

В первую очередь обратим внимание на фотографии: галактика 1 расположена плашмя, то есть свет, испущенный сверхновой, проходит лишь тонкий слой вещества (газа и пыли) галактики и пыли не испускает помехами. Наоборот, на второй фотографии не видно спиральных рукавов, хотя известно, что галактика спиральная, ~~зато~~ это означает, что она наблюдается с ребра, то есть свет испущенный сверхновой в этой галактике испытывает сильное помехение, т.к. проходит через большой пласт газа и пыли в галактическом диске.

Теперь обратимся к экваториальным координатам: ~~пер~~ видно, что первая галактика находится вблизи северного полюса галактики ( $L \approx 13^\circ$ ;  $b \approx 30^\circ$ ), т.е. она расположена вдали от плоскости нашей галактики, где концентрируются газ и пыль.

Таким образом, совпадение этих двух факторов позволяет нам верить, о том, что помехение света от ~~этой~~ сверхновой в галактике 1 незначительно и им можно пренебречь, тогда расстояние до нее определять элементарно: в максимальной блеске ~~её~~ ~~зр~~ видимая звездная величина сверхновой (в полосе V)  $m \approx 10,0$ , абсолютная, по условию,  $M = -19$ , тогда:

$$M = m + 5 - 5 \lg r, \Rightarrow \lg r = \frac{m + 5 - M}{5} = \frac{10 + 5 + 19}{5} = \frac{34}{5} = 6,8$$

Поскольку  $\lg 3 \approx 0,5$  а  $\lg 2 \approx 0,3$ , то  $\lg 6 \approx 0,8 \Rightarrow 10^{0,8} \approx 6$ , тогда

$$r = 10^{6,8} \approx 6 \text{ Мпк}$$

Со второй галактикой этот метод уже не работает: там велико помехение, а значит истинная видимая звездная величина уже наблюдается (исчисляется без помехения)

Поскольку мы считаем, что помехение для первой сверхновой незначительно, то первый график мы можем использовать как эталонный и калибровать по нему второй, поскольку механизм взрыва сверхновой типа Ia (взрывившийся белый карлик) всегда один и тот же и не зависит от свойств галактики.

Тогда наблюдаемая звездная величина сверхновой в галактике 2 равна  $m_v$ ,  $m_R$ ,  $m_B$ , помехение света  $\Delta m_v$ ,  $\Delta m_B$ ,  $\Delta m_R$ , звездная величина без помехения  $m_{v,исч}$ ,  $m_{B,исч}$ ,  $m_{R,исч}$  ит.

Коротковолновое излучение помехится сильнее, чем длинноволновое и в опти-

величина графика эту зависимость можно представить так:

$$\Delta m = \Delta m_v \left( \frac{\lambda_v}{\lambda} \right)^{\frac{4}{3}} \quad (\text{показатель может отличаться, но обычно он принимает } \frac{4}{3})$$

$$\Rightarrow \Delta m_B = \Delta m_v \left( \frac{\lambda_v}{\lambda_B} \right)^{\frac{4}{3}}; \Delta m_R = \Delta m_v \left( \frac{\lambda_v}{\lambda_R} \right)^{\frac{4}{3}}, \text{ таким образом:}$$

$$m_v = m_{v, \text{ис}} + \Delta m_v$$

Здесь  $\lambda_v = 550 \text{ нм}$ ;  $\lambda_B = 430 \text{ нм}$ ;  $\lambda_R = 630 \text{ нм}$ .

$$m_B = m_{B, \text{ис}} + \Delta m_v \left( \frac{\lambda_v}{\lambda_B} \right)^{\frac{4}{3}} \quad \text{середина полос при усеченном спектре}$$

$$m_R = m_{R, \text{ис}} + \Delta m_v \left( \frac{\lambda_v}{\lambda_R} \right)^{\frac{4}{3}}$$

Вчитая уравнение:  $m_B - m_v = m_{B, \text{ис}} - m_{v, \text{ис}} + \Delta m_v \left[ \left( \frac{\lambda_v}{\lambda_B} \right)^{\frac{4}{3}} - 1 \right]$

$$\Rightarrow \Delta m_v \left[ \left( \frac{\lambda_v}{\lambda_B} \right)^{\frac{4}{3}} - 1 \right] = m_{B-v} - (m_{B-v})_{\text{ис}} \Rightarrow \Delta m_v = \frac{m_{B-v} - (m_{B-v})_{\text{ис}}}{\left( \frac{\lambda_v}{\lambda_B} \right)^{\frac{4}{3}} - 1}$$

Здесь  $m_{B-v}$  - показатель света на втором графике (наблюдаемый);  $(m_{B-v})_{\text{ис}}$  - истинный показатель света верхней звезды на графике 1. Притом её "эволюция" получена с помощью "эталонного" графика 1.

Притом время после максимума должно совпадать на обоих графиках.

Определим коэффициент  $\frac{1}{\left( \frac{\lambda_v}{\lambda_0} \right)^{\frac{4}{3}} - 1}$  в нас:  $\frac{\lambda_v}{\lambda_B} = \frac{550}{430} \approx 1,3$ ;  $\left( \frac{\lambda_v}{\lambda_B} \right)^{\frac{4}{3}} \approx (1,3)^{\frac{4}{3}} \approx 1,5$

$$\approx 1 + \frac{4}{3} \cdot 0,3 = 1,4 \Rightarrow \frac{1}{\left( \frac{\lambda_v}{\lambda_0} \right)^{\frac{4}{3}} - 1} \approx \frac{1}{0,4} = 2,5$$

$$\Rightarrow \Delta m_v \approx 2,5 [m_{B-v} - (m_{B-v})_{\text{ис}}]$$

Теперь сделаем таблицу для нахождения  $\Delta m_v [m_{B-v} - (m_{B-v})_{\text{ис}}]$  (избыток света)

t (время после максимума), недели	$m_{B-v}$	$(m_{B-v})_{\text{ис}}$	$m_{B-v} - (m_{B-v})_{\text{ис}}$
0	+1,3 <sup>m</sup>	0 <sup>m</sup>	+1,3 <sup>m</sup>
4	+2,3 <sup>m</sup>	+1,1 <sup>m</sup>	+1,2 <sup>m</sup>
3	+2,0 <sup>m</sup>	+0,8 <sup>m</sup>	+1,2 <sup>m</sup>

Результаты с хорошей точностью совпадают, что подтверждает сделанное выше предположение об "эталонности" галактики 1:  $[m_{B-v} - (m_{B-v})_{\text{ис}}] = 1,2^m$

$$\Delta m_v \approx 2,5 [m_{B-v} - (m_{B-v})_{\text{ис}}] = 3,0^m$$

тогда звездная величина без учета поправки:  $m_{v, \text{ис}} = m_v - \Delta m_v = 10,6^m - 3,0^m = 7,6^m$  ( $m_v$  - звездная - наблюдаемая зв. величина в максимуме блеска, пояса V, второй график)

Расстояние до второй галактики

$$M = m_{\text{от}} + 5 - 5 \lg r = 5 \lg r = M_{\text{от}} + 5 - M \Rightarrow \lg r = \frac{m_{\text{от}} + 5 - M}{5} = \frac{7,6 + 5 + 19}{5} = \frac{31,6}{5} \approx 6,3$$

Поскольку  $\lg 2 \approx 0,3$ , то  $10^{0,3} \approx 2$ , тогда

$$r_2 = 10^{6,3} \approx 2 \text{ Мпк}$$

Можно попытаться для большей достоверности получить результат в красной полосе, однако точность будет хуже, поскольку разность показателей  $m_{V-R}$  меньше  $m_{B-V}$ , а линии V и R на диаграмме графике почти перпендикулярны, то есть несколько излучений делать бессмысленно и лучше всего принять данные для максимума блеска;  $(m_{V-R})_{\text{от}} = 0,0$ ;  $m_{V-R} = 0,6^m$

Коэффициент  $\frac{1}{\lambda_{R-V} \left( \frac{\lambda_R}{\lambda_V} \right)^{\frac{4}{3}} - 1}$ ;  $\frac{\lambda_R}{\lambda_V} \approx \frac{630}{550} \approx 1,15$   $\left( \frac{\lambda_R}{\lambda_V} \right)^{\frac{4}{3}} \approx 1 + \frac{4}{3} \cdot 0,15 = 1,2$

$$\frac{1}{1 - \left( \frac{\lambda_R}{\lambda_V} \right)^{\frac{4}{3}}} \approx 5,0 \quad (\text{здесь на самом деле, то при } \frac{\lambda_R}{\lambda_V} \approx 1, \left( \frac{\lambda_R}{\lambda_V} \right)^{\frac{4}{3}} - 1 \approx \left( \frac{\lambda_R}{\lambda_V} \right)^{\frac{4}{3}} - 1 = \left( \frac{\lambda_V}{\lambda_R} \right)^{\frac{4}{3}} - 1)$$

$$\Delta m_V = m_{R-V} - (m_{R-V})_{\text{от}} = \frac{m_{V-R} - (m_{V-R})_{\text{от}}}{\left( \frac{\lambda_R}{\lambda_V} \right)^{\frac{4}{3}} - 1} \approx 5,0 \cdot [m_{V-R} - (m_{V-R})_{\text{от}}] \approx 3,0^m$$

Получили тот же самый результат.

Оказалось, что галактика 2, имеющая  $\beta$  сверхновой с более рыхлой наблюдаемой звездной величиной, находится ближе галактике 1.

Ответ. 6 Мпк; 2 Мпк