

**XXII Санкт-Петербургская  
астрономическая олимпиада**  
практический тур, решения

**2015**  
**1**  
**марта**

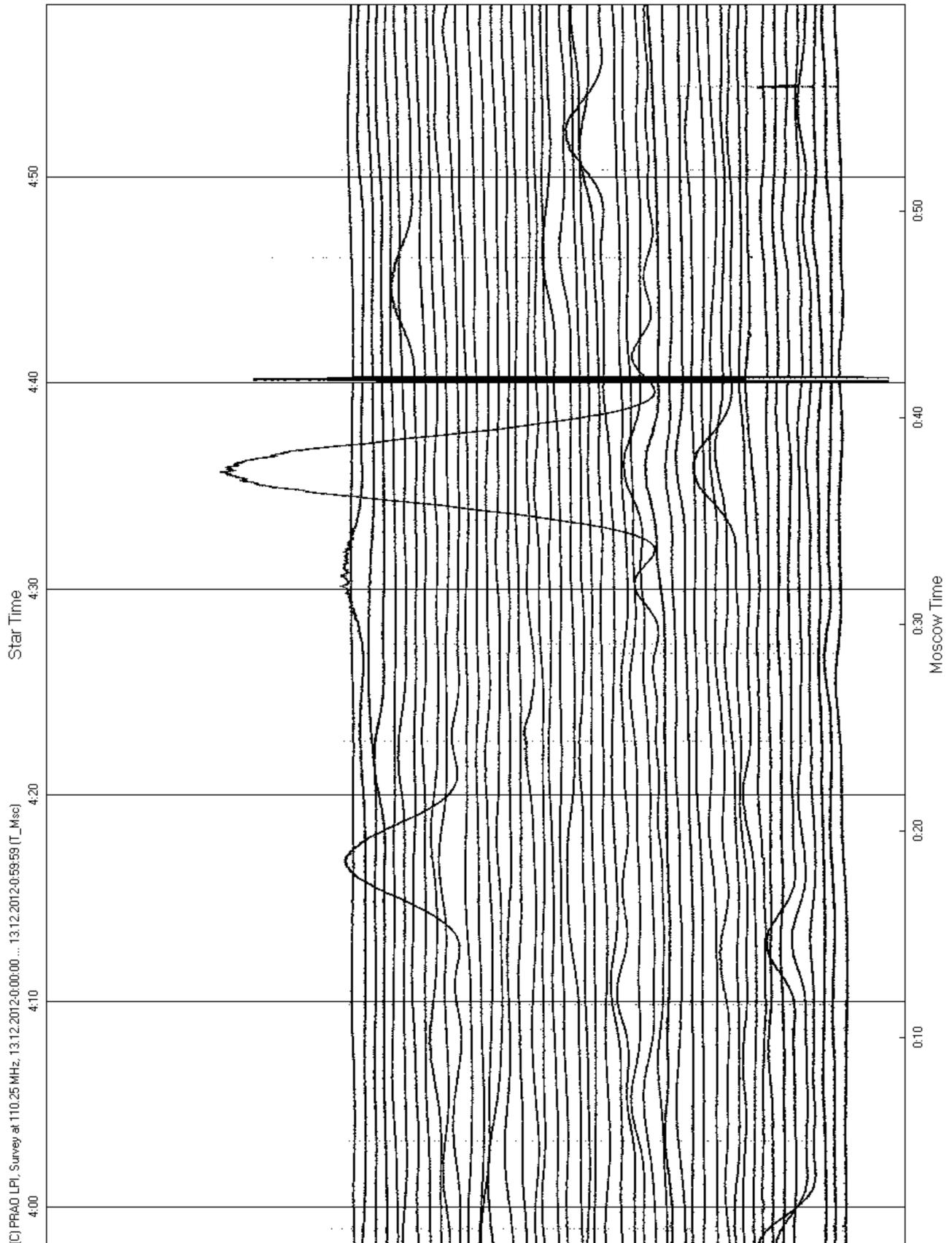
---

*11 класс*

---

Вам дана запись, полученная на разных каналах радиотелескопа БСА с рабочей частотой 110.25 МГц. Известно, что центры диаграмм направленности каждого канала находятся на небесном меридиане, ширины диаграмм направленности (угловые разрешения) всех каналов одинаковы, интервал по склонению между центрами соседних каналов одинаков. Сверху находятся отсчеты звездного времени (в часах и минутах), снизу — отсчеты московского времени (также в часах и минутах).

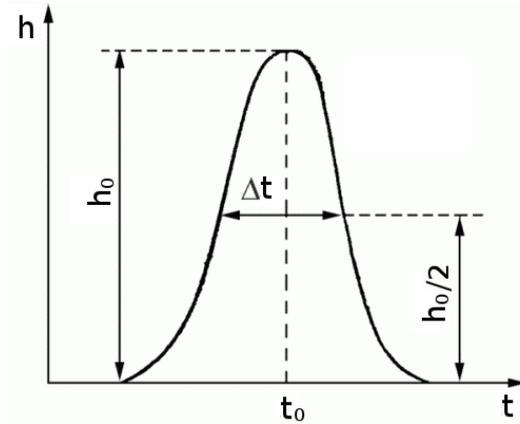
Оцените угловое разрешение радиотелескопа. Оцените интервал склонений, в котором проводятся наблюдения. Оцените погрешность полученных Вами результатов.



### Решение:

На представленной картинке видны многочисленные «горбы», которые появляются на записи при прохождении радиоисточников через поле зрения телескопа. Разрешающая способность радиотелескопа определяется диаграммой направленности, а именно размерами ее главного лепестка. Угловое разрешение определяется как угол между направлениями на точки главного лепестка, в которых мощность принимаемого излучения уменьшается вдвое по сравнению с центральной. Таким образом, для определения углового разрешения радиотелескопа необходимо

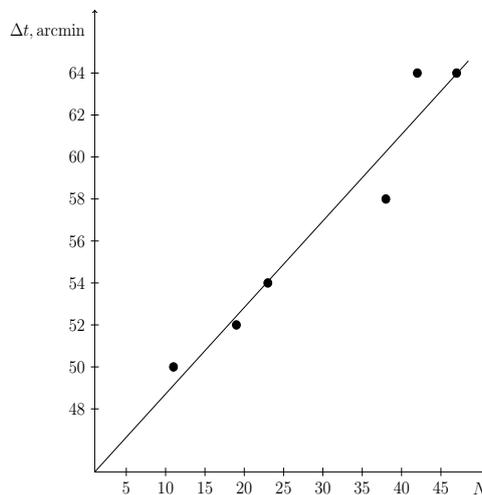
измерить полуширину  $\Delta t$  полученных «горбов» (следует обратить внимание, что «полушириной» называется не половина ширины, а полная ширина на уровне половинной амплитуды  $h_0/2$ , см. рисунок).



Так как радиотелескоп неподвижен, время прохождения радиоисточника  $t$  через поле зрения телескопа зависит только от углового разрешения  $\Delta\alpha$  и угловой скорости  $\omega$  источника:

$$t = \frac{\Delta\alpha}{\omega} = \frac{\Delta\alpha}{\omega_0 \cdot \cos \delta},$$

где  $\omega_0 = 15^\circ/\text{час}$  — угловая скорость вращения Земли,  $\delta$  — склонение источника. Для начала определим масштаб изображения по оси абсцисс. Отрезок, соответствующий 10 минутам звездного времени, имеет длину 37.5 мм. Таким образом, масштаб изображения составляет  $16^s/\text{мм}$  или, что то же самое,  $4'/\text{мм}$ . Теперь определим зависимость полуширины «горбов» от номера канала, нумеруя каналы снизу вверх. Так как интервалы по склонению между центрами соседних каналов одинаковы, то центральные склонения каналов линейно зависят от номера канала. Построим график и аппроксимируем полученную зависимость линейной (см.рисунок).



Из графика видно, что в поле зрения радиотелескопа не попадают приполярные области, где  $\frac{1}{\cos \delta} \rightarrow \infty$ . Очевидно, что угловое разрешение телескопа не может быть меньше полуширины «горба» в первом (самом южном) канале, т.е.  $\approx 46'$ . Этот результат и будем считать оценкой сверху углового разрешения по прямому восхождению  $\Delta\alpha$ . Что касается разрешения по склонению, то можно сказать, что оно сравнимо с угловым расстоянием между каналами – так как наиболее яркие источники «видны» и в соседних лучах.

Теперь мы можем оценить диапазон склонений, в котором проводятся наблюдения:

$$\cos \delta \approx 1 - \frac{\delta^2}{2} = \frac{\Delta\alpha}{\omega_0 t},$$

$$\delta = \sqrt{2 \cdot \left(1 - \frac{\Delta\alpha}{\omega_0 t}\right)}.$$

Подставляя измеренные значения  $t$ , получаем, что наблюдения ведутся в пределах примерно от  $10^\circ$  до  $45^\circ$ , а расстояние между лучами составляет соответственно  $0.7^\circ$ . Можно также отметить (и по названию телескопа БСА, и по указанию, что наблюдения ведутся в «PRAO» — Пушинской Радиоастрономической обсерватории, и по использованию московского времени), что место наблюдений — Россия, поэтому склонения источников положительные, а не отрицательные.

Теперь оценим погрешность полученных результатов. Абсолютная погрешность линейки составляет 1 мм, минимальные полуширины «горбов» — около 10 мм, максимальные — 16 мм. Таким образом, относительная погрешность определения полуширин составляет 6% – 10%. Дополнительную ошибку вносит погрешность определения уровня половинной мощности, которая тем больше, чем слабее источник. Кроме того, прохождения источников через каналы в общем случае не являются центральными. Таким образом, погрешность определения времени прохождения источников через луч составит около 15% – 30%, причем величины для больших склонений определяются более надежно, угловое разрешение радиотелескопа определяется с той же относительной погрешностью. Ошибки определения границ диапазона склонений оцениваются только из общих соображений и составляют не менее нескольких градусов.