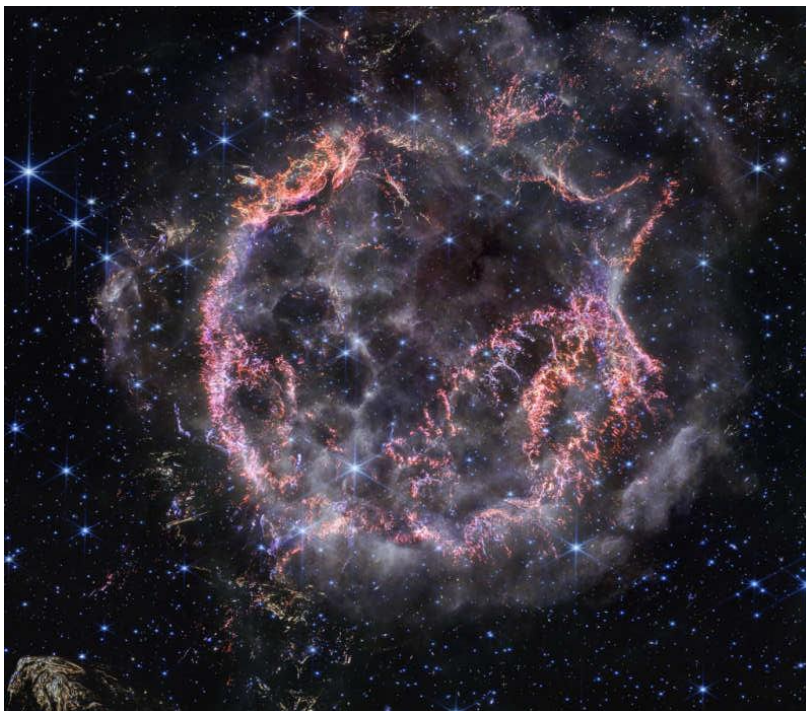


Старшая возрастная группа (9–11 классы и 1–2 курсы средних профессиональных учебных заведений)

Задание №1 (автор: Е.Ю. Засыпкина)



Сверхновая Кассиопея А

Благодаря работе космического телескопа Джеймса Уэбба многие знакомые космические объекты предстали перед нами в новом свете, с множеством неразличимых ранее подробностей. Перед вами детальное изображение остатка сверхновой Кассиопея А, который находится на расстоянии примерно 11 000 световых лет от Земли. Считается, что вспышка сверхновой, породившей данную туманность, наблюдалась на Земле около 350 лет назад.

Вам предстоит выяснить:

- Что собой представляют подобные объекты, каково их происхождение?
- Какова роль сверхновых в эволюции Вселенной?
- Чем важны такие объекты для астрономов?
- Поясните, какие детали мы можем видеть на данном снимке, сделанном космическим телескопом Джеймса Уэбба;
- Учитывая размер данной туманности (порядка 10 световых лет в поперечнике), оцените скорость разлёта вещества туманности
- Оцените размер данной туманности в настоящее время

Ответ

1. Вспышкой сверхновой звезды называется явление, когда звезда резко увеличивает свою светимость в миллионы раз с последующим медленным угасанием. В результате этого слабые объекты, которые прежде даже не наблюдались, становятся видны с больших расстояний. И у наблюдателя создается впечатление, что буквально на пустом месте внезапно возникла новая звезда. Несмотря на такое название, вспышка сверхновой знаменует не рождение, а, скорее, гибель звезды. Согласно теории звёздной эволюции, вспышкой сверхновой заканчивают свой жизненный цикл наиболее массивные звёзды, чья первоначальная масса превышала массу Солнца в десятки раз. После исчерпания ядерного горючего и прекращения термоядерных реакций в недрах звезды и происходит вспышка сверхновой - взрыв, в результате которого большая часть вещества звезды выбрасывается в окружающее пространство. А из оставшегося вещества формируется компактный остаток - либо нейтронная звезда (как в нашем случае), либо чёрная дыра звёздной массы.

2. Роль сверхновых в эволюции нашей Вселенной невероятно важна. В ходе термоядерных реакций во время основного этапа жизни массивных звёзд в их недрах из водорода и гелия образуются так называемые «тяжёлые» элементы - углерод, кислород, азот и т.д, вплоть до атомов железа. В процессе вспышки сверхновой эти элементы из недр звезды выбрасываются наружу, в космическое пространство. Кроме того, во время взрыва успевают дополнительно образоваться более тяжелые, чем железо, химические элементы. Не будет преувеличением сказать, что большая часть химических элементов, входящих в хорошо знакомую нам таблицу Менделеева, образовалась в ходе жизни и гибели массивных звёзд. Без этих элементов не смогли бы впоследствии образоваться планеты с твердой поверхностью, вода, органические соединения и, разумеется, живые организмы. Большинство предметов, которыми мы пользуемся в быту, также состоят, по образному выражению, из «пепла бывших звёзд».

3. Наблюдения показывают, что светимость всех сверхновых определенного типа (типа Ia) практически одинакова (это также означает одинаковость физических законов во всех частях нашей Вселенной). В таком случае, наблюдаемая яркость таких сверхновых зависит только от расстояния от них до наблюдателя. Сравнение наблюдаемой яркости с «эталонной» (определенной по близким сверхновым) позволяет определить расстояние до данной сверхновой. Сверхновые такого типа астрономы называют «стандартными свечами». Благодаря высокой яркости они наблюдаются на очень больших расстояниях - в миллиарды световых лет, в далёких галактиках. И это один из самых надёжных способов определения расстояний до далёких объектов. Именно наблюдения за «стандартными свечами» позволили в конце прошлого века открыть ускоренное расширение Вселенной. Однако заметим, что наша сверхновая в Кассиопее относится к другому типу.

4. Вещество звезды, выброшенное во время взрыва, имеет высокую температуру и излучает электромагнитные волны в разных диапазонах - от рентгеновского до радиодиапазона. По мере расширения туманности вещество в ней остывает, и максимум излучения смещается в инфракрасную область, как раз такое излучение и принимает телескоп Джеймса Вебба. Разные химические элементы, входящие в состав туманности (кислород, аргон, фосфор, неон и другие),

излучают каждый на своей частоте, и их излучение принято показывать разными цветами - что мы и видим на данной снимке. По распределению и интенсивности какого-либо цвета на рисунке мы можем судить о количестве и распределении того или иного элемента в туманности. Кроме того, на периферии снимка можно разглядеть облака пыли, окружающие остаток сверхновой. Возможно, это вещество было сброшено массивной звездой задолго до самой вспышки.

5. Попробуем оценить среднюю скорость разлёта v вещества туманности. Для этого радиус R наблюдаемой с Земли туманности (около 5 световых лет) разделим на время t , прошедшее с предполагаемого момента наблюдения вспышки (≈ 350 лет). Если расстояние выразим в километрах, а время - в секундах, то получим скорость разлёта порядка 4300 км/с

$$v = \frac{R}{t} = \frac{5 * 365.25 * 24 * 3600 * 300000}{350 * 365.25 * 3600} = 4286 \left(\frac{\text{км}}{\text{с}}\right)$$

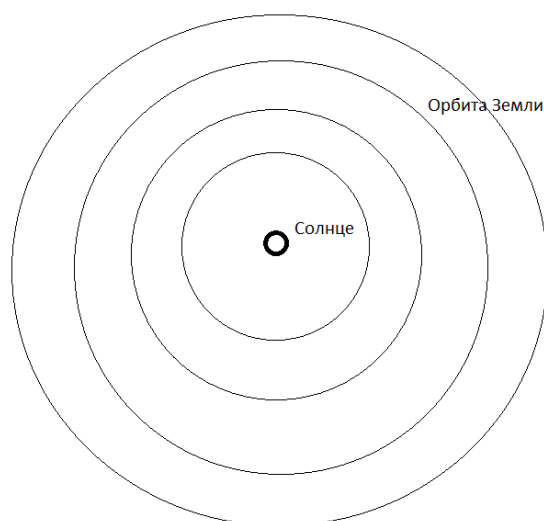
6. 10 световых лет - это размер остатка сверхновой Кассиопеи А при наблюдении в настоящее время с Земли. Учитывая, что расстояние до этого объекта порядка 11 000 световых лет, оценим его реальные, а не наблюдаемые, размеры. Для этого мы найденную выше скорость разлёта вещества v умножим на реальное время расширения $t_1 = 11\ 350$ световых лет. Переведя результат в световые года, получим радиус туманности $R_1 \approx 157$ световых лет, тогда полный размер - примерно 314 световых лет. Такой мы увидим её через 11 тысяч лет. Возможно, её размер будет немного меньше, поскольку скорость разлёта со временем может постепенно снижаться за счёт влияния окружающей среды, несмотря на её низкую плотность. Учитывая, что вспышка сверхновой в Кассиопее - одна из самых юных в нашей галактике, даже через 11 тысяч лет её остаток вполне может быть наблюдаемым.

Задание №1 (автор: Н.И. Лапин)

Большой парад планет

Утром 28 августа 2024 года состоится Большой парад планет. Над горизонтом окажется 6 планет Солнечной системы.

1. Определите, какие планеты будут доступны для наблюдения.
2. Определите наилучшие условия для наблюдения всех планет в своем регионе. Обоснуйте свой выбор.
3. Определите угол, в котором располагаются планеты.
4. Вычислите расстояние в данном положении между ближайшей к Земле планетой и самой далёкой от Земли планетой, видимых на утреннем небе.

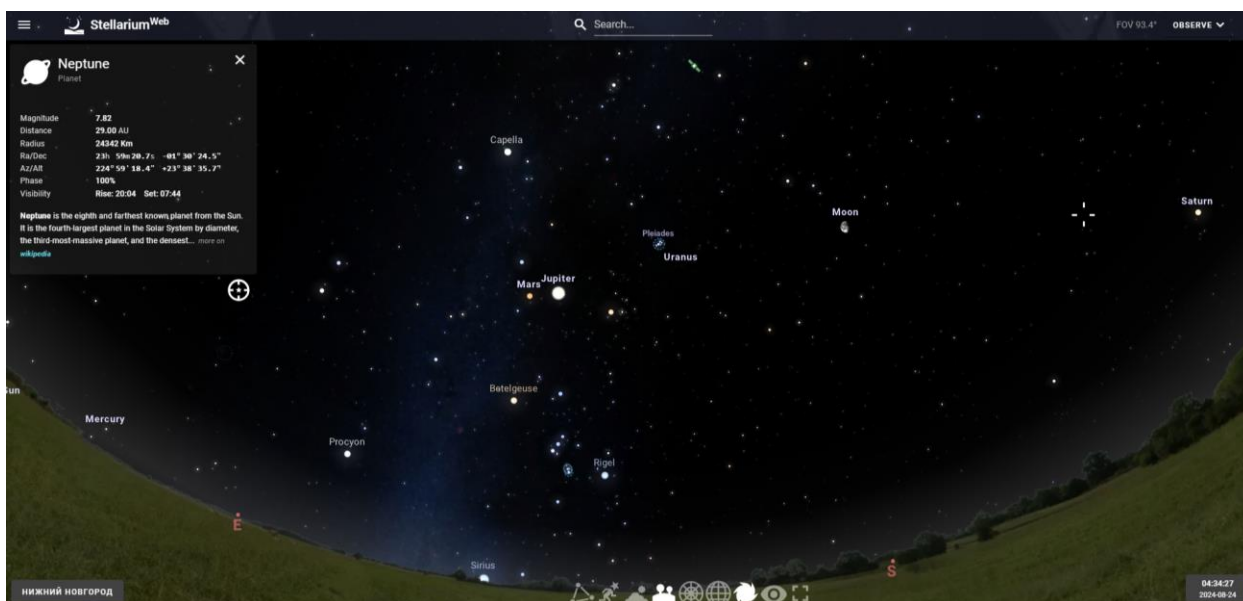


- Изобразите расположение планет на следующем рисунке. Если потребуются дополнительные орбиты, их необходимо добавить к рисунку.
- Дайте определение (астрономическое) термину «парад планет».
- Как часто можно наблюдать «парад планет»?

Ответ

28 августа 2024 года наблюдаются следующие планеты:

- Меркурий, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун.
- На картинке ниже представлена модель для Нижнего Новгорода в программе Stellarium



Время: 4 часа 34 минуты. Крестик между Луной и Сатурном - Нептун. В данный момент, хотя Солнце и за горизонтом, но яркость атмосферы не позволяет наблюдать данное явление собственными глазами. Примерно до 4 утра можно наблюдать Луну и пять планет, без Меркурия.

3. Определим угол, в котором наблюдаются планеты. Расчёты выполнены для модели, которая определена как наилучшая для Нижнего Новгорода. Для определения угла, в котором наблюдаются планеты, используем понятие азимут. Определяются горизонтальные координаты крайних объектов, на основании чего вычисляется сектор.

На рисунке крайний справа Сатурн: азимут $232^{\circ}46'49.7''$ высота $+14^{\circ}06'19.3''$

Крайний слева Меркурий: азимут $072^{\circ}36'01.1''$ высота $+01^{\circ}14'25.9''$

Таким образом, угол в который попадают все планеты, составляет

$$232^{\circ}46'49.7'' - 072^{\circ}36'01.1'' = 160^{\circ}10'48.6'' \approx 160^{\circ}$$

Мы получаем сектор с углом 160 градусов, в котором расположились все планеты.

4. Определим расстояния до каждой из планет от Солнца. Считаем, что Земля находится на расстоянии 1 а.е. Определим расстояния от Земли до планет. Для этого используем данные программы Stellarium. В таблице приведены расстояния.

Планета	Расстояние от Солнца	Расстояние от Земли
Меркурий	0,372	0,66
Марс	1,455	1,477
Юпитер	5,042	5,238
Сатурн	9,669	8,693
Уран	19,575	19,477
Нептун	29,898	29

Ближайшая к Земле планета - Меркурий, самая дальняя - Нептун. Определим расстояние x между этими планетами. Это можно сделать, используя теорему косинусов. Расстояния от Земли до Меркурия и Нептуна имеются в таблице. Определим угол между этими планетами. Для этого пользуемся методом, приведённым в третьем пункте. Тогда:

$$x = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha}$$

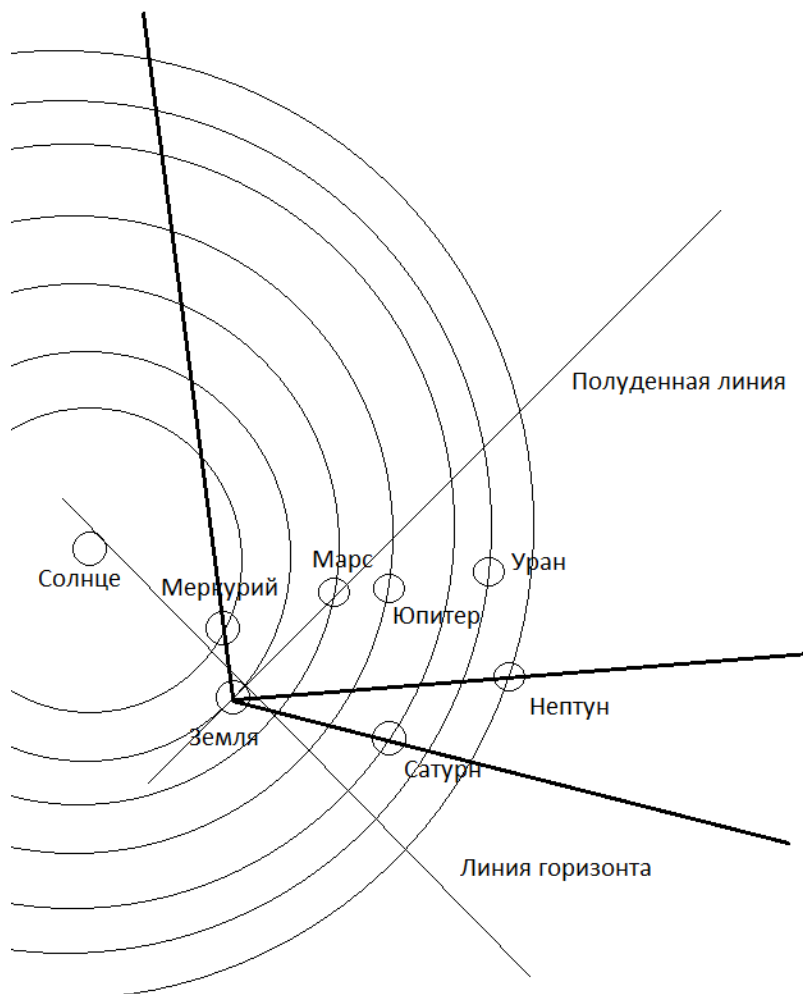
a - расстояние от Земли до Меркурия

b - расстояние от Земли до Нептуна

угол Меркурий - Земля - Нептун равен 153° $\cos \alpha = -0,5913$

Вычисляем расстояние: $x = 29.4$ а. е.

5. Расположение планет:



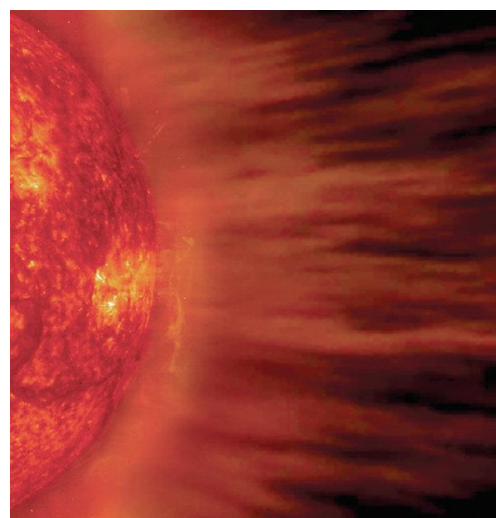
6. Парад планет - расположение одновременно наблюдаемых планет в относительно узком секторе.

Парады часто с небольшим количеством планет (3) происходят достаточно часто. Ближайший парад, когда будут видны 6 планет, которые рассматриваются в задаче, наступит 18 января 2025 года, а 28 февраля 2025 года сразу 7 планет будут наблюдаемы одновременно - к 6 планетам присоединится Венера.

Задание №3 (автор: А.К. Киселёв)

Солнечный ветер

Звезда Солнце - центральный объект нашей планетной системы, оказывающий влияние на все остальные тела, входящие в её состав. Солнечное вещество рассеяно по всей Солнечной системе, поскольку каждую секунду Солнце теряет около миллиона тонн вещества в виде солнечного ветра.



Ваша задача:

- рассказать, что собой представляет солнечный ветер, и на какие процессы на Земле он влияет?
- оценить среднюю скорость его частиц, учитывая, что до Земли солнечный ветер долетает примерно за трое суток;
- оценить полную массу его частиц в пределах орбиты Нептуна, считая скорость солнечного ветра постоянной. Ответ выразите в тоннах и сравните с массой Земли.

Ответ

(на первую часть вопроса приводим ответ Антона Кучерова, занявшего второе место в старшей группе)

Солнечный ветер - это постоянный поток заряженных частиц и излучения, исходящий из верхних слоев Солнца. Заряженные частицы в солнечном ветре в основном состоят из протонов и электронов, а также некоторых тяжелых ионов. Солнечный ветер создает магнитное поле, которое простирается далеко за пределы Солнечной системы, и называется межпланетным магнитным полем. Солнечный ветер оказывает влияние на различные процессы на Земле.

Вот некоторые из основных процессов, на которые он влияет:

- Авроры. Заряженные частицы солнечного ветра взаимодействуют с атмосферой Земли, вызывая свечение в верхних слоях атмосферы - авроры или северное и южное сияние.

- Геомагнитные бури. Изменения в солнечной активности и солнечный ветер могут вызывать геомагнитные бури на Земле, что может привести к пертурбациям в работе электрических сетей, спутников связи и навигации, а также создавать прекрасные магнитные бури.
- Радиационное воздействие. Солнечный ветер является источником радиации, которая может повлиять на работу космических аппаратов и спутников, а также на астронавтов во время космических полетов.
- Формирование хвоста магнитосферы. Солнечный ветер воздействует на магнитосферу Земли, вызывая формирование ее длинного "хвоста" в пространстве, который может быть важным для понимания процессов в межпланетной среде.

2. Оценим среднюю скорость его частиц, учитывая, что до Земли солнечный ветер долетает примерно за трое суток.

Средняя скорость v = расстояние / время

Расстояние от Солнца до Земли r = 149,6 млн км

t = 3 суток = 259 200 секунд

$$v = \frac{r}{t} = \frac{149\,600\,000 \text{ км}}{259\,200 \text{ с}} = 577,2 \left(\frac{\text{км}}{\text{с}}\right)$$

3. Оценим полную массу его частиц в пределах орбиты Нептуна, считая скорость солнечного ветра постоянной.

Расстояние до Нептуна R составляет 4,55 млрд км, найдём время T , которое понадобится частицам солнечного ветра, чтобы достичь орбиты Нептуна

$$T = \frac{R}{v} = \frac{4\,550\,000\,000 \text{ км}}{577,2 \text{ км/с}} = 7\,882\,883 \text{ с}$$

Зная, что каждую секунду Солнце теряет миллион тонн, получаем оценку всей массы солнечного ветра внутри орбиты Нептуна

$$7\,882\,883 \text{ сек} * 1\,000\,000 \text{ тонн} = 7\,882\,883\,000\,000 \text{ тонн} \approx 8 * 10^{12} \text{ тонн} = 8 * 10^{15} \text{ кг}$$

что сопоставимо с массой астероида диаметром около 500 метров

Задание №4. Наблюдательное, для всех групп (автор: А.А. Антонов)

Выполните наблюдения созвездия Малая Медведица. Сосчитайте видимое количество звёзд в нём и зарисуйте эти звёзды. По полученным данным оцените прозрачность атмосферы (качество неба) в вашем населённом пункте по таблице ниже.

В моём населенном пункте (город-миллионер) большинство времени видно всего 2 звезды в созвездии Малая Медведица: Полярную и Кохаб, как и ожидалось по таблице в крупном городе. Иногда, когда приходит северный ветер, атмосфера становится очень чистой, и видно 3 звезды - добавляется Феркад.

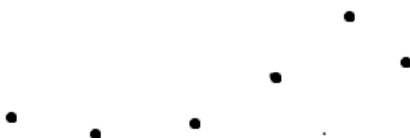
25 февраля



на окраине города, 18 марта



за городом в 20 км, 7 апреля



Попробуйте найти место в окрестностях, где видно больше всего звёзд (парк, поле, дача), и сравните это место с первоначальным.

Даже на окраине города видно не более 4-х звезд. Мы иногда выезжаем на наблюдения за город, за 20 км от города. И вот там звёзд в созвездии Малая Медведица становится видно заметно больше. Можно насчитать 6 звезд ковш, самую тусклую Анвар-Аль-Фаркадин не видно - всё ещё сказывается мощная засветка от города.

Понаблюдайте это созвездие в разное время суток и в течение более длительного периода (пока идёт олимпиада): например, в начале, середине и в конце марта. Менялась ли прозрачность атмосферы?

Наблюдал Малую Медведицу каждый ясный вечер. Прозрачность, а значит, и видимое количество звёзд менялось. Иногда, когда была какая-то дымка или запылённость атмосферы, было видно лишь Полярную звезду, и то очень слабо - приходилось всматриваться. На качество

звёздного неба в большей степени влияет именно прозрачность атмосферы, а не уровень городской засветки. Чем более пыльный воздух, тем больше рассеяние света от фонарей на этих пылинках, и тем ярче становится небо, скрывая звёзды.

Почему за всё время ваших наблюдений Полярная звезда не меняла своего положения?

Потому что Полярная звезда находится очень близко к полюсу мира - точке, куда направлена ось вращения нашей планеты. И при суточном вращении неба Полярная визуально «висит» на одном месте.

Заметил ещё одну особенность. В середине февраля и середине апреля ориентация ковша Малой Медведицы различна в одно и то же время (например, в 22 часа)! Созвездие как бы медленно поворачивается против часовой стрелки (с центром в Полярной звезде). Это связано с годичным движением Земли по орбите вокруг Солнца и кажущимся поворотом всей небесной сферы.