

XXI Международная астрономическая олимпиада
XXI International Astronomy Olympiad

Болгария, Пампорово-Смолян

5 – 13. X. 2016

Pamporovo-Smolyan, Bulgaria

язык
language

Русский

Только для перевода.

Задачи практического тура

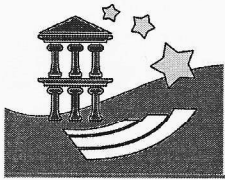
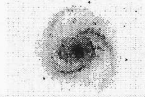
α-6. Наблюдатель кометы. В таблице 1 представлены эфемериды 20 наблюдений кометы P/2007 R2 (Гиббса), полученные через равные промежутки времени в 121 дней 18 часов (3 наблюдения в год). Угол наклона орбиты кометы составляет $i = 1,4339^\circ$ и им можно пренебречь. Используются следующие обозначения:

- N – порядковый номер наблюдения.
- Date (UT) – дата, а HR и MN – это время наблюдения (час, минуты) по всемирному времени.
- R. A. (измеряется в часах, минутах и секундах) и DEC (градусах, минутах и секундах) – прямое восхождение и склонение центра кометы соответственно.
- T-mag – примерная полная видимая звездная величина кометы.
- Delta – расстояние от наблюдателя до центра кометы в момент наблюдения в астрономических единицах (а.е.).
- S-O-C (Sun-Observer-Comet) – угол Солнце-Наблюдатель-Комета в градусах, (видимая солнечная элонгация кометы, измеряемая с места наблюдения в диапазоне $0^\circ - 180^\circ$).
- Столбец «г'» – видимое положение кометы относительно Солнца на небе;
/Г означает что комета следует за Солнцем (восходит и заходит позже Солнца)
/L означает что комета находится впереди Солнца (восходит и заходит раньше Солнца), как показано на Рис.1.

На рисунке 1 изображена орбита Земли вокруг Солнца, как она видна с северного полюса эклиптики. Направление орбитального движения Земли показано стрелкой.

С помощью этих данных:

- 6.1. Нарисуйте на миллиметровой бумаге орбиту кометы как её видно с северного полюса эклиптики. Обозначьте точки (положения кометы) соответствующими номерами N. Считайте, что Земля движется с постоянной орбитальной скоростью.
- 6.2. Вычислите величину большой полуоси её орбиты a и эксцентриситета e.
- 6.3. Оцените орбитальный период кометы T, не используя при этом никаких других данных (как, например, массу Солнца или III закон Кеплера).
- 6.4. Вычислите скорость кометы в перигелии V_p и афелии V_a , не используя при этом никаких других данных (например, массу Солнца).
- 6.5. Вычислите массу Солнца M. Гравитационной постоянной равна $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$.
- 6.6. Вычислите скорость кометы V и скорость убегания (вторую космическую скорость) V_e для положения $N = 7$.

**XXI Международная астрономическая олимпиада**
XXI International Astronomy Olympiad

Болгария, Пампорово-Смолян 5 – 13. X. 2016 Pamporovo-Smolyan, Bulgaria

Язык
language **Русский****Только для перевода.****Задачи практического тура**

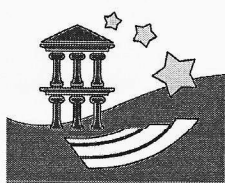
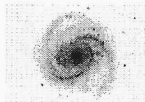
β-6. Обнаружение гравитационных волн. В 1916 году, через год после окончательной формулировки уравнений общей теории относительности, Альберт Эйнштейн предсказал существование гравитационных волн. По аналогии с электромагнитными волнами, которые излучаются из-за ускорения электрических зарядов, гравитационные волны излучаются благодаря ускорению масс. По аналогии с электромагнетизмом, если неподвижное тело внезапно начнёт движение, гравитационная сила, с которой оно воздействует на *пробные* массы, изменится. Тем не менее, такое изменение произойдёт не моментально. Информация о том, что данное тело движется будет распространяться со скоростью света в виде гравитационных волн. Когда гравитационная волна достигнет пробных масс, те начнут ускоряться из-за изменения сил гравитации. Тело, движение которого периодические, будет создавать периодические гравитационные волны, и те могут ускорять окружающие пробные массы также периодически.

14 сентября 2015 года два детектора лазерного интерферометра гравитационно-волновой обсерватории (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory, LIGO) зарегистрировали событие совпадения гравитационного сигнала GW150914, как показано на Рис. 1. Это было первое прямое обнаружение гравитационных волн и первое прямое наблюдение системы двух чёрных дыр, сливающихся в одну чёрную дыру. Было определено, что расстояние до двойной системы сливающихся чёрных дыр лежит в интервале между 250 Мпк и 600 Мпк, а начальные массы двух чёрных дыр до их слияния – $36 \pm 4 M_{\odot}$ и $28 \pm 4 M_{\odot}$ соответственно. После слияния они образовали одну чёрную дыру массой $62 \pm 4 M_{\odot}$. Остальная масса была высвобождена в виде энергии гравитационных волн, равной по вычислениям $3,0 \pm 0,5 M_{\odot} c^2$, ($M_{\odot} = 2.0 \times 10^{30}$ кг – масса Солнца, $c = 3,0 \times 10^8$ м/с – скорость света в вакууме). Согласно вычислениям пиковая мощность гравитационного излучения в несколько раз превосходила 10^{49} Вт, что более чем в десять раз превосходит суммарную мощность света, излучаемого всеми звёздами наблюдаемой Вселенной.

Из-за приливных сил гравитационные волны вызывает относительные смещения (ΔL) пробных масс, которые пропорциональны расстоянию (L) между этими пробными массами. Физики определяют амплитуду гравитационных волн с помощью безразмерной величины h , которая определяется как

$$h = \Delta L/L$$

и обычно называется безразмерной деформацией гравитационной волны. Эта величина отложена на графике по вертикальной оси.

XXI Международная астрономическая олимпиада
XXI International Astronomy Olympiad

Болгария, Пампорово-Смолян

5 – 13. X. 2016

Pamporovo-Smolyan, Bulgaria

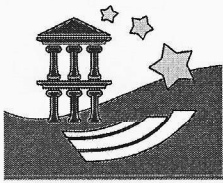
ЯЗЫК
language**Русский**

Рис1. Гравитационно-волновое событие GW150914, обнаруженное двумя детекторами LIGO. По вертикальной оси показана амплитуда гравитационной волны (деформация h). Чёрные дыры проходят через следующие стадии слияния (их изображения расположены по горизонтальной оси примерно в соответствии с соответствующими временами):

- (1) *по спирали*, когда обе черные дыры постепенно приближаются друг к другу,
- (2) *слияние*, когда чёрные дыры сливаются,
- (3) *конечная стадия*, когда новообразованная чёрная дыра сначала слегка осциллирует, прежде чем успокоиться.

В рамках классической ньютоновской механики выполните следующие задания:

- 6.1.** Используя данные массы обоих чёрных дыр по данным LIGO, приведённым выше, вычислите их радиусы горизонтов до слияния. Оцените погрешность вычисления этих радиусов.
- 6.2.** По данным Рис.1., измеряя полученный сигнал гравитационной волны, найдите орбитальный период системы из двух чёрных дыр в момент слияния.
- 6.3.** Используйте **только** информацию, которую можно получить из Рис.1, оцените полную начальную массу системы из двух чёрных дыр. **Нельзя** использовать ни один из приведенных выше результатов LIGO.
- 6.4.** Выведите формулу для энергии выделенной в виде гравитационных волн до момента слияния в виде функции зависимости только от начальных масс двух чёрных дыр (M_1 and M_2). Используя результат, полученный в 6.3., вычислите полную энергию, излучённую в виде гравитационных волн, считая, что $M_1 = M_2$.
- 6.5.** Найдите среднюю мощность P излучения гравитационных волн в течение последних 0.10 с до слияния.
- 6.6.** Как и в большинстве случаев поток гравитационной волны пропорционален квадрату амплитуды волны. Амплитуда (деформация) в непосредственной близости от двух сливающихся чёрных дыр составляет примерно $h = (v/c)^2$, где v – орбитальная скорость вращения черных дыр. Оцените расстояние до сливающихся чёрных дыр, обнаруженных LIGO.
- 6.7.** Эксперимент LISA нацелен на измерение гравитационных волн от сталкивающихся сверхмассивных чёрных с большим космологическим красным смещением. Оцените, какой должна быть чувствительность LISA в единицах безразмерной деформации.



XXI Международная астрономическая олимпиада
XXI International Astronomy Olympiad

Болгария, Пампорово-Смолян

5 – 13. X. 2016

Pamporovo-Smolyan, Bulgaria

язык
language

Русский

Только для перевода.

Задачи практического тура

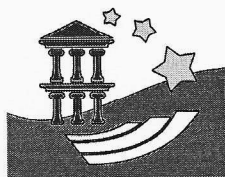
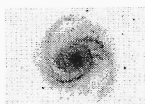
αβ-7. Начальная функция масс и сверхновые. Эволюция одиночной звезды зависит исключительно от её массы, поэтому масса является самым важным параметром звёзд. Считается, что распределение звёзд по их массе в момент рождения (известное также как *начальная функция масс*, Initial Mass Function – IMF) является универсальным.

На Рис.2 представлена начальная функция масс в логарифмической шкале в соответствии с двумя различными моделями. Данные наблюдения представлены в равных интервалах, вместе с ошибками. По оси Y показано относительное количество звёзд ($\Delta n / \Delta \lg M$) с заданной массой.

7.1. Скорость звездообразования в нашей Галактике примерно равна $\Delta M / \Delta t = 8 M_{\odot}$ в год. Звёзды с массой больше $8 M_{\odot}$ взрываются как сверхновые с гравитационным коллапсом ядра. Оцените частоту появления сверхновых с гравитационным коллапсом ядра в нашей Галактике (другими словами – как часто взрываются сверхновые данного типа в нашей Галактике).

Подсказка: Какова средняя начальная масса M_{SN} сверхновой? Какая часть q от общей массы образования звёзд участвует в формировании сверхновых ($0 < q < 1$)? Найдите ответы на эти вопросы, выполнив измерения на графике IMF на Рис.2.

7.2. Какова частота f (в единицах год^{-1}) появления непосредственно наблюдаемых сверхновых в Млечном Пути? Если эта частота существенно отлична от полученного Вами результата в 7.1., дайте этому объяснение путём изображения сути явления на схеме, а в случае необходимости также очень короткого текста (не более 20 слов).



XXI Международная астрономическая олимпиада
XXI International Astronomy Olympiad

Болгария, Пампорово-Смолян 5 - 13. X. 2016 Pamporovo-Smolyan, Bulgaria

ЯЗЫК	English
language	
ЯЗЫК	Русский
language	

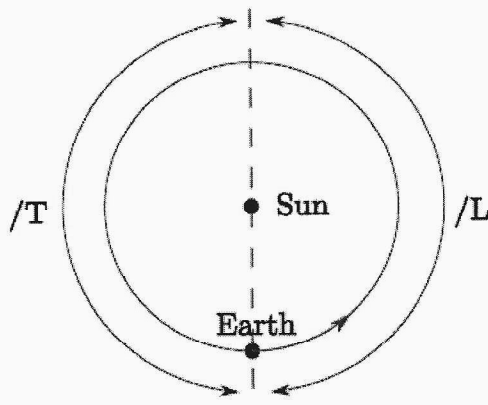
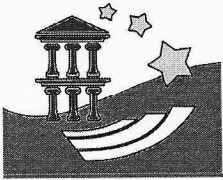
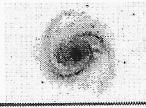


Fig.1. Рис.1.

N	Date (UT)	HR:MN	R. A.			DEC			T-mag	Delta	S-O-C	/r
1	2004-09-30	00:00	12	26	37.40	-02	35	00.4	33.12	6.485	0.271	/T
2	2005-01-29	18:00	13	28	32.58	-09	15	06.5	32.32	4.967	105.966	/L
3	2005-05-31	12:00	12	38	34.29	-04	26	57.7	31.77	4.493	120.555	/T
4	2005-09-30	06:00	13	29	55.02	-09	49	15.1	31.82	5.715	17.327	/T
5	2006-01-30	00:00	15	07	52.88	-18	16	04.6	30.60	4.419	80.257	/L
6	2006-05-31	18:00	14	28	41.00	-15	54	56.7	28.80	2.940	149.891	/T
7	2006-09-30	12:00	15	08	57.98	-18	38	54.3	28.09	3.884	42.866	/T
8	2007-01-30	06:00	18	31	38.72	-24	18	09.1	25.77	3.252	32.669	/L
9	2007-06-01	00:00	23	02	49.26	-07	42	38.0	21.35	1.464	86.189	/L
10	2007-09-30	18:00	03	31	15.59	+20	03	36.3	18.62	0.649	131.671	/L
11	2008-01-30	12:00	03	43	46.19	+21	38	57.9	23.18	1.616	108.756	/T
12	2008-05-31	06:00	06	55	11.41	+23	55	34.8	27.27	3.724	32.564	/T
13	2008-09-30	00:00	09	38	45.54	+15	09	48.2	29.09	4.234	45.116	/L
14	2009-01-29	18:00	09	57	24.96	+13	53	18.2	29.55	3.204	163.127	/L
15	2009-05-31	12:00	09	31	40.74	+15	30	19.4	31.20	4.845	70.213	/T
16	2009-09-30	06:00	11	04	18.66	+06	35	02.1	32.13	5.854	22.454	/L
17	2010-01-30	00:00	11	42	42.32	+02	32	28.1	31.90	4.447	134.801	/L
18	2010-05-31	18:00	10	57	35.25	+07	03	49.9	32.45	5.196	92.885	/T
19	2010-09-30	12:00	12	04	42.28	-00	18	36.2	33.00	6.407	5.875	/L
20	2011-01-30	06:00	12	58	53.76	-06	12	50.7	32.40	4.920	113.868	/L

Table 1. Таблица 1.



XXI Международная астрономическая олимпиада
XXI International Astronomy Olympiad

Болгария, Пампорово-Смолян 5 – 13. X. 2016 Pamporovo-Smolyan, Bulgaria

язык language	<u>English</u>
язык language	<u>Русский</u>

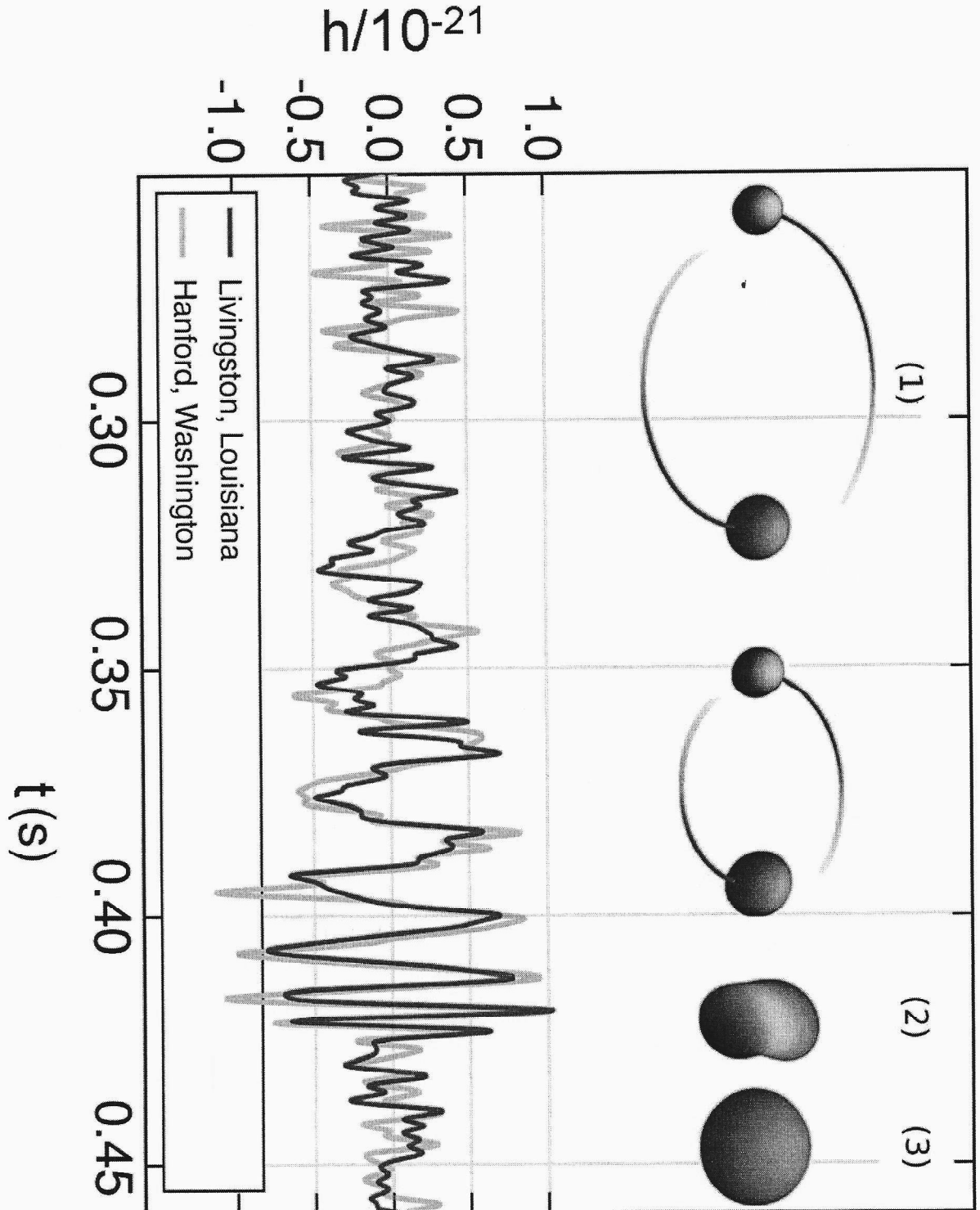
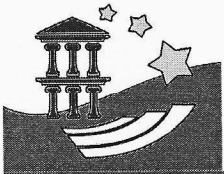
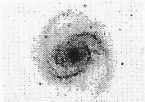


Fig.1. Рис.1.



XXI Международная астрономическая олимпиада
XXI International Astronomy Olympiad

Болгария, Пампорово-Смолян 5 - 13. X. 2016 Pamporovo-Smolyan, Bulgaria

язык	English
language	
язык	Русский
language	

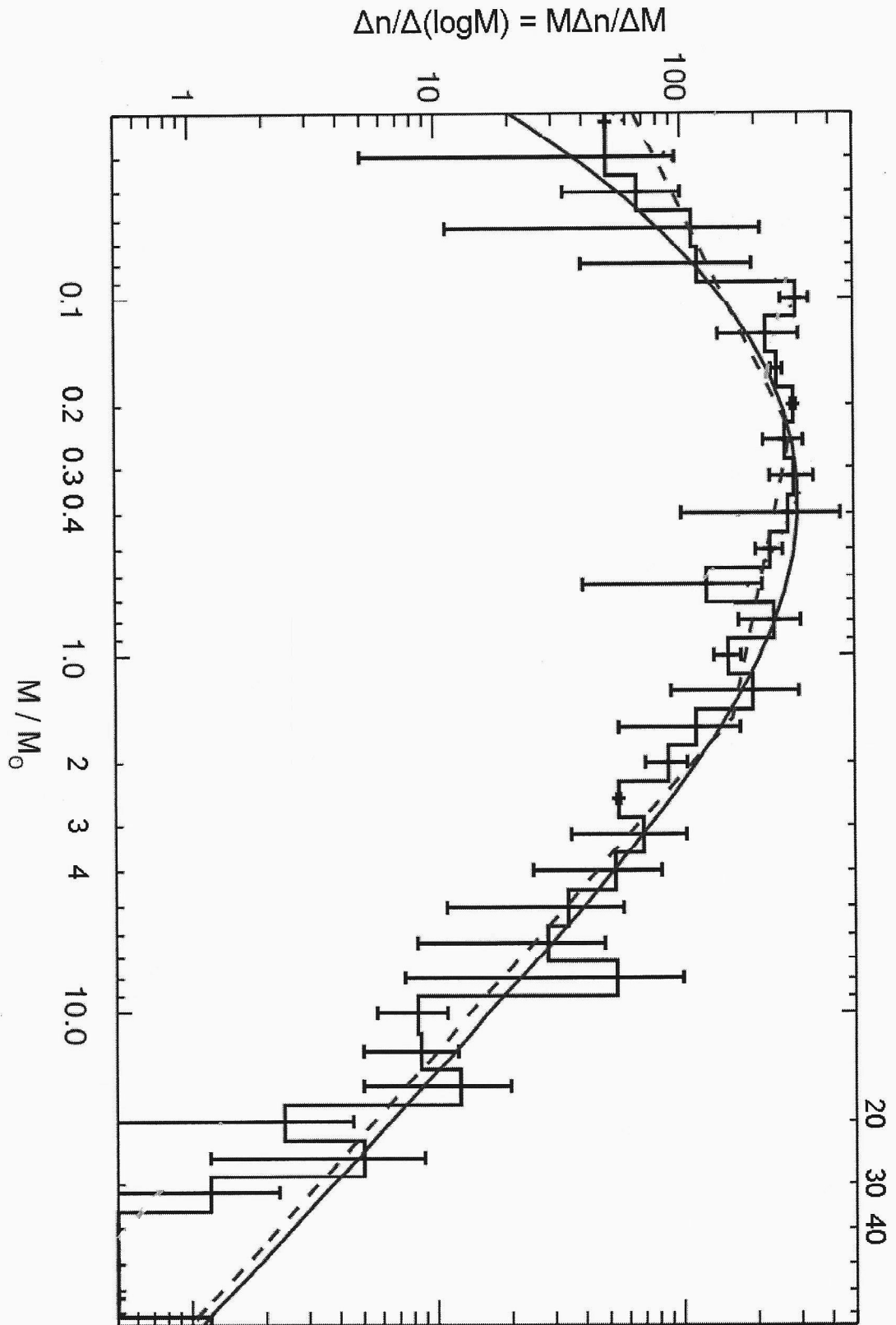


Fig.2. Рис.2.