

### Задача 1.

Из 88 созвездий на звездном небе есть 3 созвездия, имеющие в своем названии слово *Canis*. Это: Большой пес, Малый пес и Гончие псы (по-латински *Canis Major*, *Canis Minor*, *Canes Venatici* соответственно).

Самое известное из них — Большой пёс. А известно оно благодаря Сириусу, самой яркой звезде ночного неба. Её звездная величина  $-1,46$ . Сириус ярче второй по яркости звезды ночного неба (Канопус, созвездие Киль) почти в два раза.

Естественно, её не могли не заметить люди в древние времена. В древнем Египте после периода, когда Сириус не виден на небе, первое появление звезды, то есть так называемый гелиакический восход, совпадает с разливом Нила. В засушливом Египте с древних времен Нил был символом жизни, поскольку он являлся единственным источником пресной воды и живительной влаги для всего окружающего. Так что появлению этой звезды придавали большое значение, и этим событием начинали отсчет нового года. Это событие происходило приблизительно 15-ого августа. Современные названия созвездия получили позже, уже в древней Греции.

Греки саму звезду Сириус именовали Каникула (маленькая собачка). Согласно греческой мифологии, звездой Сириус стала собака охотника Ориона. Утренняя видимость Сириуса совпадала с началом самых жарких дней лета. Их называли «*Dies caniculares*», то есть «собачьи дни», отсюда и происходит слово «каникулы».

Самая яркая звезда созвездия Малый пес, имя которой Процион, тоже называлась Каникулой, и связанные с ней легенды похожи на легенды о Сириусе.

Большой и малый пес — созвездия южного полушария. На средней части России восходят невысоко над горизонтом, но тем не менее хорошо видны вечером в декабре-январе.

Вместе звезда Бетельгейзе в созвездии Ориона, Процион и Сириус образуют очень яркий астеризм Зимний треугольник. А если добавить к ним Поллукс ( $\beta$  Близнецов), Кастор ( $\alpha$  Близнецов), Менкалинан ( $\beta$  Возничего), Капеллу ( $\alpha$  Возничего), Альдебаран ( $\alpha$  Тельца), Ригель ( $\beta$  Ориона), то получится окружность с Бетельгейзе в центре — астеризм Зимний круг.

Созвездие же Гончие псы является более новым и со словом «каникулы» не связано. Созвездие было введено Яном Гевелием в небесном атласе «Уранография», изданном в 1690 году. Это созвездие уже северного полушария. В мифах это собаки Волопаса, который охотился на Каллисто в образе Медведицы (а подругой версии — защищал её). Находится между созвездиями Большая Медведица и Волопас, на широтах севернее Москвы является незаходящим, то есть его можно наблюдать круглый год. На широтах Москвы является частично не заходящим.

Самая яркая звезда созвездия Гончие Псы — Сердце Карла.

Многие могли заметить, что появление Сириуса у древних египтян 15 августа, у греков в июле, а сейчас каникулы начинаются в мае-июне. Ошибки здесь нет. В результате прецессии происходит смещение полярной оси и изменяется время наблюдения созвездий с Земли.

## Задача 2.

Общепринято называть главным поясом астероидов область между орбитами Марса и Юпитера, где наблюдается повышенная концентрация космических объектов.

Конечно, в фильме «Звездные войны» не совсем пояс, а просто облако частичек от недавно взорвавшейся планеты. Понятно, что расстояние было достаточно мало, ну и, конечно, в фильмах зачастую любят преувеличивать. В нашей же Солнечной системе расстояние между объектами в поясе астероидов велико, даже между астероидом и его спутником. Если обратиться к фотографиям с межпланетных станций (МС), мы увидим только два объекта, и зачастую это максимум, что можно увидеть, находясь в поясе. Есть достаточно известное изображение астероида Ида и его спутника Дактиль, сделанное аппаратом «Галилео» 28 августа 1993 года. На нем видно только эти два астероида, так что в нашей системе просто встретить астероид — уже большая удача, не то что в него врезаться.

У этого явления есть научное объяснение. Если бы два астероида были близко друг к другу, то они бы притянулись.

Разумеется, не составляет никакого труда преодолеть пояс астероидов. Ни один из аппаратов, пролетавших через пояс астероидов, не пострадал, а таких аппаратов было около 16. С 1993 года орбиты аппаратов даже рассчитывают так, чтобы МС проходила вблизи крупного астероида для его изучения. Тем не менее, при подготовке первого аппарата, который должен был пролетать пояс, обсуждались возможные решения проблемы преодоления пояса астероидов. Это был аппарат Пионер-10. Большая часть орбит астероидов сосредоточена в так называемой плоскости Лапласа, и если обогнуть его снизу или сверху, то и без того низкая концентрация астероидов будет еще меньше. Также в работах часто встречалось мнение, что их скорость велика. Есть чёткое соответствие скорости тел и расстояния до Солнца — чем дальше, тем медленнее. Скорость объектов относительно Солнца в поясе в сравнении со скоростью Земли мала.

К слову сказать, самих астероидов достаточно много. Астероидов размером больше километра около 2 млн, а вот размером более 100 км только 200. Сколько есть астероидов меньшего размера — сказать сложно, так как их трудно обнаружить с Земли. По математическим оценкам существует около 30 млн астероидов размером больше 100 м.

Несмотря на такое количество астероидов объем пространства, занимаемый поясом астероидов, огромен, и, как следствие, плотность объектов в поясе весьма мала.

Самый большой объект в главном поясе астероидов именуются Церера. Диаметр Цереры 1000 км. С 2006 года статус этого объекта не астероид, а карликовая планета, так что теперь самый крупный астероид — Веста диаметром 525,4 км.

Примеры других крупных астероидов: Паллада (512 км), Гинейя (407 км), Юнона (233 км), Эвномия (255 км) и др.

А вот самые маленькие частички — пыль — действительно опасны для космических аппаратов. Пылевые шлейфы могут образовываться в результате редких столкновений астероидов. Благодаря действию солнечной радиации мелкие частички постепенно по спирали движутся к Солнцу, и поэтому в главном поясе пыли небольшое количество.

Суммарная масса всех тел главного пояса астероидов меньше массы Луны. Так что теория о том, что это остатки планеты, весьма сомнительна. К тому же на этом расстоянии находятся резонансные орбиты взаимодействия Юпитера и Солнца, так что планета там сформироваться и не могла. Помимо главного пояса астероидов в Солнечной системе существует пояс Койпера. Он пересекает орбиту Нептуна. Пояс Койпера в 20 раз больше и в 200 раз тяжелее главного пояса астероидов. Тем не менее объем пространства, занимаемый им, колоссален, и преодолеть этот пояс тоже легко. Объекты, находящиеся в нем, уже крупнее. Самый большой — Плутон (2370 км) так же крупными представителями являются Эрида (2326 км), Макемаке (1478 км), Хаумея (1518 км), которые теперь причислены к разряду карликовых планет. Есть там и крупные астероиды — Седна (995 км), Квавар (1074 км) и др.

Другие области с высокой концентрацией астероидов:

1) Рассеянный диск и облако Оорта, за поясом Койпера,  
2) Троянцы и Греки. Это области в точках Лагранжа  $L_4$  и  $L_5$  системы Солнце — Юпитер. Так же есть скопления в точках Лагранжа и других планет, но они намного меньше.

3) Кольца планет, например, у Сатурна. В отличие от пояса астероидов концентрация частиц там велика, и расстояние между ними крайне мало. Они сосредоточены в одной плоскости, а их размер очень маленький — не более 10 метров. Состоят кольца в основном из льда и пыли. Кольца есть у всех планет-гигантов Солнечной системы, правда, гораздо менее заметные, чем кольца Сатурна.

Также в дополнение приведем небольшую классификацию астероидов, не входящих в пояса:

Атиры — астероиды, орбиты которых находятся целиком внутри орбиты Земли.

Аполлоны — астероиды, пересекающие орбиту Земли, но их максимальное расстояние от Солнца (афелий) меньше максимального расстояния Земли от Солнца.

Атоны — астероиды, пересекающие орбиту Земли, но их минимальное расстояние от Солнца (перигелий) больше минимального расстояния Земли от Солнца.

Амуры — группа околоземных астероидов, чьи орбиты полностью находятся снаружи орбиты Земли, но не достигают Главного пояса астероидов.

Кентавры — астероиды между орбитами Юпитера и Нептуна.

### Задача 3.

Большую часть времени в Антарктиде отрицательная температура на поверхности, и её называют «ледяная пустыня». Абсолютный минимум температуры  $-89^{\circ}\text{C}$ .

Тем не менее в летнее время средняя температура воздуха у поверхности  $0 \pm 5$  градусов, зарегистрированный максимум  $+15,0^{\circ}\text{C}$ . Этого вполне достаточно для таяния снега и образования локальных рек и озер. Среди рек самая крупная — р. Оникс длиной более 20 км. В зимнее время эти реки сковываются льдом. Такие водоемы могут быть как на поверхности континента, так и подо льдом. Есть на поверхности Антарктиды и незамерзающие водоемы. Их главное свойство — высокая

солёность. Соленая вода замерзает при более низкой температуре и, например, озеро Дон-Жуан остается не скованным льдом даже в зимнее время. Хотя, конечно, при заморозках всё равно может покрываться льдом.

Есть на побережье Антарктиды озёра, образовавшиеся в результате подпора воды снежниками или небольшими ледниками. Вода из океана попадает в ложбину, ямку и не возвращается в море. При этом основную часть внутренних водоемов составляют подледные озера.

Есть озера, которые в летнее время могут освобождаться от верхнего слоя льда. Наиболее крупное из таких озёр — озеро Фигурное в оазисе Бангера. Площадь его равна 14,7 км<sup>2</sup>, а глубина превышает 130 метров. Самое глубокое — озеро Радок, его глубина достигает 362 метров. Такие озера характеризуются повышенной солёностью, например, озеро Ванда, или близостью геотермальных подледных источников. Их достаточно легко можно обнаружить с помощью космического зондирования.

Другой тип подледных озёр — расположенные под огромной толщей ледников и не освобождающиеся ото льда.

Самое крупное и известное такое озеро — Восток. Оно расположено в районе антарктической станции «Восток» (77° южной широты, 105° восточной долготы) под ледяным щитом толщиной около 4000 м и имеет размеры приблизительно 250 × 50 км. Предполагаемая площадь 15,5 тыс. км<sup>2</sup>. Глубина более 1200 м.

Существование этого озера, как и других подлёдных озёр, было предсказано Андреем Капицей ещё в 1955—1957 годах, но считается, что само открытие произошло относительно недавно, в 1996 году, усилиями российских полярников.

Сейчас открыто более 100 таких озёр. Примерами могут стать озера Советская и 90°Е. Причиной образования таких озёр является наложение двух факторов. При большом давлении температура таяния падает. При давлении более 300 атмосфер температура плавления льда становится равна  $-2^{\circ}\text{C}$ . Кроме того, под большой толщей льда плохо происходит перенос геотермического потока вверх. Из-за этого большая часть тепла уходит на таяние на границе ложа озера и льда. Этот процесс получил название донное таяние.

Такие же озера, помимо Антарктиды, могут существовать в Гренландии. Также существуют подлёдные океаны на спутнике Сатурна Энцеладе; возможно их существование и на других телах Солнечной системы, например, на спутниках Юпитера Европа и Ганимед, на астероиде Церера и др. Пожалуй, главной особенностью таких озёр является их биологически изолированность от внешнего мира, в результате чего микроорганизмы могли сохраниться с давних времён или обрести особые уникальные свойства.

После исследования образцов воды, полученных в мае 2012 года, было озвучено заявление, в котором говорится об обнаружении неизвестного науке типа бактерий. Пробы получают бурением льда. Чтобы не повредить экосистему, бур идет не до самого озера. Он нужен для того, чтобы создать разницу давлений, чтобы вода из озера попала в пробуренную шахту и там замерзла. В следующем летнем сезоне получившийся ледяной керн выбуривают и исследуют уже его.

Само озеро Восток было найдено благодаря сейсмическому исследованию. Плотность льда выше плотности воды, поэтому определённые сейсмические колебания

отражаются от границы между льдом и водой. Метод похож на метод эхолокации. Сейчас для поиска таких озёр чаще используют радиоволны и метод радиолокации.

#### Задача 4.

Солнце, как и Юпитер, состоит в основном из двух элементов — водорода и гелия. Но Солнце горячее, а Юпитер нет. Свечение звезд (Солнца, например) осуществляется не благодаря химическим реакциям, а благодаря реакциям термоядерного синтеза. Давайте рассмотрим, как начинаются термоядерные реакции в звездах вообще и на Солнце в частности. В результате цикла из нескольких термоядерных реакций из двух атомов водорода должен получиться атом гелия. Таких циклов два, и их можно посмотреть ниже. Энергия же выделяется за счет остаточного дефекта масс. Для синтеза ядра гелия атомы водорода должны столкнуться друг с другом, однако им мешает так называемый кулоновский барьер. Дело в том, что ядра атомов положительно заряжены, а, как известно, два одноименных заряда отталкиваются, поэтому для начала термоядерной реакции нам нужно преодолеть отталкивание ядер. Один из способов преодоления барьера — это высокая температура. Нагрев Солнца осуществляется благодаря гравитационному сжатию при его формировании. Второй способ — повысить давление, что в звёздах тоже осуществляется при гравитационном сжатии.

А вот хватит ли силы сжатия, зависит только от массы тела. Именно масса Солнца отличает звезду от планеты. Юпитеру массы не хватило, чтобы в центре повысилась температура настолько, чтобы началась реакция термоядерного синтеза.

Есть несколько причин, почему Солнце не взрывается.

Первая — высокая температура и давление максимальны в ядре в центре Солнца, и только там происходит большая часть ядерных реакций, а не по всему объёму Солнца. На поверхности Солнца температура всего 6000 градусов.

Вторая — необходимая температура для начала термоядерной реакции приблизительно равна  $10^9$  К, а в недрах Солнца всего 15–20 млн. градусов, то есть на самом деле даже температуры в недрах Солнца не хватает.

Тут на помощь приходит квантовой туннельный эффект. Туннельный эффект — квантовый процесс, при котором частица может с ненулевой вероятностью преодолеть потенциальный барьер. Поскольку туннельный эффект имеет малую вероятность, то только малая часть вещества Солнца вступает в реакцию.

Благодаря большой массе и количеству вещества реакции на Солнце не прекращаются. При синтезе вещества из легкого водорода синтезируется более тяжелый гелий, и из-за этого гравитационное сжатие усиливается, и температура в ядре растет, что также поддерживает постоянный и ровный темп синтеза. Из-за конвекции внутри небольшой области температура не повышается и не создаются условия для увеличения числа термоядерных реакций. Более горячее вещество после прохождения реакции поднимается вверх, сохраняя температуру вблизи среднего значения.

Важно отметить, что благодаря крайне малой скорости реакции время жизни нашей звезды огромно — около  $10^{10}$  лет. При этом удельное энерговыделение Солнца очень низко. Часто встречается сравнение, что удельное энерговыделение Солнца

как у кучи гниющих листьев той же массы. Важно отметить, что чем больше масса звезды, тем больше её температура, тем быстрее она прогорает.

В конце жизненного цикла звезды, когда весь водород заканчивается, температура в ядре может стать достаточной для синтеза более тяжелых элементов. Во время жизни звезды стремящиеся сжать её гравитационные силы уравновешиваются стремящимися как бы «разорвать» её давлением излучения. В конце, когда термоядерная реакция уже не может удерживать сжатие, звезда всё-таки взрывается, то есть происходит так называемый взрыв новой или сверхновой. При этом значительно возрастает температура и количество термоядерных реакций. Важно отметить, что рост числа термоядерных реакций не причина взрыва сверхновой, а следствие выделения энергии при сжатии.

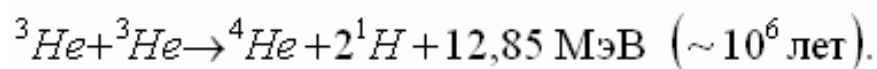
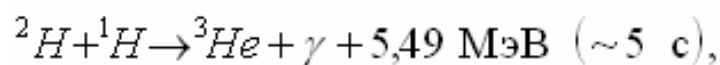
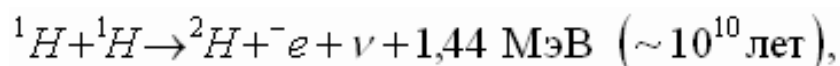
В дополнение отметим минимальный порог массы, при котором тело может стать звездой, — 13 масс Юпитера. Звезды такой массы — так называемые коричневые карлики, самые маленькие и самые долгоживущие звезды. Время их термоядерного горения больше предположительного возраста Вселенной, то есть ни один коричневый карлик во Вселенной ещё не потух.

Согласно исследованиям, проведенным в 1974 году, Юпитер имеет более высокую температуру, чем получается из расчётов.

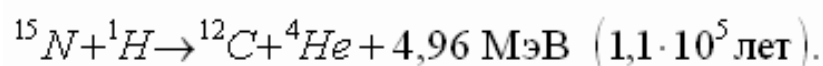
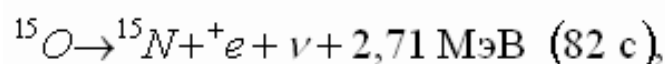
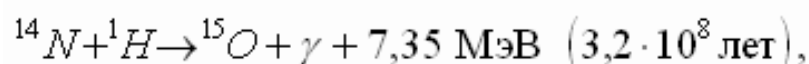
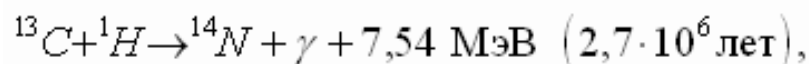
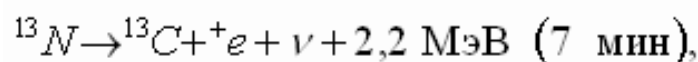
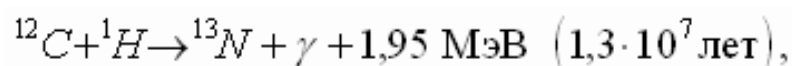
Основной источник избыточной внутренней энергии Юпитера — его постепенное гравитационное сжатие (уплотнение), но благодаря туннельному эффекту дополнительным источником могут служить редкие локальные термоядерные реакции. Возможно, причина и в чём-то другом. Это предстоит выяснить.

В дополнение приведем два цикла термоядерных реакций, происходящих на Солнце:

pp-цикл



CNO-цикл



### Задача 5.

Действительно, при измерении огромных расстояний в космосе очень неудобно использовать метры и километры, и не только потому, что числа будут большие и длинные. Для вычисления расстояния нужно сравнивать его с эталонным. Эталон метра находится в Палате мер и весов, и его невероятно трудно использовать как линейку для измерения расстояния в космосе.

Что же можно использовать? Часто единицу измерения выбирают на основе способа вычислять расстояние. В масштабах Солнечной системы удобно использовать астрономическую единицу. Это величина, приблизительно равная большой полуоси орбиты Земли. Использование астрономической единицы удобно в силу третьего закона Кеплера, где расстояние от Солнца и периоды обращения связаны. Сравнивая период обращения планеты с периодом обращения Земли, мы можем сразу получить отношение орбиты Земли к орбите этой планеты, то есть расстояние от неё до Солнца в астрономических единицах.

На самом деле орбита Земли меняется, и размер большой полуоси тоже. Именно поэтому у астрономической единицы есть более точное определение, нежели приведённое выше. Астрономическая единица - расстояние, на котором должна вращаться материальная точка вокруг материальной точки с массой Солнца с периодом в 365,25 дней.

Другой метод определения расстояния - это измерение тригонометрического параллакса звезды, то есть угла, под которым со звезды видна большая полуось земной орбиты. Данный метод основан на измерении угла, под которым видна звезда с Земли по отношению к Солнцу. Это тригонометрический метод с базисом, равным большой полуоси орбиты Земли, основанный на тригонометрических свойствах углов в прямоугольном треугольнике.

При таком измерении становится удобной величина, называемая парсек. Парсек - расстояние, с которого отрезок в одну астрономическую единицу виден под углом в 1 угловую секунду ( $1 \text{ пс} = 206265$  астрономических единиц.  $206265$  – количество угловых секунд в радиане).

Название парсек - сокращение от «параллакс» и «секунда», так как парсек равен расстоянию до объекта, годичный тригонометрический параллакс которого равен одной угловой секунде. Таким образом, расстояние может измеряться в угловых единицах – параллаксе и в связанных с ними линейных единицах – парсеках.

Многие очень далекие звёзды, а тем более галактики имеют катастрофически малый параллакс, из-за чего этот метод уже не будет подходить.

Для целей сравнения масштабов могут подойти такие величины, как радиус Земли, радиус Солнца, радиус Юпитера, радиус Галактики и другие масштабные единицы, которые хорошо известны. Существует метод стандартных свечей. Есть объекты в космосе, светимость которых известна. Также известно, что светимость падает с расстоянием по закону обратных квадратов. Стандартные свечи: сверхновая типа *Ia* - стандартная свеча с постоянным спектром и стандартной яркостью излучения, цефеиды и звёзды типа *RR* Лиры. Яркость цефеид связана с их пульсациями. Есть и другие стандартные свечи.

Для данного метода выбор единицы измерения не имеет значения, но чаще всего

используют парсек. Пожалуй, самая известная единица измерения - это световой год. Это расстояние, которое свет преодолет за год в вакууме. Популярность этой единицы измерения связана не с методом измерения, а с её точностью, ведь скорость света - самая стабильная и точная величина на сегодняшний день.

Простой физический смысл данной величины помогает осознать большие расстояния и тот факт, что то, что мы видим, на самом деле произошло несколько лет, десятилетий, столетий или даже тысячелетий назад.

Так же расстояние может измеряться при помощи редких астрономических событий, таких как покрытие или гравитационное линзирование.

Теперь перейдем конкретно к последней части вопроса: Как и в каких величинах учитывают расстояния в крупномасштабной Вселенной?

В 1929 году Эдвин Хаббл открыл, что спектр галактик испытывает красное смещение спектральных линий. Это смещение для далёких галактик оказалось больше, чем для близких. Зависимость оказалась прямо пропорциональной расстоянию. Благодаря этому явлению, которое теперь именуется законом Хаббла, расстояния до любых далёких галактик можно мерить с помощью смещения спектральных линий. После этого открытия в крупномасштабной Вселенной используют особый параметр - космологическое красное смещение. Объясняется космологическое или метагалактическое красное смещение динамическим удалением галактик и квазаров друг от друга, теперь мы это называем расширением Вселенной. На больших масштабах само пространство расширяется, и само понятие расстояния теряет смысл. До удалённых объектов расстояния непосредственно не могут быть измерены, но всё-таки для определённых оценок и расчетов подходит параметр - космологическое красное смещение.

Самый удаленный наблюдаемый объект имеет красное смещение  $z = 11,1$ , что означает приблизительное расстояние в 13,4 миллиарда световых лет. Объекты дальше этого расстояния выходят за так называемую сферу Хаббла. Если галактика находится за ней, то она удаляется от нас быстрее скорости света, и мы не сможем её увидеть.

Поверхность последнего рассеяния фотонов  $z \sim 1000$ .

Ответ «Вычисление расстояний с помощью отраженных электромагнитных волн» не совсем корректен, так как максимально этот метод можно использовать для определения расстояния до Луны, и до Юпитера в случае радиоволн, но никак не для крупномасштабной Вселенной. Именно поэтому данный способ не вошел в критерии, но при должном описании без неверных уточнений за такой ответ ставились дополнительные баллы.

### Задача 6.

В 1929 году Эдвин Хаббл открыл, что красное смещение для далёких галактик больше, чем для близких, и возрастает приблизительно прямо пропорционально расстоянию. Это свидетельствовало о том, что Вселенная расширяется. Закон Хаббла: скорость разбегания пропорционально расстоянию. Формула  $v = H \times r$ , где - постоянная Хаббла. Значение постоянной Хаббла  $H = 67,80 \pm 0,77$  км/с/Мпс или  $2,2 \times 10^{-18} \text{с}^{-1}$ . Скорость галактик Хаббл измерял с помощью эффекта Доплера. Эф-



фekt заключается в том, что при движении частота волны света смещается: если в красную сторону, то объект удаляется; если в синюю, то приближается. Оказалось, что почти все галактики имеют красное смещение, то есть удаляются от наблюдателя. Исключение составляет галактика Туманность Андромеды. Для исследования смещения использовались определённые линии в спектрах галактик. Расстояние определялось по яркости цефеид и вычислялось по закону обратных квадратов. При сравнении результатов выявилась прямая зависимость скорости удаления от расстояния. Из этих данных был сделан вывод о расширении Вселенной. При этом нет выделенного центра Вселенной, и расширение происходит из каждой точки. Позднее было выяснено, что постоянная Хаббла может меняться со временем. Долгое время считалось, что расширение Вселенной – результат так называемого Большого взрыва. Также долго время считалось, что это расширение замедляется. Строились гипотезы о дальнейшей судьбе Вселенной: неограниченное расширение, смена расширения процессом сжатия, гипотеза мультивселенных, инфляционная теория. Новые подробности было выявлены в начале XXI века. Открытие сделали Сол Перлмуттер, Брайан П. Шмидт и Адам Рисс. Оказалось, что расширение вовсе не замедляется, а ускоряется. Расстояния вычислялись по вспышкам сверхновых типа Ia; выявилась зависимость постоянной Хаббла от времени. В попытке объяснить увеличение скорости расширения была введена неизвестная энергия с отрицательным давлением: «космический вакуум». Данная энергия получила название «тёмная энергия». К сожалению, об этом виде энергии практически ничего не известно, и она никак не выдает себя, только по ускорению расширения Вселенной. Дальнейшее расширение Вселенной, скорее всего, будет неограниченным. И небольшая неточность в вопросе. В 2006 году за открытие ускоренного расширения была присвоена премия Шоу, а Нобелевскую премию авторы исследования получили в 2011 году. В 2006 году Нобелевскую премию получили Джордж Смут и Джон Мазер за открытие чернотельной формы спектра и анизотропии космического микроволнового фонового излучения.