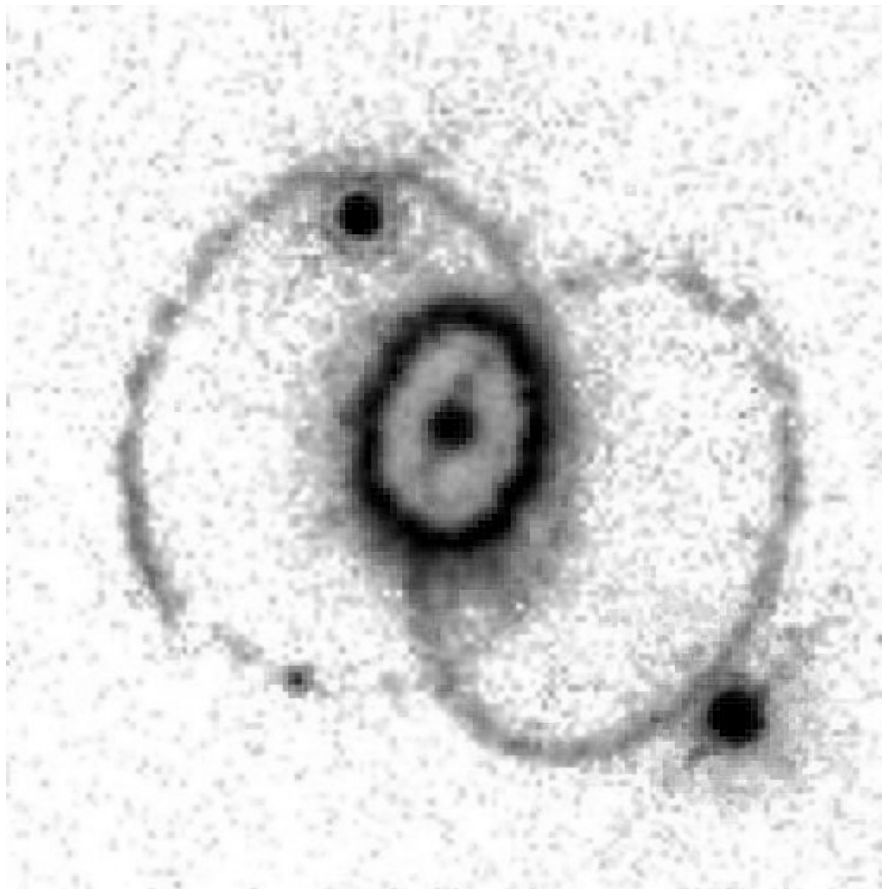


XXVIII Санкт-Петербургская  
астрономическая олимпиада  
практический тур, решения

2021  
14  
марта

9 класс

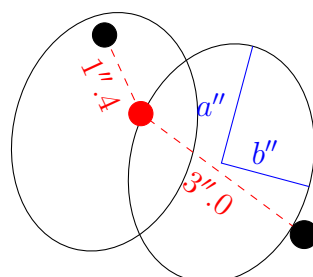
Вам дано негативное изображение, полученное при наблюдении остатка вспышки сверхновой с высоким разрешением. Две кольцеобразные структуры — это два параллельных кольца одинакового радиуса, расположенных симметрично по отношению к сверхновой и состоящих из вещества, выброшенного предшественником сверхновой, и подсвеченного во время вспышки.



Известно, что угловое расстояние между сверхновой и яркой звездой, проецирующейся на снимок левее и выше сверхновой, равно  $1''.4$ , угловое расстояние между сверхновой и яркой звездой, проецирующейся на снимок правее и ниже сверхновой, равно  $3''.0$ . Свет от вспышки достиг колец примерно через 450 суток после вспышки. Определите с помощью этих данных расстояние до сверхновой.

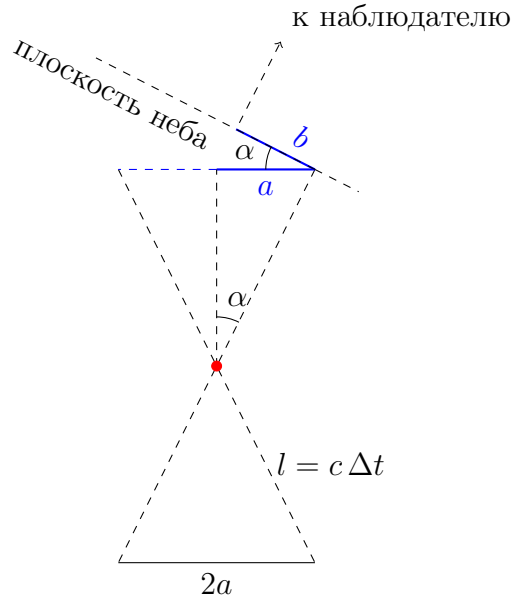
**Решение (20 баллов):**

Схематически нарисуем то, что видим на снимке:



Очевидно, что кольца кажутся эллипсами, потому что плоскости колец наклонены к лучу зрения. Используя масштаб фотографии, заданный расстояниями между сверхновой и опорными звездами, можно определить малые  $b$  и большие  $a$  полуоси эллипсов в угловых секундах. Угол  $3''.0$  соответствует примерно 54 мм, соответственно, в масштабе изображения 18 мм соответствуют  $1''$ . В результате измерений получим, что  $a = 1''.9$ ,  $b = 1''.3$ .

Нарисуем вид «сбоку», когда луч зрения лежит в плоскости, параллельной плоскостям колец и проходящей через сверхновую.



Из рисунков следует, что  $\cos \alpha = b/a$  и  $\sin \alpha = a/l$ . Воспользовавшись тем, что  $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$ , получим, что

$$\frac{b^2}{a^2} + \frac{a^2}{l^2} = 1,$$

откуда

$$l = \frac{a}{\sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}} = \frac{1''.9}{\sqrt{1 - \frac{1.3^2}{1.9^2}}} \approx \frac{1''.9}{\sqrt{1 - \frac{1}{2}}} = 2''.8.$$

В то же время мы знаем, что это угловое расстояние соответствует 450 световым суткам, т.е. примерно 1.2 светового года или 0.4 парсека. Учитывая, что в парсеке  $2 \cdot 10^5$  а.е., получаем, что оно составляет около  $8 \cdot 10^4$  а.е. Поскольку с 1 пк расстояние 1 а.е. по определению видно под углом  $1''$ , то расстояние до объекта (или линейного масштаба) в парсеках — это отношение его размера в а.е. к его угловому размеру в угловых секундах, поэтому искомое расстояние оказывается около  $3 \cdot 10^4$  пк.

Подобные же измерения можно провести по левому кольцу. Результаты, скорее всего, будут отличаться, т.к. на глаз видно, что, вопреки написанному в условии, плоскости колец не совсем параллельны. Также будет отличаться масштаб изображения при измерении расстояния между сверхновой и верхней звездой. Большую погрешность в измерения также вносят размеры сверхновой и звезд на снимке и ненулевая толщина колец. Поэтому итоговый численный ответ у разных участников может отличаться от приведенного в данном решении.

Осталось сказать, что на снимке изображён остаток сверхновой SN1987A, вспыхнувшей 23 февраля 1987 года в Большом Магеллановом облаке. Известно, что вещество колец было выброшено предсверхновой более, чем за 20 тыс. лет до вспышки. Однако до сих пор остаётся загадкой, почему вещество было выброшено в виде колец, а не в виде сферически-симметричной (или близкой к такой) оболочки.