

XXV Санкт-Петербургская  
астрономическая олимпиада  
практический тур, решения

2018  
4  
марта

7–8 классы

При наблюдениях близких галактик были измерены расстояния до них, а также их лучевые скорости (так называется скорость, с которой объект — в данном случае галактика — удаляется от нас или приближается к нам). Результаты наблюдений приведены в таблице ниже. Расстояния  $r$  даны в килопарсеках, лучевые скорости  $v$  — в километрах в секунду, причем положительное значение означает, что галактика удаляется от нас, а отрицательное — что приближается.

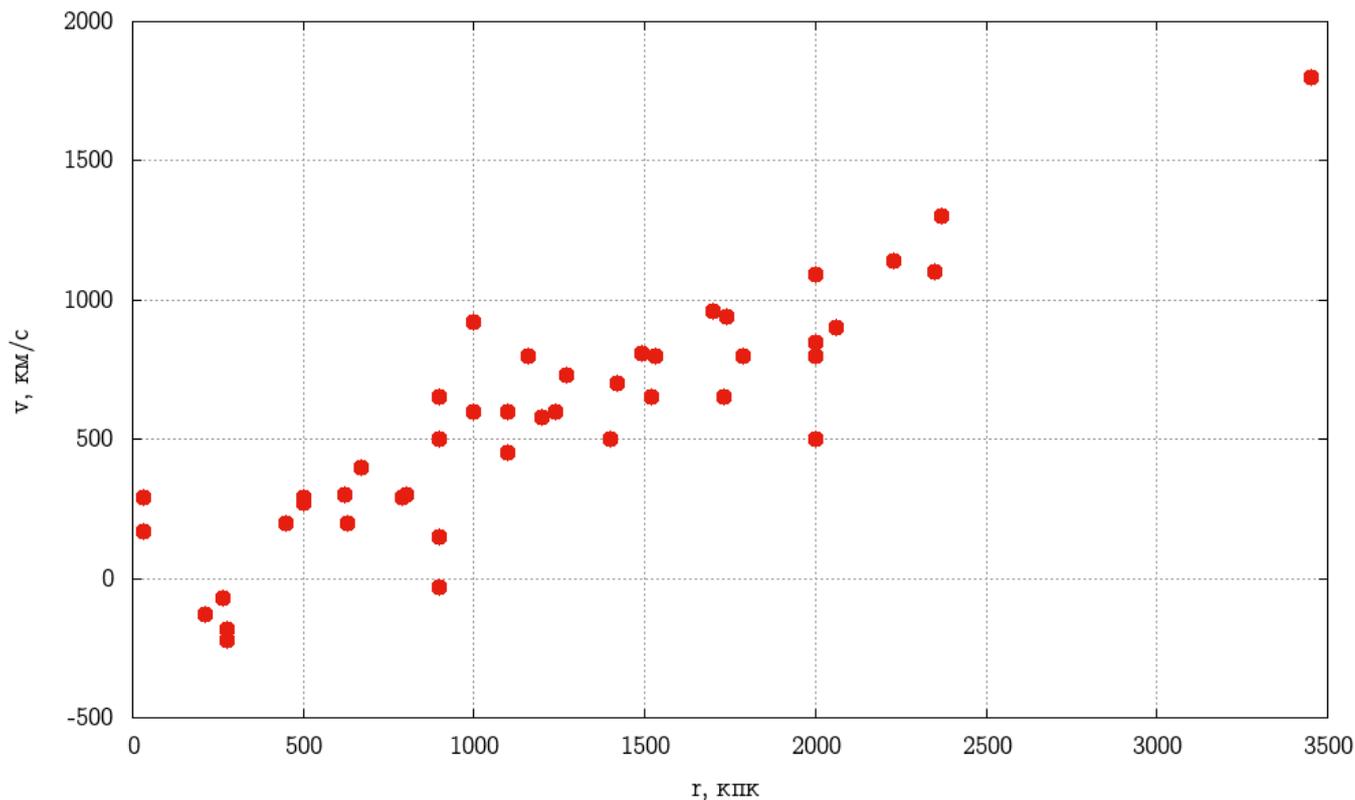
Найдите зависимость лучевой скорости галактики от расстояния до нее, определите параметры этой зависимости и оцените погрешность определения параметров.

Галактика	$r$ , кпк	$v$ , км/с
SMC	32	+170
NGC 221	275	-185
NGC 224	275	-220
NGC 278	1520	+650
NGC 584	3450	+1800
NGC 598	263	-70
NGC 936	2370	+1300
NGC 1023	620	+300
NGC 1069	1000	+920
NGC 1700	1160	+800
NGC 2681	1420	+700
NGC 2683	670	+400
NGC 2841	1240	+600
NGC 3031	900	-30
NGC 3034	790	+290
NGC 3115	1000	+600
NGC 3368	1740	+940
NGC 3379	1490	+810
NGC 3489	1100	+600
NGC 3521	1270	+730
NGC 3623	1530	+800
NGC 3627	900	+650

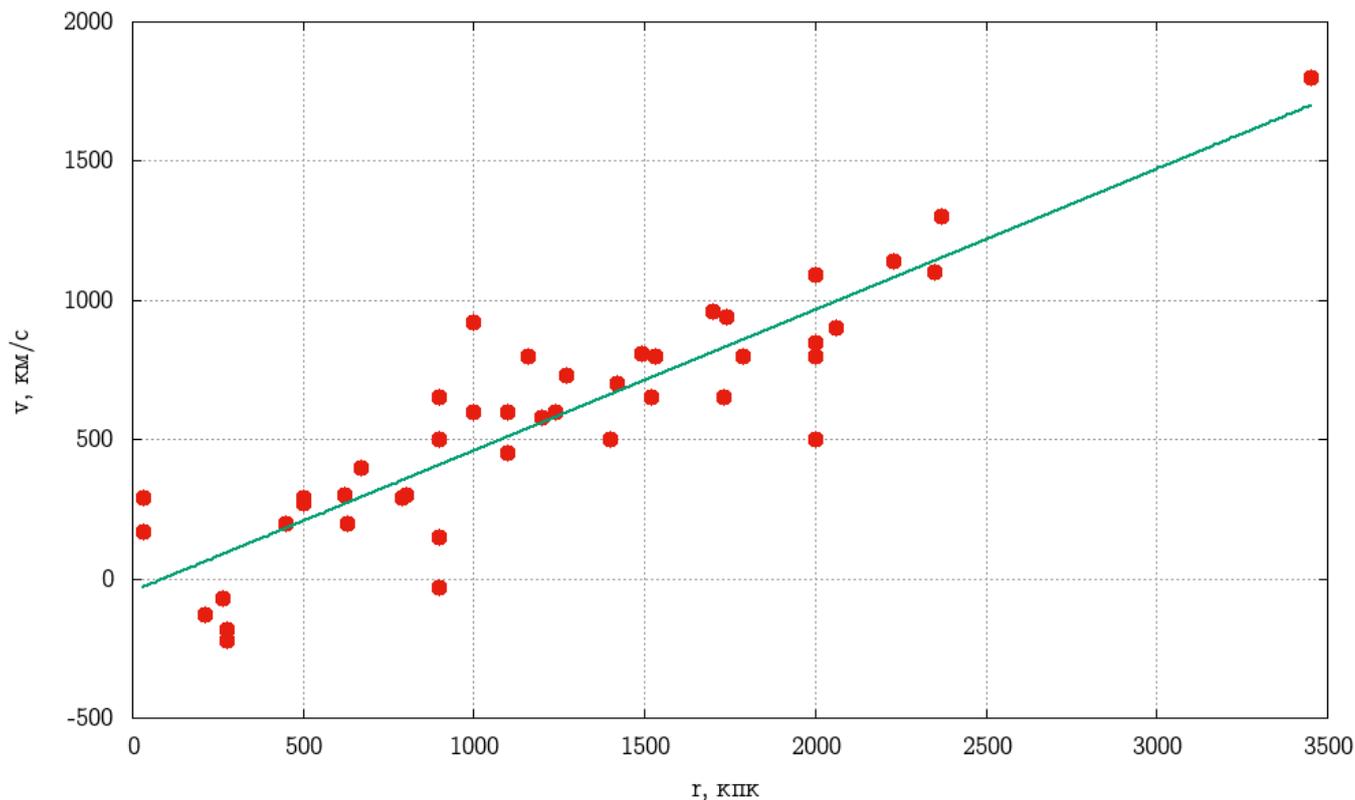
Галактика	$r$ , кпк	$v$ , км/с
LMC	34	+290
NGC 4111	1790	+800
NGC 4151	1700	+960
NGC 4214	800	+300
NGC 4258	1400	+500
NGC 4382	2000	+500
NGC 4449	630	+200
NGC 4472	2000	+850
NGC 4486	2000	+800
NGC 4526	1200	+580
NGC 4565	2350	+1100
NGC 4594	2230	+1140
NGC 4649	2000	+1090
NGC 4736	500	+290
NGC 4826	900	+150
NGC 5005	2060	+900
NGC 5055	1100	+450
NGC 5194	500	+270
NGC 5236	900	+500
NGC 5457	450	+200
NGC 5866	1730	+650
NGC 6822	214	-130

**Решение:**

Поскольку требуется найти зависимость между двумя величинами, первое действие, которое стоит сделать — построить график и нанести на него точки. Если это сделать, получится что-то вроде следующего:



Из графика видно, что зависимость примерно линейная. Тогда можно построить прямую, наилучшим образом ее описывающую (это можно сделать «на глаз», результат окажется достаточно неплохим):



Подберем подходящий вид зависимости. Поскольку она линейная, она должна иметь вид  $v = k \cdot r + b$ . Выбрав две любых точки на прямой и подставив их координаты в зависимость, мы сможем найти значения параметров  $k$  и  $b$ , однако даже непосредственно по графику видно, что параметр  $b$  близок к нулю. Определение параметра  $k$  даст результат около 0.5 км/с/кпк.

Какими могут быть погрешности полученного нами результата? Можно заметить, что изменение параметра  $b$  сдвигает прямую вверх или вниз, и если мы хотим, чтобы прямая все же

хоть сколько-нибудь проходила через точки, то параметр  $b$  можно увеличить или уменьшить не более чем на 200 км/с. Изменение параметра  $k$  влияет на наклон прямой, разные попытки провести ее через точки позволяют увеличить или уменьшить  $k$  примерно в полтора раза, примерно такой погрешностью и будут обладать найденные нами значения параметров.

Если Вам удалось проделать все это и получить параметр  $k$ , то Вас можно поздравить: Вы успешно воспроизвели результат, полученный в 1929 году Эдвином Хабблом, и открыли закон Хаббла, а вместе с ним и космологическое расширение Вселенной. Правда, данные, которыми пользовался Э. Хаббл (и Вы вместе с ним) были очень неточными, поэтому результат оказался завышенным почти на порядок (современное значение постоянной Хаббла равно примерно 70 км/с/Мпк или 0.07 км/с/кпк), однако именно так начиналась современная наблюдательная космология.

*П.А.Тараканов*