



**XXXIII Санкт-Петербургская  
Астрономическая олимпиада**  
практический тур, решения

**2026**  
**15**  
**марта**

---

*11 класс*

---

Большой спор — дискуссия 1920 года, посвященная вопросам структуры Млечного Пути и существования других галактик (в то время в основном известных как «спиральные туманности»). В ходе Большого спора участники, Харлоу Шепли и Гебер Кертис, выдвигали множество аргументов в пользу своих точек зрения.

Ниже приведены некоторые из аргументов. Рассмотрите их и объясните, какие оказались неактуальными, неверными или не вполне точными, и почему.

1. Шаровые звездные скопления расположены в небе неравномерно, и это указывает на то, что Солнечная система находится вдали от центра Галактики. Зависимость период — светимость для цефеид в шаровых скоплениях указывает на то, что расстояние до центра Галактики составляет 20 кпк, а ее диаметр — не менее 60 кпк.
2. «Спиральные туманности» не могут быть похожи на Млечный Путь, поскольку поверхностная яркость в их центре значительно выше, чем в какой-либо точке Млечного Пути.
3. В 1885 году в туманности Андромеды вспыхнула новая звезда S Андромеды. Она достигла блеска  $+6^m$ , а абсолютная звездная величина таких объектов составляет  $-6^m \div -9^m$ , поэтому расстояние до нее не могло превышать размеров Млечного Пути.
4. По результатам наблюдений в течение 25 лет у «спиральных туманностей» было обнаружено вращение: наблюдаемые собственные движения составляли около  $0''.1/\text{год}$ . Если бы они были расположены вдали от Млечного Пути, то это означало бы нереалистично большие линейные скорости их движения.
5. Большие лучевые скорости «спиральных туманностей» возникают из-за светового давления на них со стороны Млечного Пути.
6. Подсчеты звезд в различных направлениях указывают, что концентрация звезд снижается при удалении от Солнца, поэтому Солнечная система находится вблизи центра Галактики, размер которой не превышает 10 кпк.
7. «Спиральные туманности» не наблюдаются в плоскости диска Млечного Пути, поскольку его окружает кольцо из пыли, поглощающее свет.

**Решение:**

На первый взгляд, большинство перечисленных аргументов выглядит правдоподобно, но при этом многие из них противоречат сегодняшней картине мира. Для начала зафиксируем, что известно на сегодняшний день из относящегося к этим вопросам:

- Диаметр диска нашей Галактики составляет около 30 кпк, а Солнце находится в 8 кпк от ее центра.
- «Спиральные туманности» — это другие галактики, подобные Млечному Пути.

Из этих утверждений уже можно понять, в каких из аргументов есть хотя бы частичная ошибка, даже если неясно, в чем именно она состоит (поскольку в представленном виде они указывают на неверный результат): это аргументы №1, 2, 3, 4 и 6 (причем это еще не означает, что оставшиеся два аргумента верны).

Размеров и структуры нашей Галактики касаются аргументы №1 и №6, причем они противоречат друг другу — рассмотрим их подробнее.

В аргументе №1 структура Галактики отмечена верно, однако оба расстояния завышены в несколько раз (и на самом деле значительное отличие положения Солнца от центрального было открыто именно по пространственному распределению шаровых звездных скоплений). Зависимость период – светимость для цефеид и в наше время играет важную роль в шкале расстояний, но ошибка в  $2 \div 2.5$  раза указывает на то, что ее калибровка была неточной. Отметим также, что «размер Галактики» — условная величина, зависящая от того, как определять ее границу.

Аргумент №6, напротив, указывает на то, что методом звездных подсчетов на самом деле удаются «увидеть» лишь небольшую часть Галактики — область в несколько килопарсек вокруг Солнечной системы, где и располагается наблюдатель, а на больших расстояниях удаются наблюдать лишь малую часть звезд.

Главная причина этого — поглощение света межзвездной пылью в диске нашей Галактики: об этом эффекте не было известно в начале XX века (его существование было показано Робертом Трюмплером в 1930 г.). Поглощение ослабляет звездную величину видимых объектов в плоскости диска Галактики на  $2^m$  на килопарсек. При ошибочном предположении, что освещенность, создаваемая звездами, подчиняется закону обратных квадратов, оценка расстояния оказывается завышенной — причем чем больше расстояние до звезды, тем более сильно завышенным оно оказывается.

Например, для звезды на расстоянии 0.1 кпк истинный модуль расстояния  $m - M$  (разность видимой звездной величины и абсолютной) составит  $10^m$ , а из-за межзвездного поглощения оценка повысится до  $10^{m.2}$ , что изменит оценку расстояния всего на 10%; для звезды на расстоянии 1 кпк истинное и наблюдаемое значения модуля расстояния составят  $15^m$  и  $17^m$  — оценка расстояния будет завышена в 2.5 раза.

Такой эффект создает иллюзию, что концентрация звезд в пространстве снижается во все стороны при удалении от Солнца, и приводит к вышеупомянутому выводу. Отметим, что соображения о межзвездном поглощении не так сильно влияют на предыдущий аргумент: шаровые звездные скопления в основном наблюдаются вне плоскости диска Галактики.

Теперь рассмотрим аргумент №2. Поверхностная яркость протяженных объектов не зависит от расстояния до них, если освещенность подчиняется закону обратных квадратов. Поэтому разумно сравнивать объекты, находящиеся на различных расстояниях, именно по этому параметру. Однако свет от центральных областей Млечного Пути в оптическом диапазоне до нас не доходит: межзвездное поглощение на его пути составляет около  $30^m$ . Из-за этого в направлении центра Галактики мы наблюдаем в основном лишь излучение от близких объектов.

Поглощение пылью также упомянуто в аргументе №7 (и может навести на правильную мысль об аргументах №2 и №6). Действительно, именно из-за этого эффекта внешние галактики практически не наблюдаются в плоскости диска Млечного Пути, однако пыль не просто окружает диск, а непосредственно находится в нем, что обуславливает межзвездное поглощение и для объектов внутри нашей Галактики.

Аргумент №3 позволяет, казалось бы, оценить расстояние до туманности Андромеды: видимую и абсолютную звездную величину можно связать как  $m = M - 5 + 5 \lg r$ . Для заданного диапазона абсолютных звездных величин расстояние  $r$  оказывается в пределах 10 кпк, что по любым оценкам даже того времени не превышает размеров нашей Галактики и совершенно не согласуется с современными оценками. Даже если бы оказалось, что видимый блеск S Андромеды ослаблен вследствие межзвездного поглощения, то оценку расстояния пришлось бы исправлять в меньшую сторону.

Единственный вариант, при котором объект достигает звездной величины  $6^m$ , находясь на расстоянии в сотни килопарсек — тот, при котором его абсолютная светимость значительно выше, чем предполагается для новых звезд. На самом деле S Андромеды была сверхновой звездой, но об отличиях новых и сверхновых в то время не было известно.

Другим возможным вариантом объяснения могло быть то, что S Андромеды находилась к нам существенно ближе, чем сама туманность — из информации, данной в условии, отвергнуть такой вариант не удастся, хотя по известной информации о ее спектре и по наблюдаемому в наши дни остатку сверхновой установлено, что это была именно сверхновая в галактике Андромеды.

Аргумент №4, казалось бы, предотвращает возможность того, чтобы спиральные туманности

находились на большом расстоянии от Солнечной системы. Если объект удален на расстояние хотя бы в 100 кпк, то угловая скорость в  $0''.1/\text{год}$  соответствует линейной скорости  $10^4$  а.е./год — это практически  $5 \cdot 10^4$  км/с или больше 15% скорости света. В реальности же типичные скорости вращения галактик не превышают нескольких сотен км/с (отметим, что в 1914 году скорость вращения нескольких «спиральных туманностей» была впервые измерена с помощью эффекта Доплера). В то же время из срока наблюдений 25 лет следует, что за это время было зарегистрировано угловое перемещение частей туманности на примерно  $2''.5$ . Да, к началу XX века собственные движения звезд и их параллаксы уже можно было измерить, что означает возможность получения координат с точностью лучше секунды дуги. Однако туманности — диффузные объекты (в отличие от точечных звезд) и настолько малое угловое перемещение в их случае зарегистрировать было бы крайне трудно. В действительности найденное собственное движение оказалось ошибкой наблюдений.

Касательно аргумента №5 сейчас известно, что большие лучевые скорости галактик (а точнее, красное смещение, интерпретируемое как следствие лучевой скорости) возникают из-за расширения Вселенной. Давление света попросту крайне мало, чтобы объяснить этот эффект. Проверить этот вывод можно разными путями, например, можно вспомнить, что световое давление  $p$  связано с освещенностью  $E$  соотношением  $p = E/c$ , где  $c$  — скорость света. При этом освещенность, создаваемая диффузным светом нашей Галактики, на порядки ниже освещенности, создаваемой Солнцем, а световое давление со стороны Солнца заметно влияет на движение тел лишь очень малых размеров. Другое соображение — световое давление, как и гравитация, убывает обратно пропорционально квадрату расстояния, поэтому соотношение между ними от расстояния не зависит. Считая, что наша Галактика состоит из звезд, подобных Солнцу (в результате чего масса будет сильно недооценена или световое давление, соответственно, переоценено), можно понять, что соотношение между световым и гравитационным ускорениями для Галактики в целом настолько же мало, как и для Солнца — лишь для мельчайших пылинок ускорение из-за светового давления превосходит гравитационное.

Таким образом, все перечисленные аргументы хотя бы отчасти ошибочны. Ближе всех к истине оказываются аргументы №1 и №7, которые отчасти правильно объясняют суть наблюдаемых явлений.

*И.В.Чугунов*