

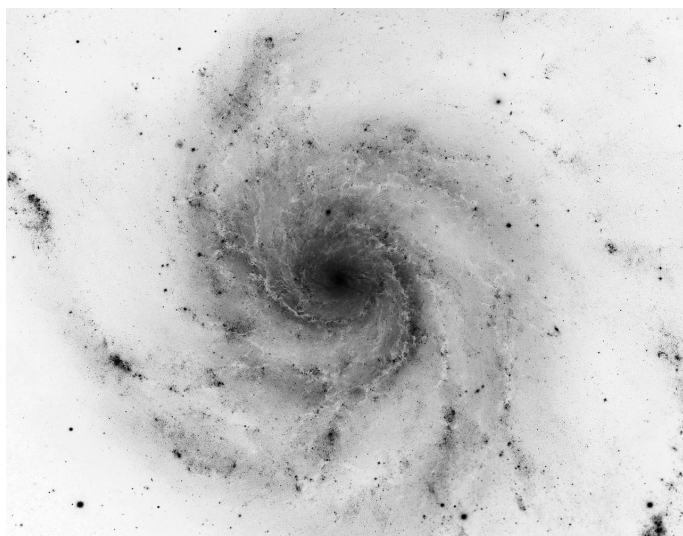
XXVII Санкт-Петербургская  
астрономическая олимпиада  
практический тур, решения

2020  
1  
марта

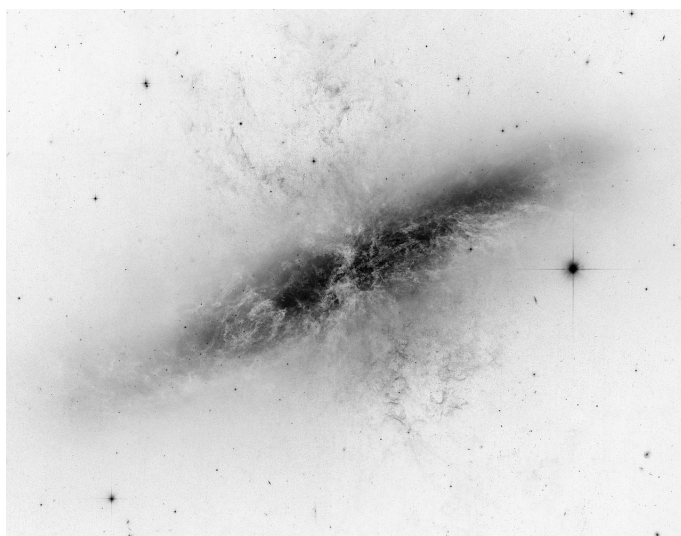
11 класс

Вам даны кривые блеска в полосах В, V и R двух сверхновых типа Ia, вспыхнувших в двух спиральных галактиках. На графиках по оси абсцисс отложены даты наблюдений в формате месяц/день, по оси ординат — видимые звездные величины в соответствующих полосах. Изображения галактик (негативы) и их экваториальные координаты представлены ниже.

Галактика	$\alpha$	$\delta$
1	14 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup>	+54° 21'
2	09 <sup>h</sup> 56 <sup>m</sup>	+69° 41'



Галактика 1



Галактика 2

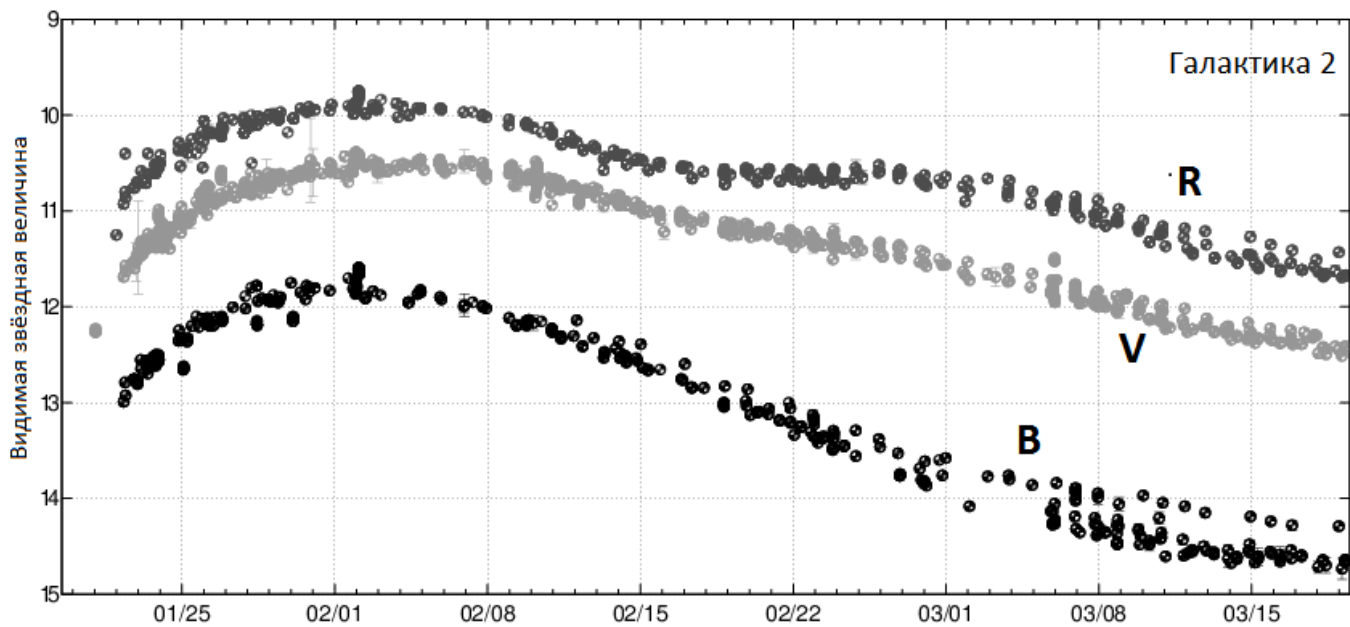
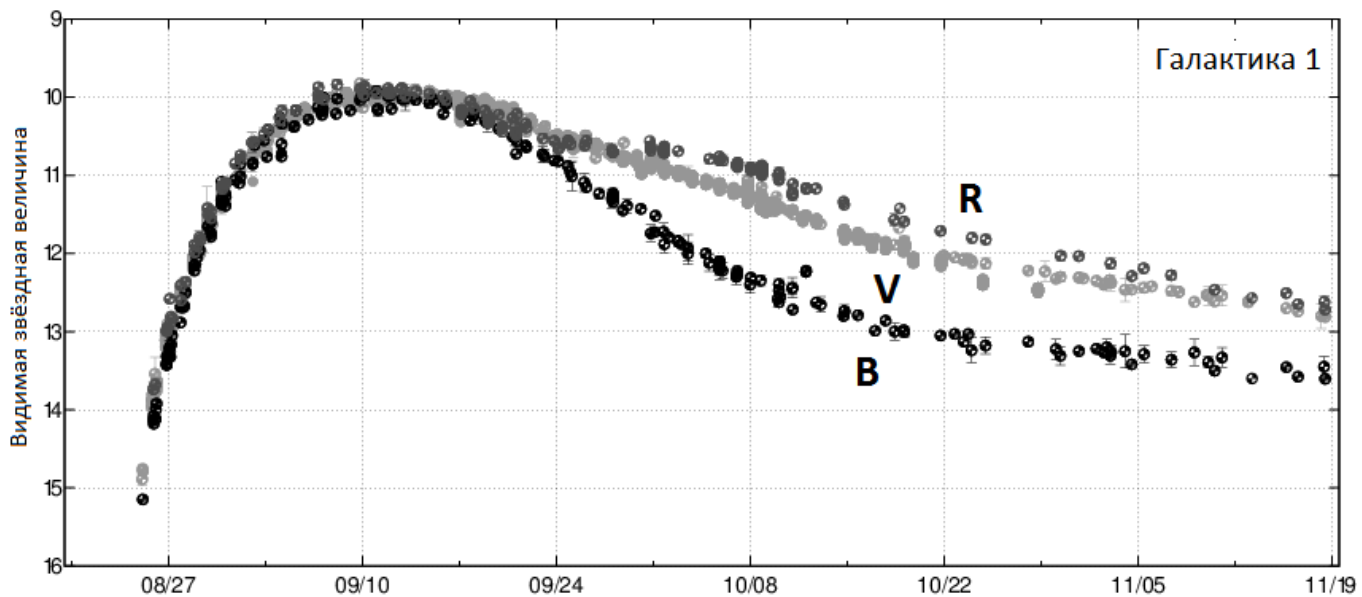
Определите расстояния до обеих галактик, если известно, что абсолютная звездная величина сверхновых типа Ia в максимуме блеска в полосе V составляет  $-19^m$ .

**Решение (20 баллов):**

Сверхновая типа Ia — результат взрыва белого карлика, достигшего предельной массы (так называемого предела Чандрасекара) вследствие аккреции окружающего вещества. Как следствие, кривые блеска сверхновых этого типа очень похожи между собой и могут служить «стандартными свечами».

Однако мы видим, что представленные кривые блеска довольно сильно отличаются. Первая сверхновая в максимуме блеска является практически «белой» (то есть показатели цвета близки к нулю), а потом она «краснеет». Вторая же сверхновая даже в максимуме заметно «красная». Можно предположить, что свет от второй сверхновой испытывает сильное поглощение.

Посмотрим на изображения галактик. Первая из них (M 101, Вертушка) видна плашмя, вторая (M 82, Сигара) — практически с ребра. Отсюда можно сделать вывод, что, по всей видимости, поглощение света от сверхновой в Вертушке (непосредственно в самой галактике, в которой произошла вспышка) достаточно мало, в то время свет от сверхновой в Сигаре прошел через значительную толщу газа и пыли в родительской галактике. По координатам галактик видно,



что они обе находятся далеко от плоскости Млечного Пути (в созвездии Большой Медведицы). Соответственно, поглощением в нашей Галактике мы можем пренебречь.

В максимуме блеска первая сверхновая имела блеск около  $10^m$ , отсюда получаем расстояние до Вертушки:

$$M - m = 5 - 5 \lg d,$$

$$d = 10^{(5-M+m)/5} = 10^{(5+19+10)/5} = 10^{6.8} \approx 6.3 \cdot 10^6 \text{ пк} = 6.3 \text{ Мпк},$$

что совпадает с реальным значением расстояния до галактики.

Вторая сверхновая в максимуме блеска имела звездную величину  $10^m.5$  в полосе V и показатель цвета  $(B - V) = 1^m.3$ . Если истинный показатель цвета  $(B - V)$  равен нулю, то избыток цвета  $E_{B-V} = 1^m.3$ .

Мы не знаем, по какому закону происходит поглощение света — это зависит от характеристик межзвездной среды в Сигаре, например, от размера пылевых частиц. Для оценки предположим, что поглощение аналогично среднему в Млечном Пути. Тогда мы можем оценить поглощение в полосе V:

$$A_V = R_V \cdot E_{B-V}$$

и в среднем в Галактике  $R_V \approx 3$ . Поэтому

$$A_V \approx R_V \cdot E_{B-V} = 3^m.9,$$

и истинная видимая звездная величина в полосе V равна  $10^m.5 - 3^m.9 = 6^m.6$ . В этом случае расстояние до галактики Сигара получается равным

$$d = 10^{(5+19+6.6)/5} = 10^{6.12} \approx 1.3 \cdot 10^6 \text{ пк} = 1.3 \text{ Мпк}.$$

Но на самом деле даже в Галактике для различных областей величина  $R_V$  может быть существенно разной. Как правило, она варьируется в пределах  $2 \leq R_V \leq 5$ . Перепишем выражение для расстояния в более общем виде:

$$d = 10^{(5+19+10.5-1.3 \cdot R_V)/5} \approx 10^7 \cdot 10^{-R_V/4} = 10^{1-R_V/4} \text{ Мпк}$$

и вычислим приближенно расстояния, соответствующие предельным значениям  $R_V$ . Получим, что расстояние меняется в пределах от 0.4 Мпк (что очевидно неверно, поскольку ближайшая к нам крупная спиральная галактика — М 31 — находится дальше, на расстоянии около 0.8 Мпк, и на изображении явно не она) до 2.4 Мпк.

Отметим, что даже максимальная оценка расстояния получилась заниженной: на данный момент расстояние до Сигары оценивается в 3.5 – 3.8 Мпк. Связано это с тем, что Сигара — галактика со вспышкой звездообразования, вследствие чего свойства межзвездного поглощения для нашей Галактики применимы к М 82 лишь в первом приближении. Еще одной возможной причиной отклонения результата от правильного являются возможные вариации показателя цвета в максимуме блеска, для отдельных сверхновых они отмечались.