

Методическая разработка урока астрономии в 11-м классе

Тема урока : «Расширяющаяся Вселенная»

Цель урока- познакомиться с космологической моделью Вселенной

Поставленные перед уроком задачи:

1. Вспомнить в чем заключается суть фотометрического парадокса?
2. Вспомнить суть эффекта Доплера и значение СТО Эйнштейна для астрономии.
3. Познакомиться с космологической моделью Вселенной.
4. Сформулировать закон Хаббла.
5. Научиться определять радиус и возраст Вселенной.

Оборудование к уроку:

- **интерактивная доска**
- **видео проектор**
- **презентация к уроку**
- **комп.планшеты**

Этапы урока:

1. Введение в тему. Этап самоопределения деятельности.

Вселенная расширяется?! Вряд ли что-нибудь подобное приходило в голову даже самым великим философам, астрономам, физикам прошлого. И в те времена, когда ученые признавали геоцентрическую систему мира и позднее - когда утвердилась гелиоцентрическая система Коперника, считалось, что Вселенная ограничена "сферой неподвижных звезд". Датский астроном [Тихо Браге](#) (1546-1601) многие годы был убежден, что во Вселенной ничего особенного не происходит, что она не изменяется со временем, что над Землей вечно сияли и будут сиять звезды привычных нам созвездий. Хотя он, конечно, наблюдал такие необычные явления на небе, как "падающие звезды" (метеоры) или кометы. А однажды вечером - это было 11 ноября 1572 года, - возвращаясь из алхимической лаборатории, 26-летний Тихо увидел в созвездии Кассиопеи яркую звезду, которой там раньше не было. Современные астрономы называют эту взорвавшуюся звезду его именем - Сверхновая Тихо. Тогда появившееся в небе светило, которое было ярче Венеры и видно даже днем, показалось Тихо Браге чудом. "Я был настолько поражен этим зрелищем, - записал он, - что не постыдился подвергнуть сомнению то, что видели мои собственные глаза... Не было ли это величайшим из чудес, которые случались когда-либо со времен начала мира?.." Однако ни это столь удивительное открытие, ни многие другие, сделанные в последующие столетия, не изменили отношения ученых ко Вселенной в целом. Величайший из физиков XX века [Альберт Эйнштейн](#) первоначально тоже пришел к выводу о неизменности (статичности) и замкнутости Вселенной. Он говорил, что в мире, напоминающем поверхность

шара, световой луч способен совершить "круговселенское" путешествие. С присущей ему скоростью (300000 км/с) он может отправиться в это путешествие из какой-нибудь точки, а потом, вдоволь нагулявшись среди сотен или даже тысяч миллиардов галактик, вернуться через десятки миллиардов лет к месту своего старта. Правда, Эйнштейн через некоторое время признал, что Вселенная совсем не такая... Какая же она, наша Вселенная?

2. Этап актуализации знаний и фиксации затруднений в деятельности

Учитель: «На прошлом уроке, мы с вами познакомились с так называемым **фотометрическим парадоксом**. Что это такое?»

Ученик:

- один из парадоксов дорелятивистской **космологии**, заключающийся в том, что в стационарной **Вселенной**, равномерно заполненной звёздами (как тогда считалось), яркость неба (в том числе ночного) должна быть примерно равна яркости солнечного диска. То есть, любая точка неба должна светиться. Всё небо должно сиять по всей видимой площади! На самом деле этого мы не наблюдаем.



Учитель: «Какое значение для астрономии имеет СТО Эйнштейна?»

- Специальная теория относительности покончила с эфиром как абсолютным телом отсчета и с абсолютным (т.е. независимым от пространственной системы отсчета) временем. Согласно этой теории, свет обладает гравитационной массой. Если свет обладает гравитационной массой, т.е. весом, он неизбежно отклонится в сторону тяжелого тела, проходя мимо этого тела так же, как летящий над Землей снаряд отклоняется в сторону Земли и в конце концов падает на ее поверхность. Световой луч не упадет на Землю. Из теории

тяготения Эйнштейна вытекает, что, проходя возле Земли, он отклонится в сторону (т.е. в сущности будет падать на Землю) так, что это останется незаметным. Луч отклонится в течение секунды (т.е. на пути, равном 300 000 километров) всего на 10 метров. Но, проходя возле более тяжелого тела, т.е. испытывая большее воздействие гравитационных сил, луч отклонится в большей степени. Вблизи Солнца отклонение будет в 27 раз большим, чем вблизи Земли. Если луч звезды, прежде чем попасть на Землю, пройдет вблизи Солнца, он отклонится, и на фотографии звездного неба изображение этой звезды окажется смещенным по сравнению с фотографией, сделанной в отсутствие Солнца в наблюдаемой части небосвода. Но когда Солнце на небе, звезды, в особенности близкие к его диску, нельзя ни увидеть, ни сфотографировать. Поэтому нужно было фотографировать звезды, видимые вблизи диска Солнца (т.е. звезды, лучи которых проходят возле Солнца) во время солнечного затмения. Нужно было выбрать такое затмение, когда Солнце находится на пути лучей ярких звезд. В 29 мая 1919 г. Эддингтон такое затмение наблюдал. Эйнштейн отправил открытку матери: "Радостные новости сегодня! Лоренц телеграфировал мне, что английская экспедиция доказала отклонение лучей света вблизи Солнца". Согласно общей теории относительности, гравитационное взаимодействие осуществляется с конечной скоростью, равной скорости света. Кроме того, общая теория относительности накладывает определенные ограничения на геометрические свойства пространства и времени.

Учитель: « Давайте ещё раз вспомним о эффекте Доплера. В чем его суть?»

Ученик:

- Явление изменения частоты (длины волн), воспринимаемой приемником при изменении положения относительно него источника излучения колебаний, называют [эффектом Доплера](#). Частота и длина колебаний могут изменяться не только при движении источника, относительно приёмника, но и наоборот. В виде формулы эффект Доплера можно выразить следующим образом:

$$\lambda = \frac{(c - v)}{f_0}$$

где λ – длина волны, c – скорость распространения волн в вакууме (скорость света), v – скорость источника волн относительно среды (при приближении к источнику положительная, при удалении – отрицательная), f_0 – частота испускаемых волн.

3. Формулировка цели урока

Учитель: «Как вы думаете, о чем пойдет речь сегодня на нашем уроке?»

Ученики:

- меняется ли Вселенная или она всегда была, есть и будет такой, как в данный момент?
- расширяется ли Вселенная или сжимается ?
- есть ли современные модели позволяющие понять строение Вселенной?
- насколько Вселенная огромна и как давно она существует?

Учитель:

Итак, **цель нашего урока**- познакомиться с космологической моделью Вселенной, которая позволит нам выяснить стационарна ли наша Вселенная и каковы ее размеры.

4. Этап построения проекта выхода из затруднений.

Учитель:

Космологические модели- это модели, пытающиеся описать развитие **Вселенной** как целого. Для построения моделей применяются следующие теории и разделы физики:

- 1.Равновесная статистическая физика, теория релятивистского газа.
- 2.Теория гравитации.
- 3.Физики элементарных частиц.

Первая релятивистская космологическая модель Вселенной была разработана А. Эйнштейном в 1917 году. В соответствии с представлениями классической астрономии о стационарности Вселенной, он исходил из предположения о неизменности свойств Вселенной, как целого во времени (радиус кривизны пространства он считал постоянным). Эйнштейн даже видоизменил общую теорию относительности, чтобы она удовлетворяла этому требованию, и ввел дополнительную космическую силу отталкивания, которая должна уравновесить взаимное притяжение звезд. Модель Эйнштейна носила стационарный характер, поскольку метрика пространства рассматривалась как независимая от времени. Время существования Вселенной бесконечно, т.е. оно не имело ни начала, ни конца, а пространство было безгранично, но конечно.

Современная космологическая модель Вселенной.

В 1922 году российский математик и геофизик **А.А. Фридман** доказывал, что *Вселенная не может быть стационарной, она должна либо расширяться, либо сжиматься.* Эйнштейн сначала отрицательно отнесся к работам Фридмана, однако вскоре признал ее правильность. Модели Вселенной А.А. Фридмана вскоре получили подтверждение в наблюдениях движений далеких галактик – в эффекте «красного смещения», открытом в 1929 году американским астрономом Э. Хабблом.

Хаббл обнаружил, что *в спектрах далеких галактик спектральные линии смещены к красному концу.* Обнаруженный ранее эффект Доплера гласил, что при удалении от нас какого-либо источника колебаний, воспринимаемая нами

частота колебаний уменьшается, а длина волны соответственно увеличивается. При излучении света происходит «покраснение», т.е. линии спектра сдвигаются в сторону более длинных красных волн. Если обнаруженное Хабблом красное смещение понимать как результат эффекта Доплера, то это означает, что галактики «удаляются» от нас со скоростью, линейно зависящей от расстояния. В настоящее время, уже зарегистрированы скорости удаления, порядка 100000 км/сек для наиболее далеких из наблюдаемых галактик. Разбегание галактик не следует представлять себе как некое обычное движение в не изменяющемся со временем пространстве. Это не движение объектов в неизменном пространстве, а эффект, обусловленный новыми свойствами самого пространства – нестабильностью его материи. Итак, ни галактики расходятся в остающемся постоянном пространстве, а само пространство расширяется (меняется его метрика) с течением времени. Для большей ясности можно привести двухмерную модель, наглядно иллюстрирующую фридмановское расширение. Возьмем резиновую сферу и будем ее надувать. Тогда все точки на поверхности будут удаляться друг от друга, причем из любой точки все остальные будут выглядеть разбегающимися. Таким образом, то обстоятельство, что от данной точки все остальные удаляются, отнюдь, не свидетельствует о каком-то центральном, привилегированном положении этой точки.

В 1929 году, исходя из наблюдений спектров галактик, [Эдвин Хаббл](#) сформулировал закон: скорости удаления галактик возрастают пропорционально расстоянию до них:

$$V = H \cdot R.$$



Этот закон получил название *закона Хаббла*. *Постоянная Хаббла* в настоящее время принимается равной $H = 70 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$.

Подавляющее большинство современных космологических теорий представляет собой модели эволюционирующей Вселенной. Наиболее обоснованной среди них, считается опирающаяся на идеи Фридмана **модель горячего Большого взрыва**, которую еще называют **стандартной**, по причине ее практически всеобщего признания в научной среде. Согласно этой гипотезе, **наша Вселенная (Метагалактика) 15-20 млрд лет назад возникла в результате космического Большого взрыва, которому предшествовало так называемое «сингулярное» (особое) состояние, когда материя видимой Вселенной была «стянута в точку», находясь в сверхплотном состоянии.** Теоретические расчеты показывают, что в первоначальном, сингулярном, т.е. сверхплотном, состоянии плотность вещества Вселенной составила 10^{91} г/см³, а радиус был 10^{-12} см, что близко к классическому радиусу электрона. Но представление о сингулярном состоянии как «стянутой в точку» материи с бесконечными значениями физических величин является, конечно, идеализацией, поскольку наука не располагает средствами установить размеры (радиус) видимой Вселенной в ее исходном сверхплотном состоянии. От первоначального сингулярного состояния Вселенная перешла к расширению в результате Большого взрыва, заполнившего все пространство. В итоге каждая частица материи устремилась прочь от любой другой. Всего лишь через одну сотую секунды после взрыва Вселенная имела температуру 100000 млн. градусов по Кельвину. При такой температуре (выше температуры центра самой горячей звезды) молекулы, атома и даже ядра атомов существовать не могут. Вещество Вселенной пребывало в виде элементарных частиц, среди которых преобладали электроны, позитроны, нейтрино, фотоны, а также в относительно малом количестве протоны и нейтроны. Плотность вещества Вселенной спустя 0,01 с после взрыва была огромной – в 4000 млн раз больше, чем у воды. В конце первых трех минут после взрыва температура вещества Вселенной, непрерывно снижаясь, достигла 1 млрд градусов. При этой температуре начали образовываться ядра атомов, в частности, ядра тяжелого водорода и гелия. Однако вещество Вселенной в конце первых трех минут состояло в основном из фотонов, нейтрино и антинейтрино. Только по истечении нескольких сотен тысяч лет начали образовываться атомы, главным образом водорода и гелия, образовавшие водородно-гелиевую плазму. Существование Вселенной в качестве водородно-гелиевой плазмы подтверждается данными астрономии. В 1965 году было обнаружено так называемое **«реликтовое»** радиоизлучение Вселенной, представляющее собой излучение горячей плазмы, сохранившееся с того времени, когда звезд и галактик не было.

5. Этап первичного закрепления материала, самостоятельная работа.

Учитель:

А сейчас вам предстоит самостоятельно, работая с учебником, выяснить

- Как рассчитывается критическое значение плотности вещества от которого зависят характер движения и геометрия Вселенной?
- Как используя закон Хаббла можно утверждать, что Вселенная расширяется (сжимается)?
- Как рассчитать радиус Мегалактики, используя закон Хаббла?
- Какой приблизительно возраст нашей Вселенной?

6. Этап рефлексии деятельности.

- Какой факт, изученный вами на этом уроке был для вас самым удивительным.
- Какую практическую ценность имеет изученный на этом уроке материал?

7. Домашнее задание.

Параграф 35, разбор конспекта, решение задач.

Задача 1.

В спиральной галактике в созвездии Треугольника наблюдаются цефеиды с периодом 13 дней, а их видимая звездная величина $19,6^m$. Определите расстояние до галактики в световых годах.

Указание: Абсолютная звездная величина цефеиды с указанным периодом равна $M = -4,6^m$. Ответ: примерно 2 250 000 св. л.

Задача 2.

Квазар имеет красное смещение $z = 0,1$. Определите расстояние до квазара.

Указание: Считать, что постоянная Хаббла $H = 70$ км/(с·Мпк). Ответ: 1,4 млрд. св.л.

Решения задач.

Задача 1

Решение:

Из соотношения $M = m + 5 - 5 \lg r$, связывающего абсолютную звездную величину M с видимой звездной величиной m и расстоянием до звезды r , выраженному в парсеках, получим:

$$\lg r = (m + 5 - M) / 5 = (19,6^m + 5 + 4,6^m) / 5$$

Отсюда $r \approx 690\,000 \text{ пк} = 690\,000 \text{ пк} \cdot 3,26 \text{ св. г.} \approx 2\,250\,000 \text{ св. л.}$

Ответ: примерно 2 250 000 св. л.

Задача 2

Решение:

$$V = H \cdot R.$$

Запишем закон Хаббла:

где v – лучевая скорость удаления галактики (квазара),

r – расстояние до нее, H – постоянная Хаббла. С другой стороны, согласно эффекту Доплера, лучевая скорость движущегося объекта

$$v = c \frac{(\lambda - \lambda_0)}{\lambda_0} = c \cdot z$$

равна λ_0 , c – скорость света, λ_0 – длина волны линии в спектре для неподвижного источника, λ – длина волны линии в спектре для

движущегося источника, $z = \frac{(\lambda - \lambda_0)}{\lambda_0}$ – красное смещение. А так как красное смещение в спектрах галактик интерпретируется как доплеровское смещение, связанное с их удалением, закон Хаббла часто записывают в виде: $c \cdot z = H \cdot r$.

Выразив расстояние до квазара r и подставив значения из условия задачи, получим:

$$r = \frac{c \cdot z}{H} = \frac{3 \cdot 10^5 \cdot 0,1}{70} \approx 430 \text{ Мпк} = 430 \text{ Мпк} \cdot 3,26 \text{ св. г.} \approx 1,4 \text{ млрд. св. л.}$$

Ответ: 1,4 млрд. св. л.