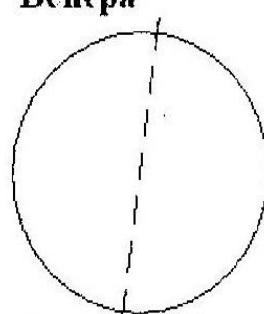
Таблица линейных размеров в масштабе

Обозначение	R, мм	Обозначение	R, мм
Земля	25	Европа	6,2
Венера	23	Ганимед	10
Марс	13	Каллисто	10
Меркурий	10	Титан	10
Луна	7	Тритон	5
Ио	7		

Земля



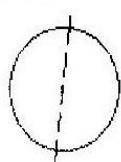
Венера



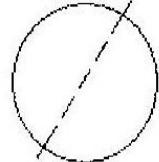
Тритон



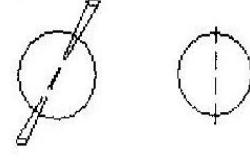
Меркурий



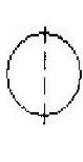
Марс



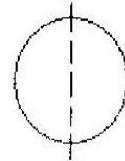
Луна



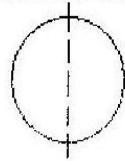
Ио



Ганимед



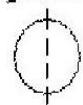
Каллисто



Титан



Европа



Практическая работа №3

Тема: Определение скорости удаления галактик по спектрам.

Цель работы: вычислить скорости удаления галактик по красному смещению линии Нα в их спектрах, построить график зависимости скорости удаления от расстояния до галактики и проанализировать его.

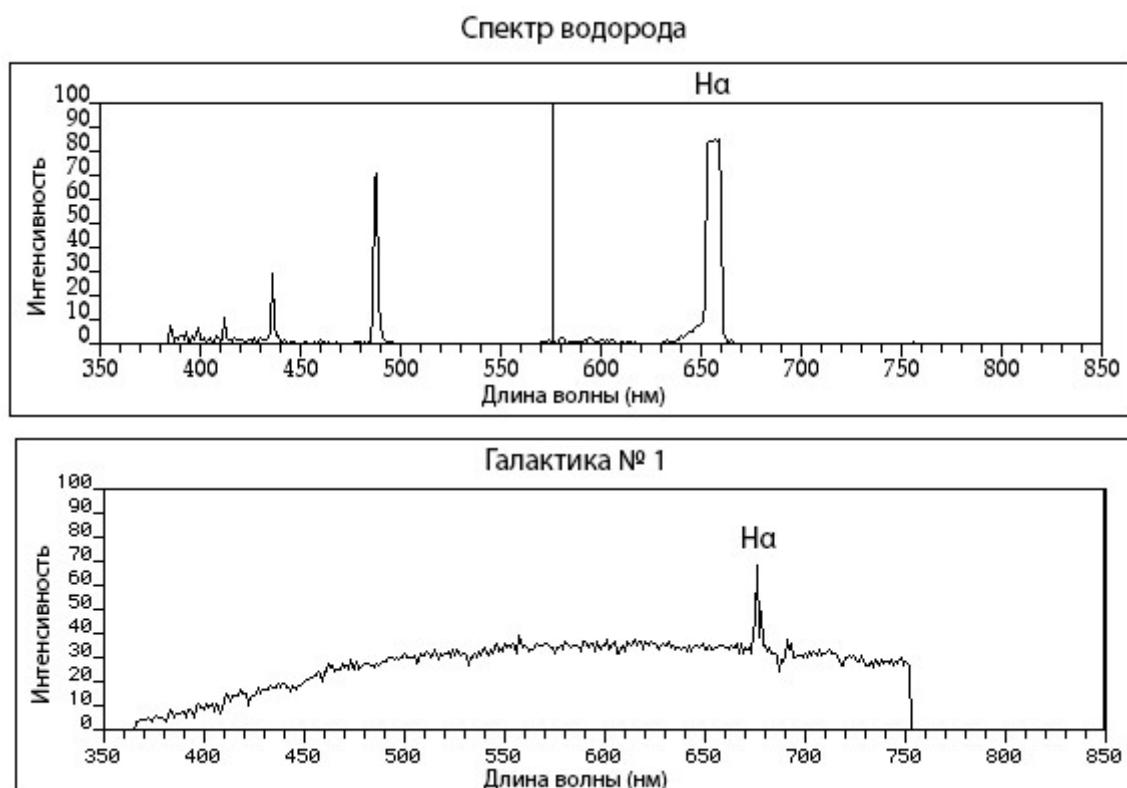
Приборы и материалы: лабораторные спектры линии Н, спектры 5 галактик, карандаш, линейка, калькулятор.

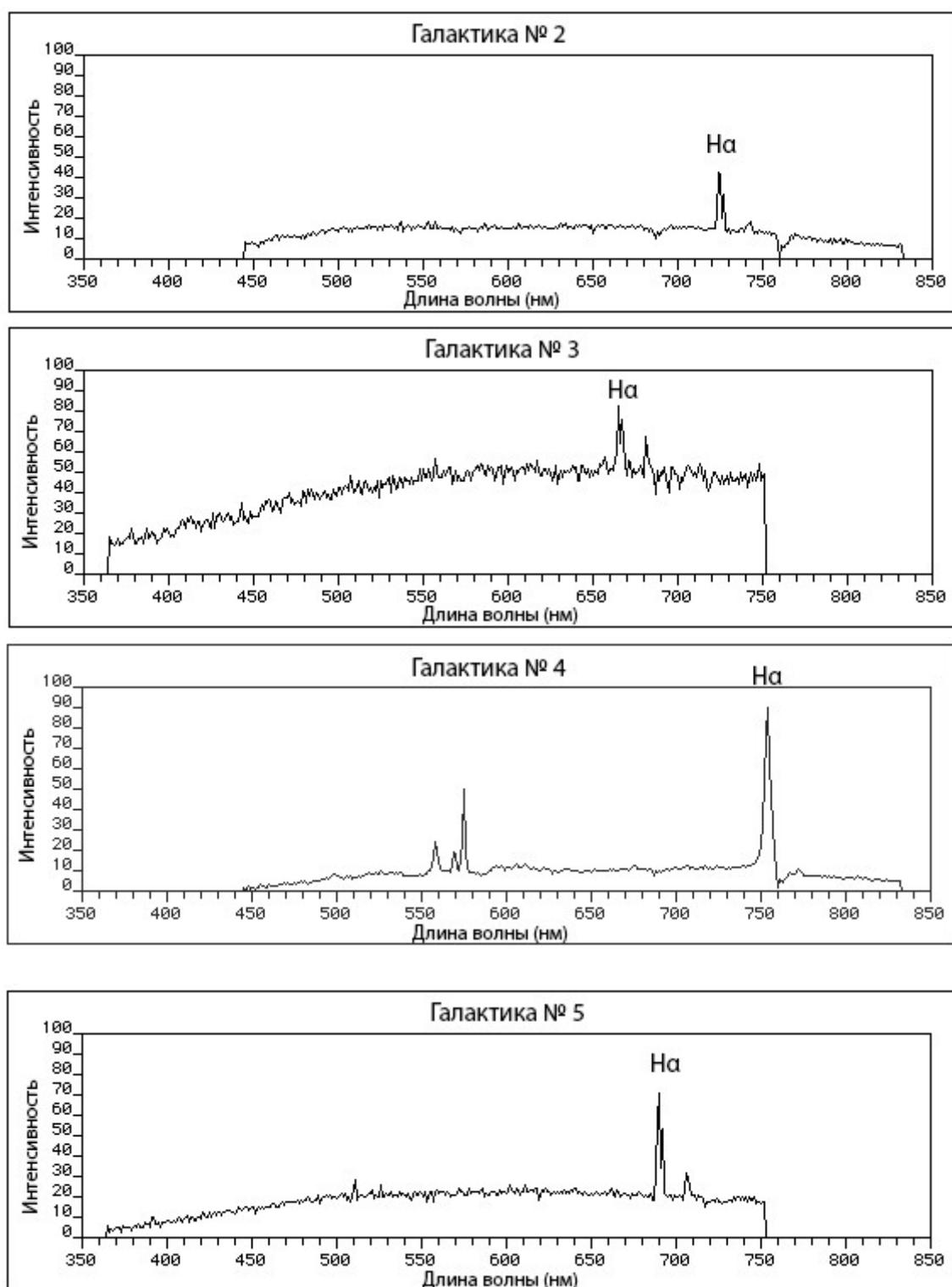
Ход работы

Ниже приведены лабораторный спектр водорода (Н) и спектры галактик. Для каждого объекта спектры представлены в виде графика изменения интенсивности излучения от длины волны. Линия водорода Нα смещена относительно лабораторного значения $\lambda_{\text{Н}\alpha} \approx 656$ нм.

Задание 1. Найдите линию водорода Нα в спектре каждой галактики и определите соответствующую длину волны λ . Результат занесите в таблицу.

Задание 2. Посчитайте смещение спектральной линии $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_{\text{Н}}$ и запишите результат в соответствующий столбец таблицы.





Задание 3. Вычислите красное смещение

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_H}, \text{ результат занесите в таблицу.}$$

Задание 4. Вычислите скорость удаления галактики $v = c \cdot z$ и запишите результат в последний столбец таблицы.

Галактика	Длина волны λ водорода в спектре галактики,	Смещение спектральной линии $\Delta\lambda$	Красное смещение z	Скорость удаления галактики v , км/с	Расстояние до галактики, млн. св. лет

	НМ				
1					
2					
3					
4					
5					

Задание 5. Постройте график зависимости скорости удаления галактик от расстояния до Земли.

Задание 6. Проанализируйте полученный график и сделайте вывод о соотношении расстояния до галактики и скорости её удаления.

Практическая работа №4

Тема: Решение проблемных заданий.

Цель: Рассмотреть различные способы определения расстояния до тел Солнечной системы. Дать понятие горизонтального параллакса и закрепить способ нахождения расстояния и размеров тел через горизонтальный параллакс.

Задание:

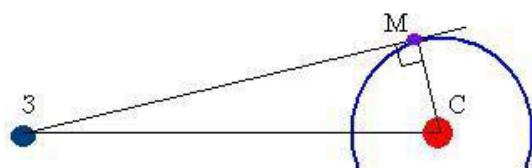
1) Определение расстояний до небесных тел.

В астрономии нет единого универсального способа определения расстояний. По мере перехода от близких небесных тел к более далеким одни методы определения расстояний сменяют другие, служащие, как правило, основой для последующих. Точность оценки расстояний ограничивается либо точностью самого грубого из методов, либо точностью измерения астрономической единицы длины (а. е.).

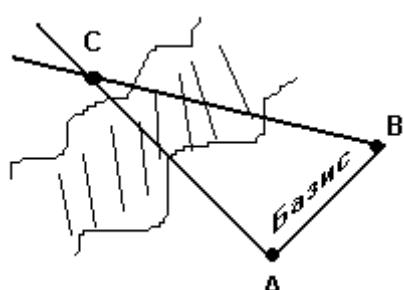
1-й способ: (известен) По третьему закону Кеплера можно определить расстояние до тел СС, зная периоды обращений и одно из расстояний.

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3} \Rightarrow a_1 = \sqrt[3]{\frac{T_1^2 \cdot a_2^3}{T_2^2}}$$

Приближённый метод.



2-й способ: Определение расстояний до Меркурия и Венеры в моменты элонгации (из прямоугольного треугольника по углу элонгации).



3-й способ: Геометрический (параллактический).

Пример: Найти неизвестное расстояние АС.

[AB] – Базис - основное известное расстояние, т. к. углы САВ и СВА – известны, то по формулам тригонометрии

(теорема синусов) можно в Δ найти неизвестную сторону, т. е.

[СА]. *Параллактическим смещением называется изменение направления на предмет при перемещении наблюдателя.*

Параллакс- угол (ACB), под которым из недоступного места виден базис (AB - известный отрезок). В пределах СС за базис берут экваториальный радиус Земли R=6378км.

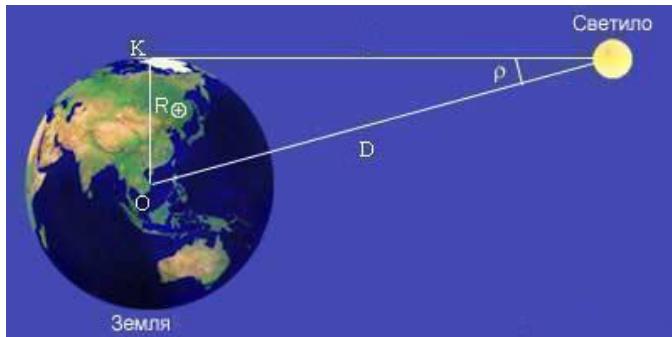
Пусть К - местонахождение наблюдателя, из которого светило видно на горизонте. Из рисунка видно, что из прямоугольного треугольника гипотенуза,

$$D = \frac{R_{\oplus}}{\sin p} \quad D = \frac{206265''}{p''} \cdot R_{\oplus}$$

расстояние **D** равно:

, так как при малом значении угла

если выражать величину угла в радианах и учитывать, что угол выражен в секундах дуги,



а $1\text{рад} = 57,3^{\circ} = 3438' = 206265''$, то и

получается вторая формула.

Угол (p) под которым со светила, находящегося на горизонте ($\perp R$ - перпендикулярно лучу зрения) был бы виден экваториальный радиус Земли называется горизонтальным

экваториальным параллаксом светила.

Т.к. со светила никто наблюдать не будет в силу объективных причин, то горизонтальный параллакс определяют так:

1. измеряют высоту светила в момент верхней кульминации из двух точек земной поверхности, находящихся на одном географическом меридиане и имеющем известные географические широты.
2. из полученного четырехугольника вычисляют все углы (в т. ч. параллакс).

Из истории: Первое измерение параллакса (параллакса Луны) сделано в 129г до НЭ Гиппархом (180-125, Др. Греция).

Впервые расстояния до небесных тел (Луны, Солнца, планет) оценивает Аристотель (384-322, Др. Греция) в 360г до НЭ в книге «О небе» → слишком не точно, например радиус Земли в 10000 км.

В 265г до НЭ Аристарх Самосский (310-230, Др. Греция) в работе «О величине и расстоянии Солнца и Луны» определяет расстояние через лунные фазы. Так расстояния у него до Солнца (по фазе Луны в 1 четверти из прямоугольного треугольника, т. е. впервые использует базисный метод: $3C=3L/\cos 87^{\circ} \approx 19 \cdot 3L$). Радиус Луны определил в 7/19

радиуса Земли, а Солнца в 6,3 радиусов Земли (на самом деле в 109 раз). На самом деле угол не 87° а $89^\circ 52'$ и поэтому Солнце дальше Луны в 400 раз. Предложенные расстояния использовались многие столетия астрономами.

В 240г до НЭ Эратосфен (276-194, Египет) произведя измерения 22 июня в Александрии угла между вертикалью и направлением на Солнце в полдень (считал, что раз Солнце очень далеко, то лучи параллельны) и используя записи наблюдений в тот же день падения лучей света в глубокий колодец в Сиене (Асуан) (в 5000 стадий = $1/50$ доли земной окружности (около 800км) т. е. Солнце находилось в зените) получает разность углов в $7^\circ 12'$ и определяет размер земного шара, получив длину окружности шара 39690 км (радиус=6311км). Так была решена задача определения размера Земли, используя астрогеодезический способ. Результат не был произведен до 17 века, лишь астрономы Багдадской обсерватории в 827г немного поправили его ошибку.

В 125г до НЭ Гиппарх довольно точно определяет (в радиусах Земли) радиус Луны ($3/11 R_\oplus$) и расстояние до Луны ($59 R_\oplus$). Точно определил расстояние до планет, принял расстояние от Земли до Солнца за 1а.е., **Н. Коперник**.

Наибольший горизонтальный параллакс имеет ближайшее тело к Земле - Луна. Р. = $57'02''$; а для Солнца Р= $8,794''$ Задача 1: учебник *Пример № 6* - Найти расстояние от Земли до Луны, зная параллакс Луны и радиус Земли.

Задача 2 : (самостоятельно). На каком расстоянии от Земли находится Сатурн, если его параллакс $0,9''$. [из формулы $D=(206265/0,9)*6378= 1461731300\text{км} = 1461731300/149600000 \approx 9,77\text{а.е.}]$

4-й способ Радиолокационный: импульс→объект →отраженный сигнал→время. Предложен советскими физиками **Л.И. Мандельштам и Н.Д. Папалекси**. Быстрое развитие радиотехники дало астрономам возможность определять расстояния до тел Солнечной системы радиолокационными методами. В 1946г была произведена первая радиолокация Луны Баэм в Венгрии и в США, а в 1957-1963гг — радиолокация Солнца (исследования солнечной короны проводятся с 1959г), Меркурия (с 1962г на = 3.8, 12, 43 и 70 см), Венеры, Марса и Юпитера (в 1964 г. на волнах = 12 и 70 см), Сатурн (в 1973 г. на волне = 12.5 см) в Великобритании, СССР и США. Первые эхо-сигналы от солнечной короны были получены в 1959 (США), а от Венеры в 1961 (СССР, США, Великобритания). По скорости распространения радиоволн $c = 3 \cdot 10^5 \text{ км/сек}$ и по промежутку времени t (сек) прохождения радиосигнала с Земли до небесного тела и

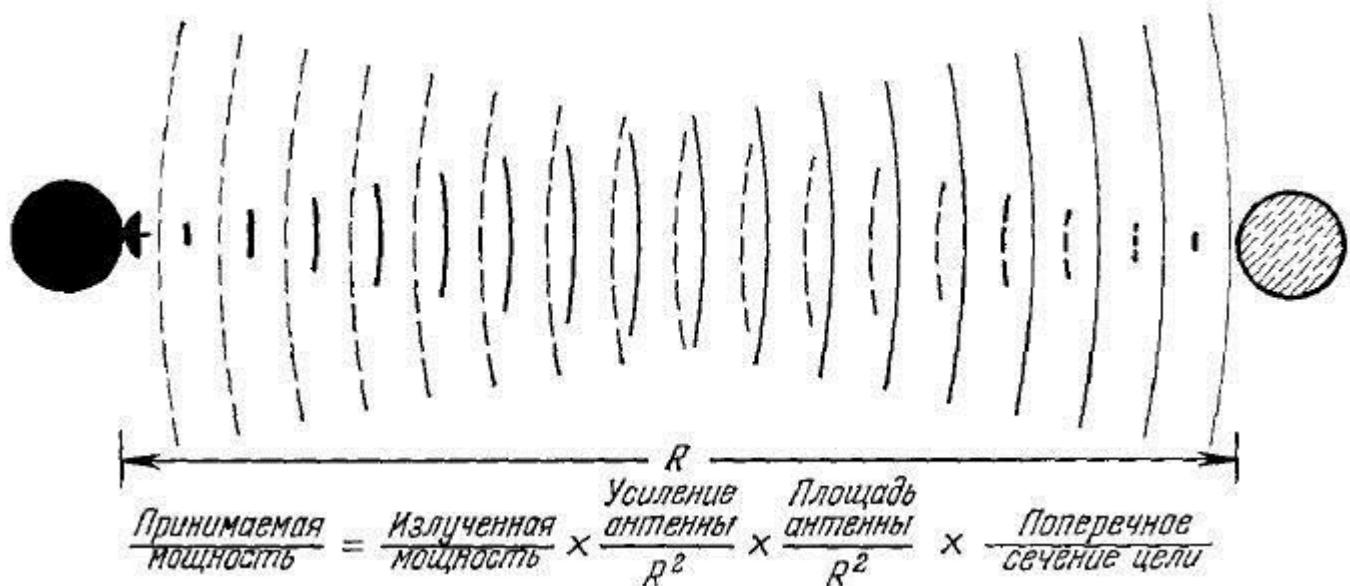
$$R = \frac{ct}{2}$$

обратно легко вычислить расстояние до небесного тела.

$$V_{\text{ЭМВ}} = C = 299792458 \text{ м/с} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

Основная трудность в исследовании небесных тел методами радиолокации связана с тем, что интенсивность радиоволн при радиолокации ослабляется обратно пропорционально четвертой степени расстояния до исследуемого объекта. Поэтому радиолокаторы, используемые для исследования небесных тел, имеют антенны больших размеров и мощные передатчики. Например, радиолокационная установка центра дальней космической связи в Крыму имеет антенну с диаметром главного зеркала 70 м и оборудована передатчиком мощностью несколько сотен кВт на волне 39 см. Энергия, направляемая к цели, концентрируется в луче с углом раскрытия 25°.

Из радиолокации Венеры, уточнено значение астрономической единицы: 1 а. е.=149 597 870 691 ± 6м ≈149,6 млн.км., что соответствует Р=8,7940". Так проведенная в Советском Союзе обработка данных радиолокационных измерений расстояния до Венеры в 1962-75гг (один из первых удачных экспериментов по радиолокации Венеры провели сотрудники Института радиотехники и электроники АН СССР в апреле 1961г антенной дальней космической связи в Крыму, = 39 см) дала значение 1 а.е. =149597867,9 ±0,9 км. XVI Генеральная ассамблея Международного астрономического союза приняла в 1976г



значение 1 а.е.=149597870±2 км. Путем радиолокации с КА определяется рельеф поверхности планет и их спутников, составляются их карты

Основные антенны, используемые для радиолокации планет:

= Евпатория, Крым, диаметр 70 м, = 39 см;

= Аресибо, Пуэрто Рико, диаметр 305 м, = 12.6 см;

= Голдстоун, Калифорния, диаметр 64 м, = 3.5 и 12.6 см, в бистатическом режиме прием осуществляется на системе апертурного синтеза VLA.

С изобретение Квантовых генераторов (**лазера**) в 1969г произведена первая лазерная локация Луны (зеркало для отражения лазерного луча на Луне установили астронавты США «Apollo - 11» 20.07.69г), точность измерения составили ± 30 см. На рисунке показано расположение лазерных уголковых отражателей на Луне, установленных при полете КА "Луна-17, 21" и "Аполлон - 11, 14, 15". Все, за исключением отражателя Лунохода-1 (L1), работают и сейчас.

Лазерная (оптическая) локация нужна для:

- решение задач космических исследований.
- решение задач космической геодезии.
- выяснения вопроса о движении земных материков и т.д.

2) Определение размеров небесных тел.

a) Определение радиуса Земли.

$\Delta\Omega = \pi = \phi_A - \phi_B$ (разность географических широт)

$e = AB$ - длина дуги вдоль меридиана

$$R_\oplus = \frac{180^\circ \cdot e}{\pi n} \quad [\text{форм 21}].$$

т.к. $e_1 = e/n = 2\pi R/360^\circ$, то

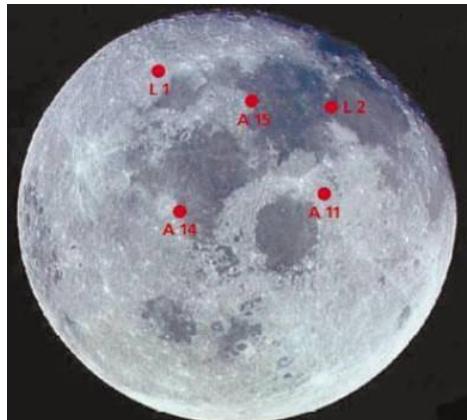
Аналогичным способом в 240г до НЭ (рисунок выше) определяет радиус Земли

географ Эратосфен. $L/800 = 360^\circ / 7,2^\circ$

б) Определение размера небесных тел.

III. Закрепление

1. Пример 7 (стр. 51).
2. CD- "Red Shift 5.1" - Определить на данный момент удаленность нижних (планет земной группы, верхних планет, планет гигантов) от Земли и Солнца в а.е.
3. Угловой радиус Марса 9,6", а горизонтальный параллакс 18''. Чему равен линейный радиус Марса? [Из формулы 22 получим 3401,6 км. (фактически 3396 км)].
4. Каково расстояние между лазерным отражателем на Луне и телескопом на Земле, если импульс возвратился через 2,43545с? [из формулы $R = (c \cdot t)/2$ $R = 3 \cdot 10^8 \cdot 2,43545 / 2 \approx 365317500,92 \text{ м} \approx 365317,5 \text{ км}$]



5. Расстояние от Земли до Луны в перигее 363000км, а в апогее 405000км. Определите горизонтальный параллакс Луны в этих положениях. [из формулы $D=(206265''/p)*R_{\oplus}$ отсюда $p=(206265''/D)*R_{\oplus}$; $p_A=(206265''/405000)*6378 \approx 3248,3'' \approx 54,1'$, $p_p=(206265''/363000)*6378 \approx 3624,1'' \approx 60,4'$].

Контрольные вопросы:

- 1) Что такое параллакс?
- 2) Какими способами можно определить расстояние до тел СС?
- 3) Что такое базис? Что принимается за базис для определения расстояния до тел СС?
- 4) Как зависит параллакс от удаленности небесного тела?
- 5) Как зависит размер тела от угла?

Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет - ресурсов, дополнительной литературы:

1. Основная литература:

Воронцов-Вельяминов Б.А., Страут Е.К., Астрономия, базовый уровень, 11 класс, М., Дрофа, 2020.

1. Дополнительная литература:

Левитан Е.П. Астрономия, базовый уровень, 11 класс, М., Просвещение, 2020.