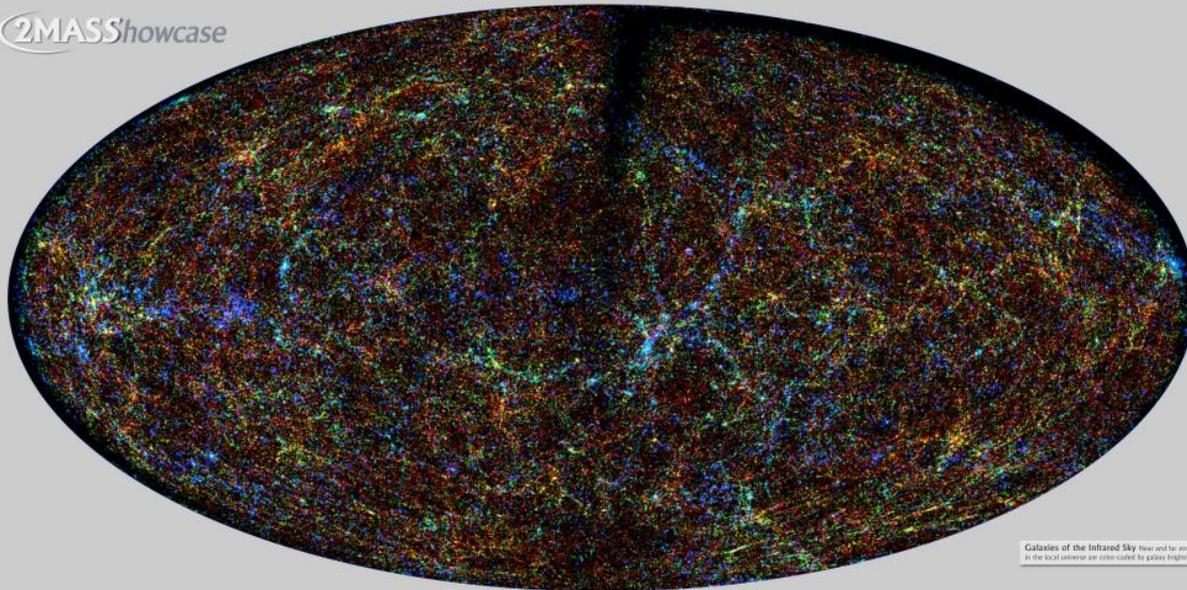


«Астрономия – наука загадок» (Н.С. Лесков)

2MASS Showcase



Galaxies of the Infrared Sky near and far
in the local universe are color-coded by galaxy brightness.

Two Micron All Sky Survey Image Mosaic: Infrared Processing and Analysis Center/Caltech @ University of Massachusetts



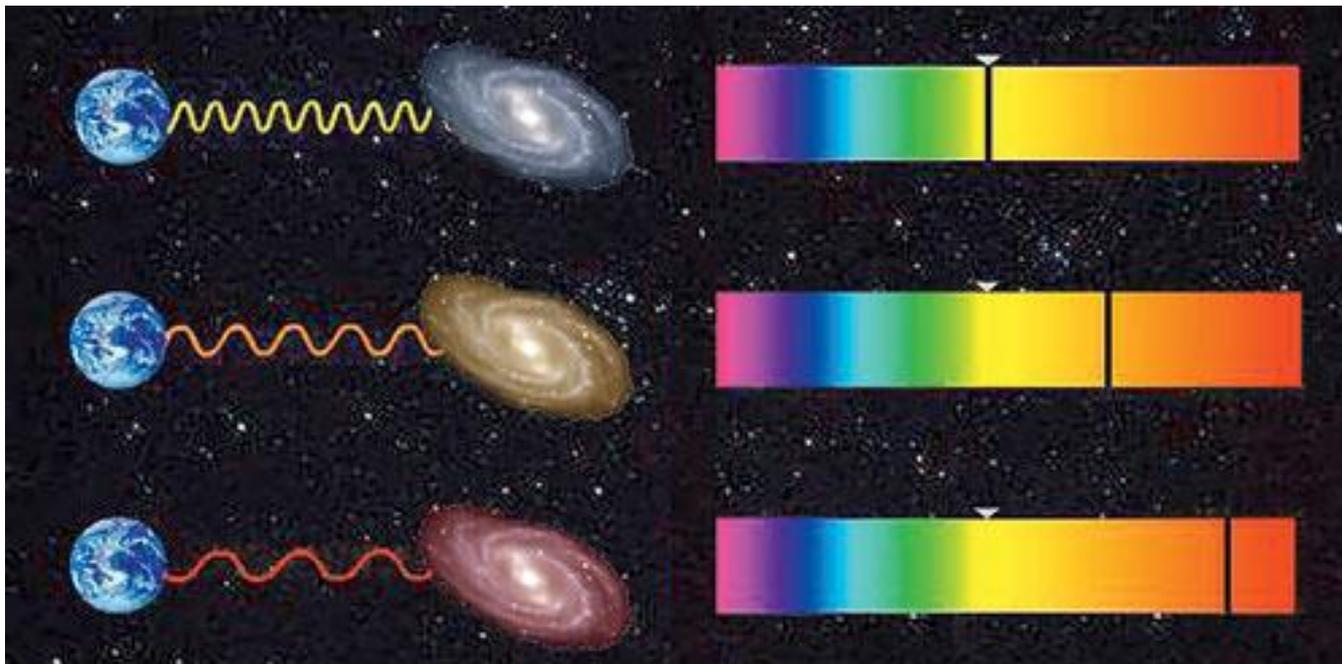
Закон Хаббла. Красное смещение.



Наблюдения показывают, что Вселенная меняется со временем. Проявлением этих изменений является **расширение Вселенной**.

➤ **Расширением Вселенной** называется непрерывное увеличение средних расстояний между далёкими друг от друга объектами — галактиками или их скоплениями, если только эти объекты не связаны друг с другом силами *гравитационного притяжения*, как, например, галактики Местной группы или галактики, относящиеся к какому-либо одному скоплению.

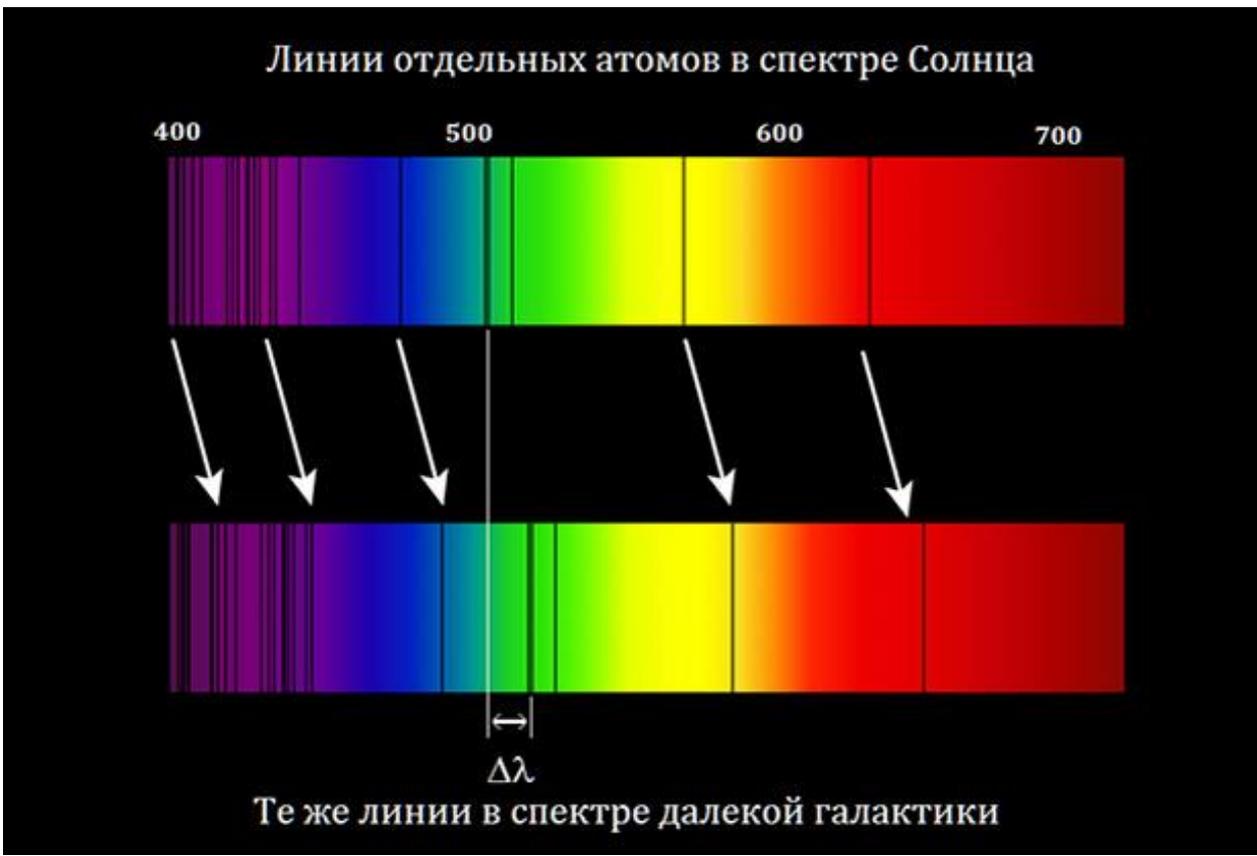
В 1920-х гг было обнаружено «разбегание» галактик. американский астроном **Весто Слайфер** по спектральным наблюдениям небольшого числа галактик установил, что большинство из них удаляется от нас, причём более далёкие удаляются быстрее.



Весто Слайфер
1875 – 1969

Прямым свидетельством расширения служат наблюдаемые увеличения длин волн линий в *спектрах* далёких галактик на некоторую величину $\Delta\lambda$, разную для разных галактик, по отношению к длине волны λ линий тех же элементов в спектрах лабораторных источников. Смещение линий

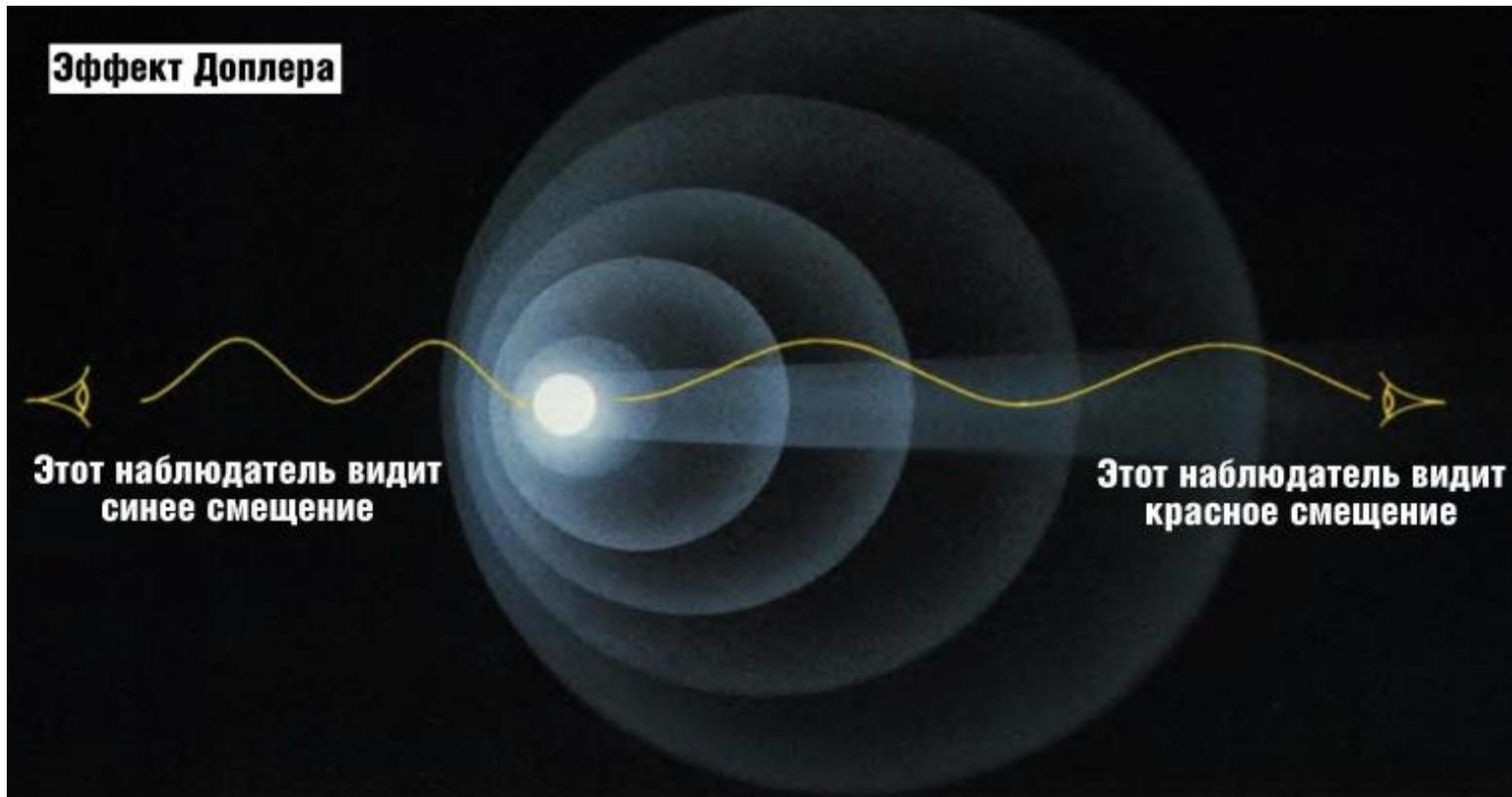
в сторону более длинных волн называют **красным смещением**.



При этом увеличение длины волны $\Delta\lambda$ наблюдается для любого вида излучения — от рентгеновского до радиоизлучения, причём в любом диапазоне спектра относительное увеличение длины волны $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ оказывается всегда одинаковым.

Смещение линий связано с эффектом Доплера при удалении источников.

Эффект Доплера – изменение наблюдаемой частоты колебаний ν источника излучения при его движении относительно наблюдателя. Наблюдаемая частота излучения ν уменьшается, если источник удаляется от наблюдателя и увеличивается, если он приближается.



Согласно эффекту Доплера скорость удаления

$$V = c \left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \right)$$

где c — скорость света (эта простая формула справедлива только для скоростей V много меньших c).

Отношение $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ рассматривается как

количественное значение *красного смещения*.

Так, если $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{1}{100}, \frac{1}{10}, 1$

это означает, что все длины волн источника увеличены соответственно на 1, 10 или 100 % (то есть вдвое).

В 1929 г. американский астроном Эдвин Хаббл первым определив по цефеидам расстояние до небольшого числа галактик, обнаружил линейную зависимость между расстоянием D и красным смещением $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ галактик:

$$V = H_0 \cdot D, \text{ или } D = \frac{c \left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \right)}{H_0}$$

где H_0 — величина, называемая **постоянной Хаббла**.

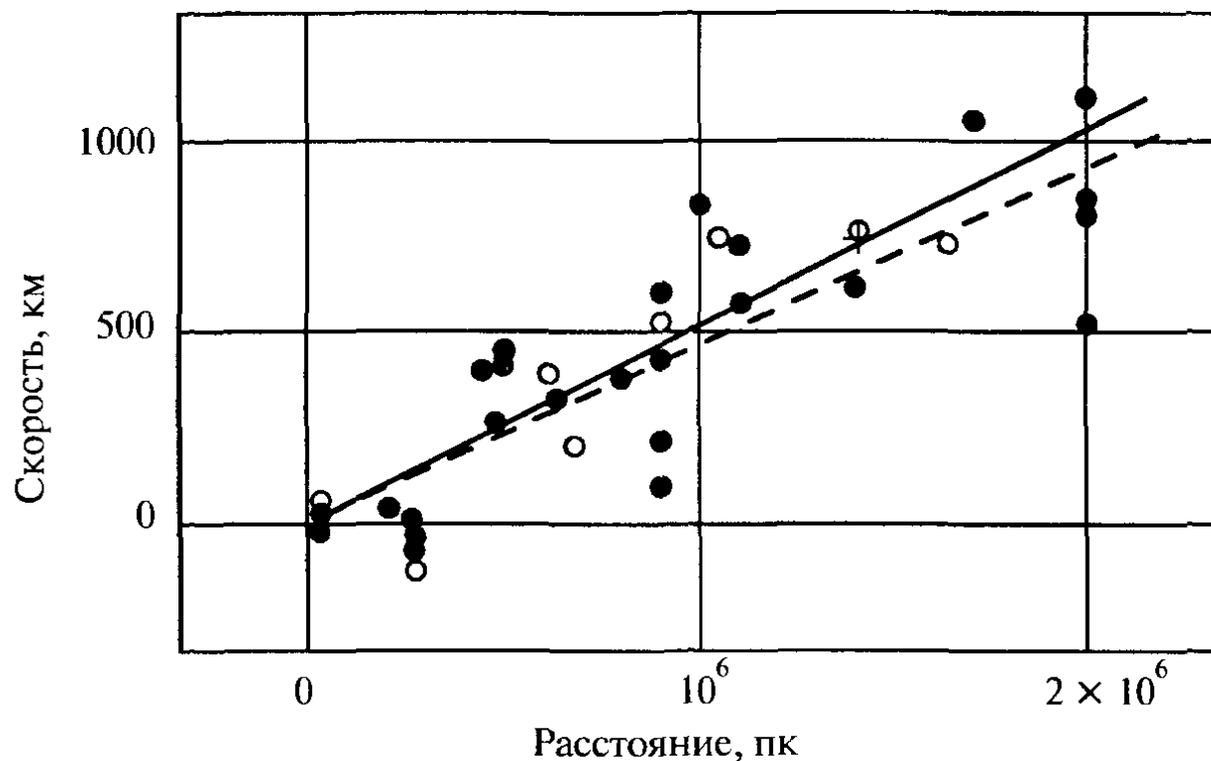


Эдвин Хаббл
(1889-1953)

$$V = H_0 \cdot D, \text{ или } D = \frac{c \left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \right)}{H_0}$$

Если скорость измерять в километрах в секунду, а расстояние в мегапарсеках (1 Мпк \approx 3 млн св. лет), то размерность H_0 будет км/(с \cdot Мпк). По современным оценкам, $H_0 \approx 70$ км/(с \cdot Мпк) с точностью до нескольких процентов этой величины.

Зависимость скорости удаления галактики от расстояния называют **зависимостью Хаббла** (рис.), а пропорциональность между V и D — **законом Хаббла**.



$$V = H_0 \cdot D$$

Рис. 2.3. Оригинальная хаббловская диаграмма 1929 г. На вертикальной оси скорость должна быть в единицах км/с, а не в км

Дополнительно посмотрите видео лекцию
Владимира Георгиевича Сурдина «Закон
Хаббла»

<https://www.youtube.com/watch?v=qlmldYJrDPo&list=PLXjYPjDRKDj4wqL4rceb63nmVsyNK7Y6Y&index=39&t=0s>

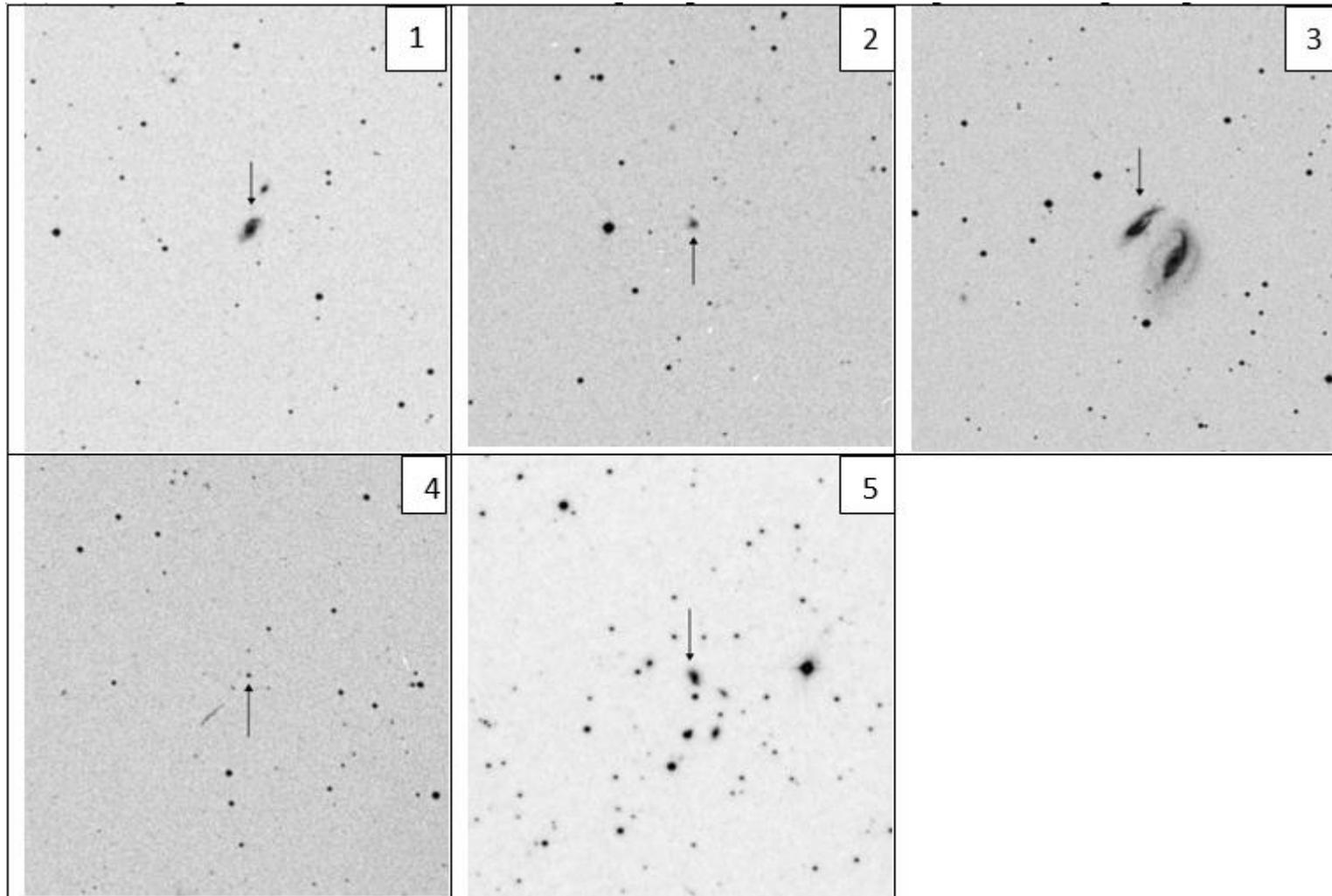
Практическое задание:

Лабораторная работа

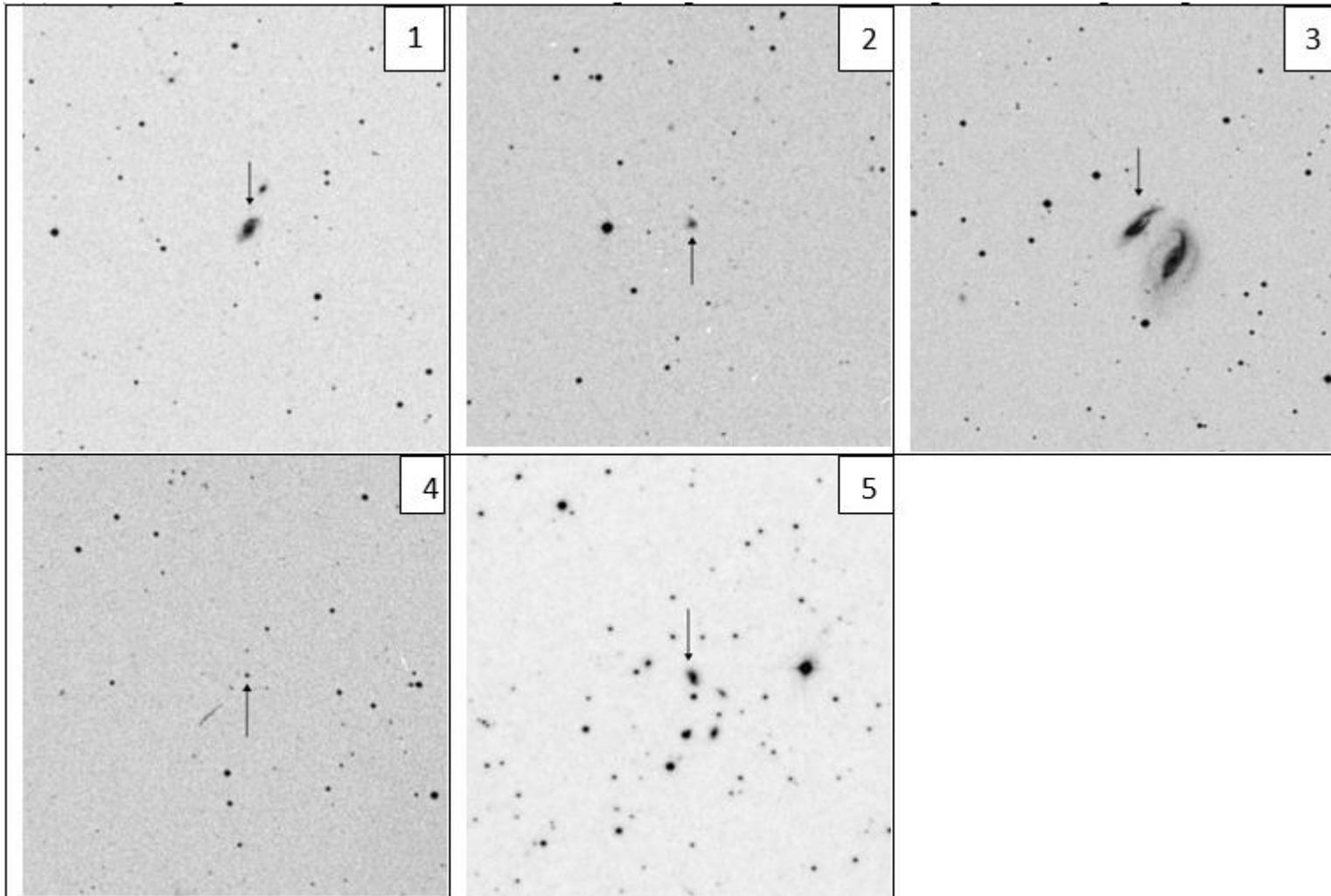
«Определение скорости удаления галактик по спектрам»

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

Даны изображения галактик, имеющих примерно одинаковые физические размеры.



Расположите галактики (укажите их номера) по их удаленности от поверхности Земли: от самых близких до самых далеких. Объясните ваш выбор.



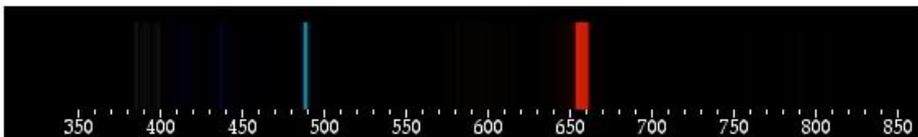
Задания:

Найдите линию водорода H_{α} в спектре каждой галактики и определите соответствующую длину волны λ . Результат занесите в таблицу.

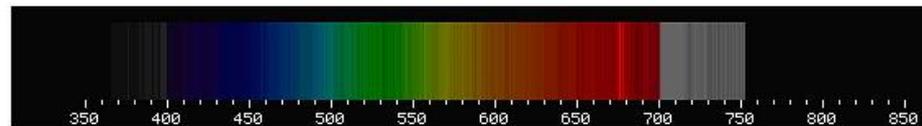
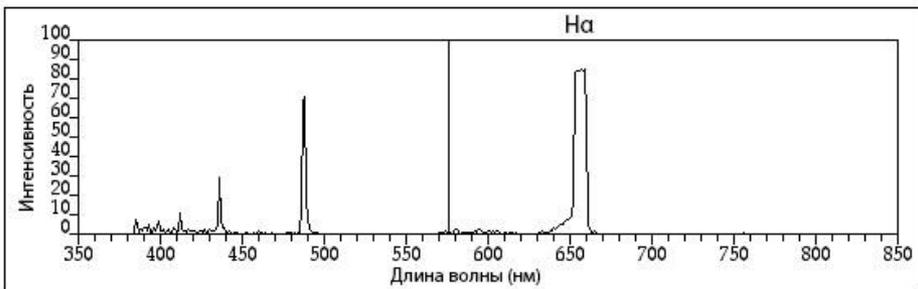
Посчитайте смещение спектральной линии $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_H$ и запишите результат в соответствующий столбец таблицы.

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

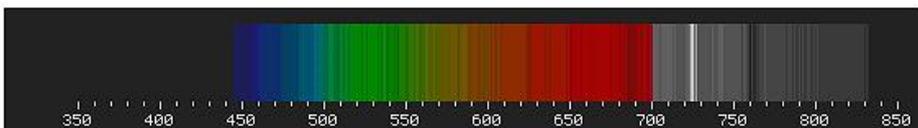
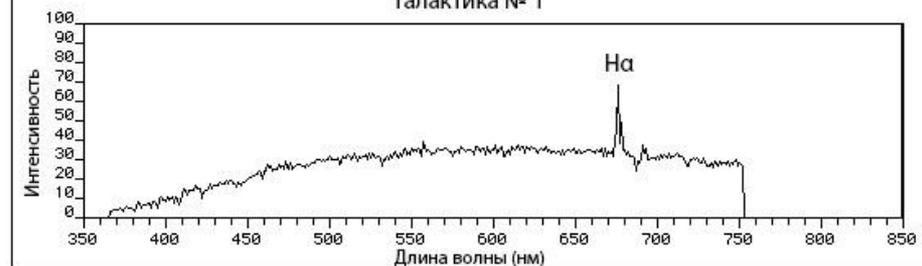
Вычислите скорость удаления галактики $v = c \cdot z$ и запишите результат в последний столбец таблицы.



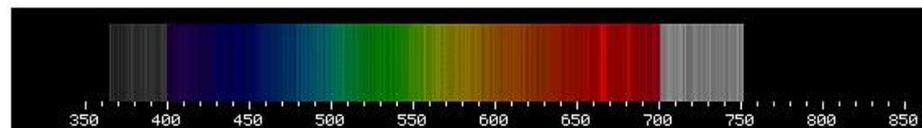
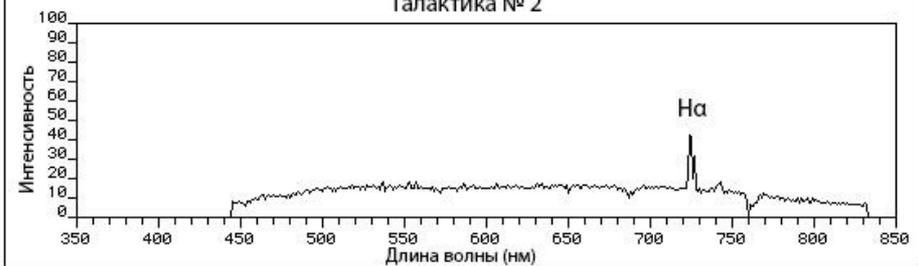
Спектр водорода



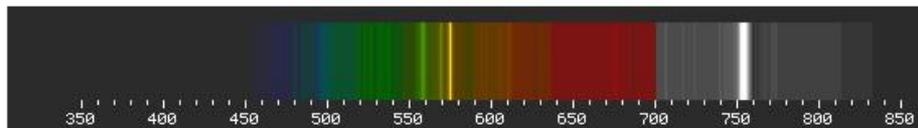
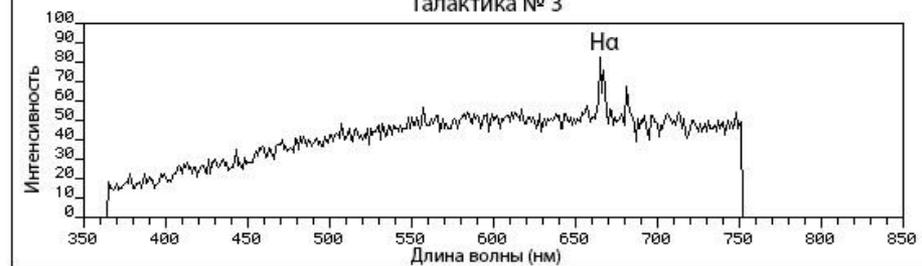
Галактика № 1



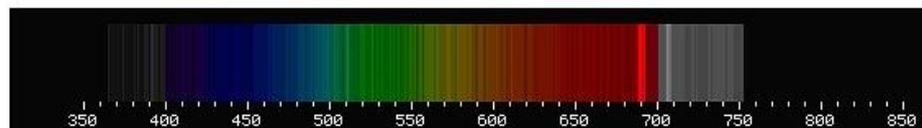
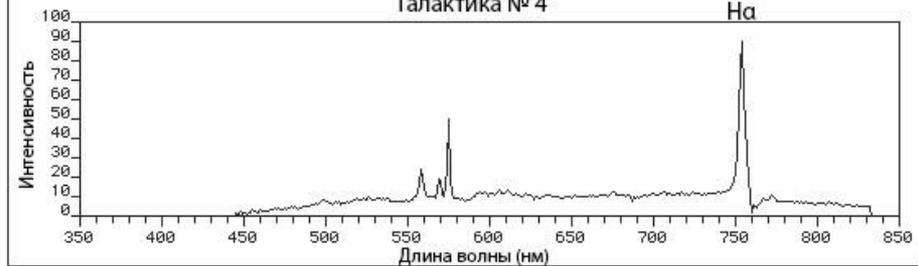
Галактика № 2



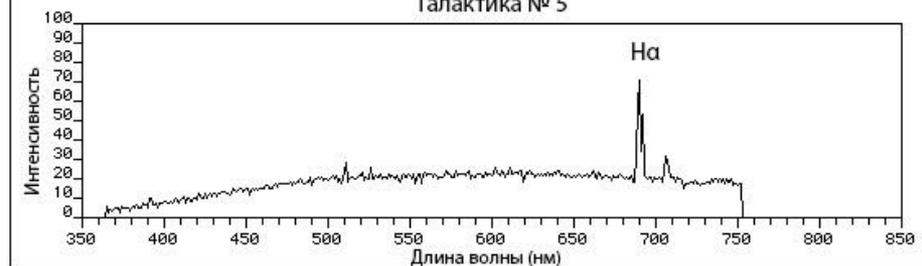
Галактика № 3



Галактика № 4



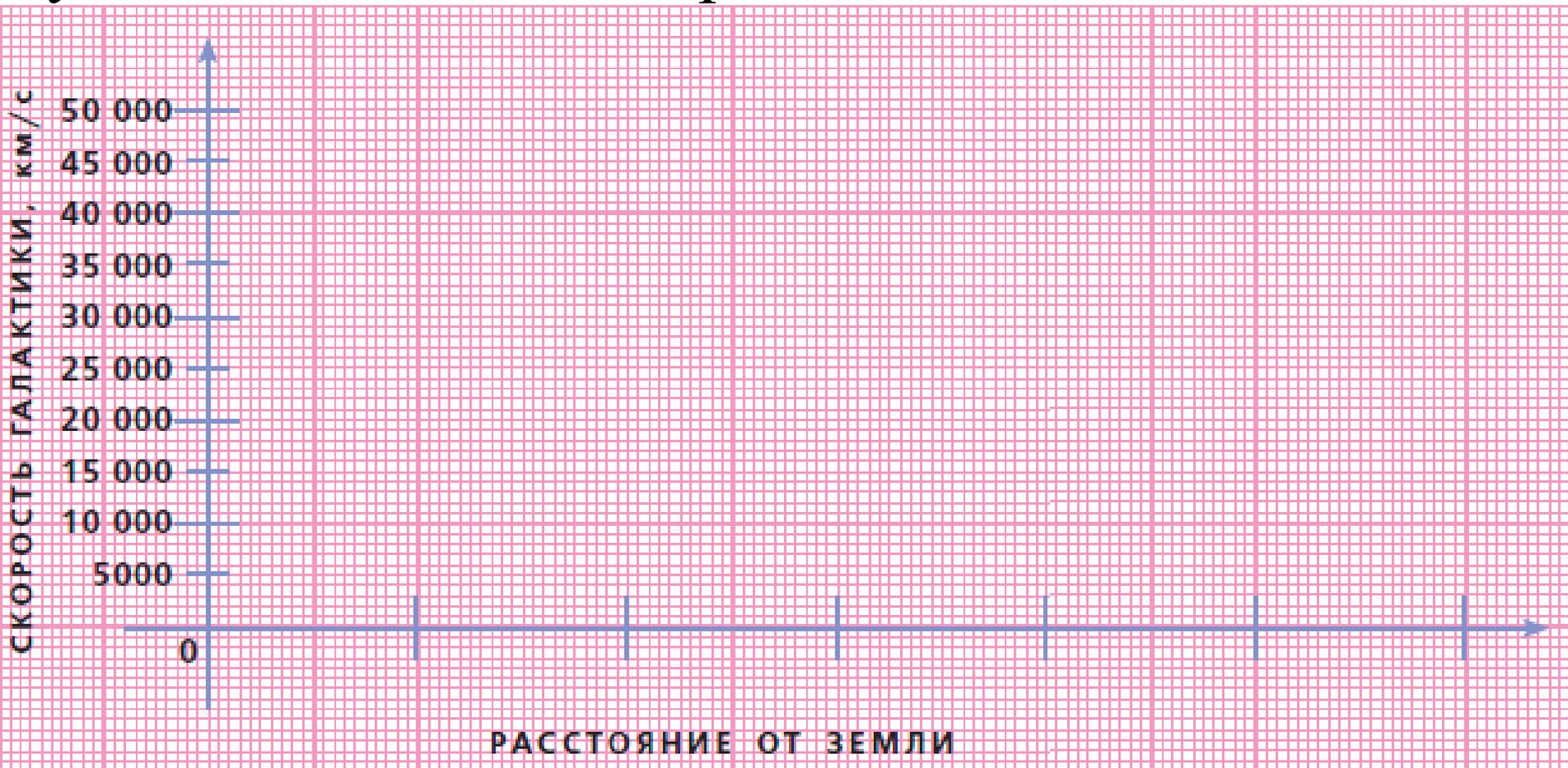
Галактика № 5



Задания:

Галактика	Длина волны λ водорода в спек- тре галактики, нм	Смещение спектральной линии $\Delta\lambda$	Красное смещение z	Скорость уда- ления галак- тики v , км/с	Расстояние до галактики, млн св. лет
1					
2					
3					
4					
5					

Для каждой галактики отметьте скорость удаления на диаграмме (по вертикальной оси). Постройте график зависимости скорости удаления галактик от расстояния до Земли.



Задания:

- Проанализируйте полученный график и сделайте вывод о соотношении расстояния до галактики и скорости её удаления.
- О чём свидетельствует разбегание галактик?
- Сформулируйте закон Хаббла и запишите его

Отметим, что значение красного смещения не зависит от того, в каком спектральном интервале находится линия: наблюдения в оптическом, радио-, рентгеновском диапазоне дают одно и то же значение z .

Задания:

- Используя закон Хаббла, вычислите расстояния до галактик. Значение постоянной Хаббла $H = 68 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$. Полученные результаты занесите в таблицу и подпишите на диаграмме (горизонтальная ось). Проанализируйте, правильно ли вы расположили галактики, выполняя задание 1.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА

■ В спектре галактики Андромеды наблюдается сдвиг спектральных линий в фиолетовую (коротковолновую) часть спектра. Какой вывод о движении этой галактики по отношению к нашей следует сделать на основании этого факта?

■ Какой физический смысл имеет постоянная Хаббла?

■ Используя закон Хаббла, определите максимальное расстояние, до которого можно наблюдать небесные тела.

Литература

1. Воронцов-Вельяминов, Б.А. Астрономия. Базовый уровень. 11 класс: учебник. / Б. А. Воронцов-Вельяминов, Е. К. Страут. – 5-е изд., пересмотр. – М.: Дрофа, 2018.
2. Засов, А.В. Астрономия: 10-11 классы / А.В. Засов, В.Г. Сурдин. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2019
3. Кондакова, Е.В. Астрономия. Тетрадь-практикум. 10-11 классы: учеб. пособие для общеобразоват. организаций: базовый уровень // Е.В. Кондакова, В.М. Чаругин. – М.: Просвещение, 2018.
4. Левитан, Е.П. Астрономия. 11 класс: учеб. пособие для общеобразоват. организаций: базовый уровень. – М.: Просвещение, 2018.
5. Чаругин, В.М. Астрономия. 10-11 классы: учеб. пособие для общеобразоват. организаций: базовый уровень. – М.: Просвещение, 2018.