

Зимние учебно-тренировочные сборы по астрономии

Практический тур

10 – 19 ноября 2016 года

Задача 1. Луна в небе

М.В. Кузнецов

Перед вами снимок Луны в телескоп (негатив изображения). Расстояние от Луны до Земли в момент наблюдения было 382605 км, а диаметр Луны 3474 км.



I. Определите:

1. Фазу Луны
2. Фазовый угол
3. Поле зрения телескопа

II. Укажите крестиками детали рельефа:

1. Море Влажности
2. Море Паров
3. Море Спокойствия

III. Обведите в кружки кратеры:

1. Тихо
2. Коперник
3. Платон

IV. Оцените поперечники этих кратеров.

Решение:

1. Фаза Луны определяется как отношение максимального размера по диаметру Луны освещенной части ко всему диаметру: $F = d_{\text{light}}/D$. Фазовый угол связан с фазой: $\varphi = \arccos(2F - 1)$.
2. Поле зрения телескопа и поперечники кратеров находятся из линейных соотношений между размерами и расстояниями. При оценке размеров кратеров необходимо учитывать их расположение на диске Луны: Тихо — 85 км, Коперник — 96 км, Платон — 101 км.

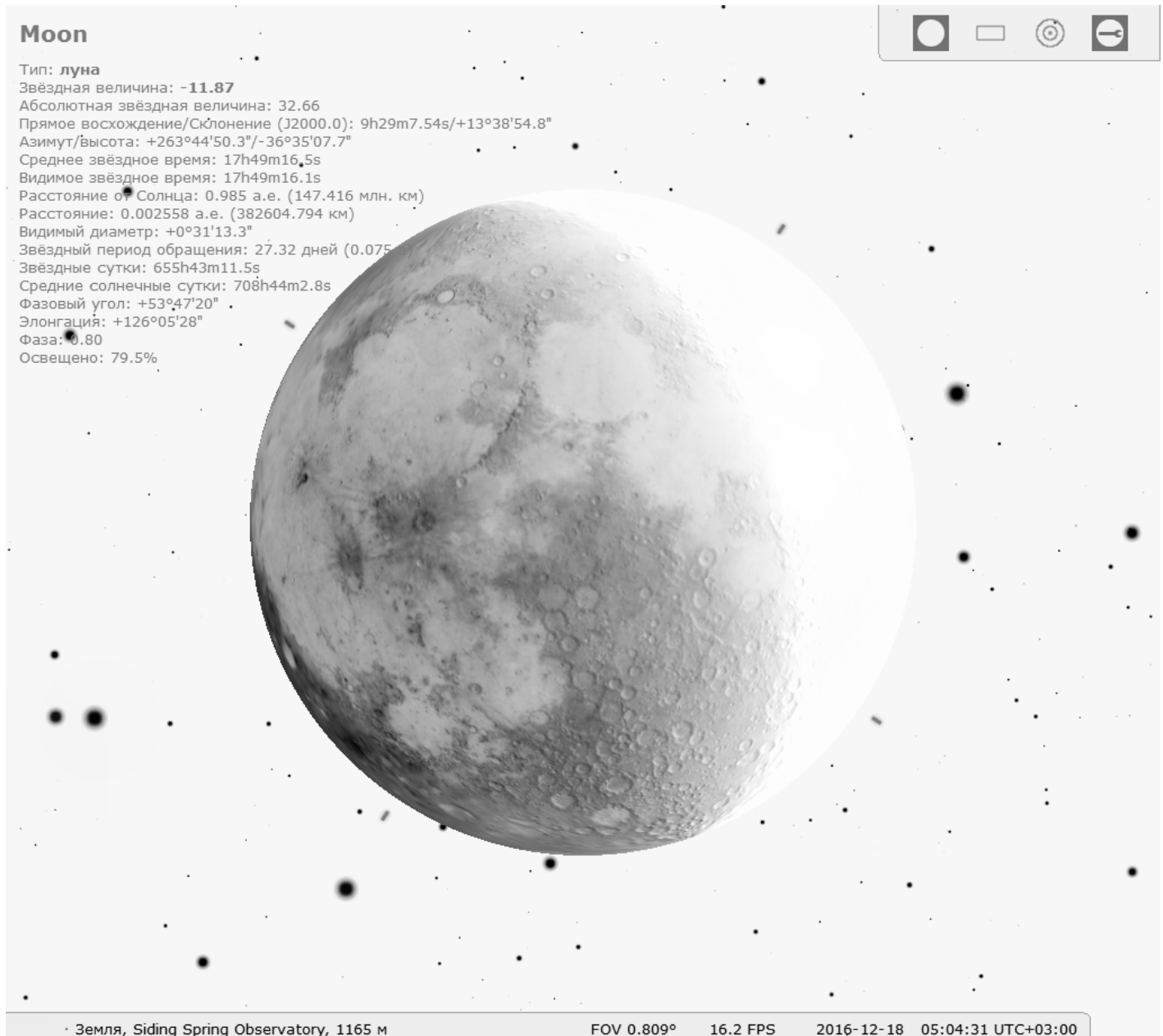
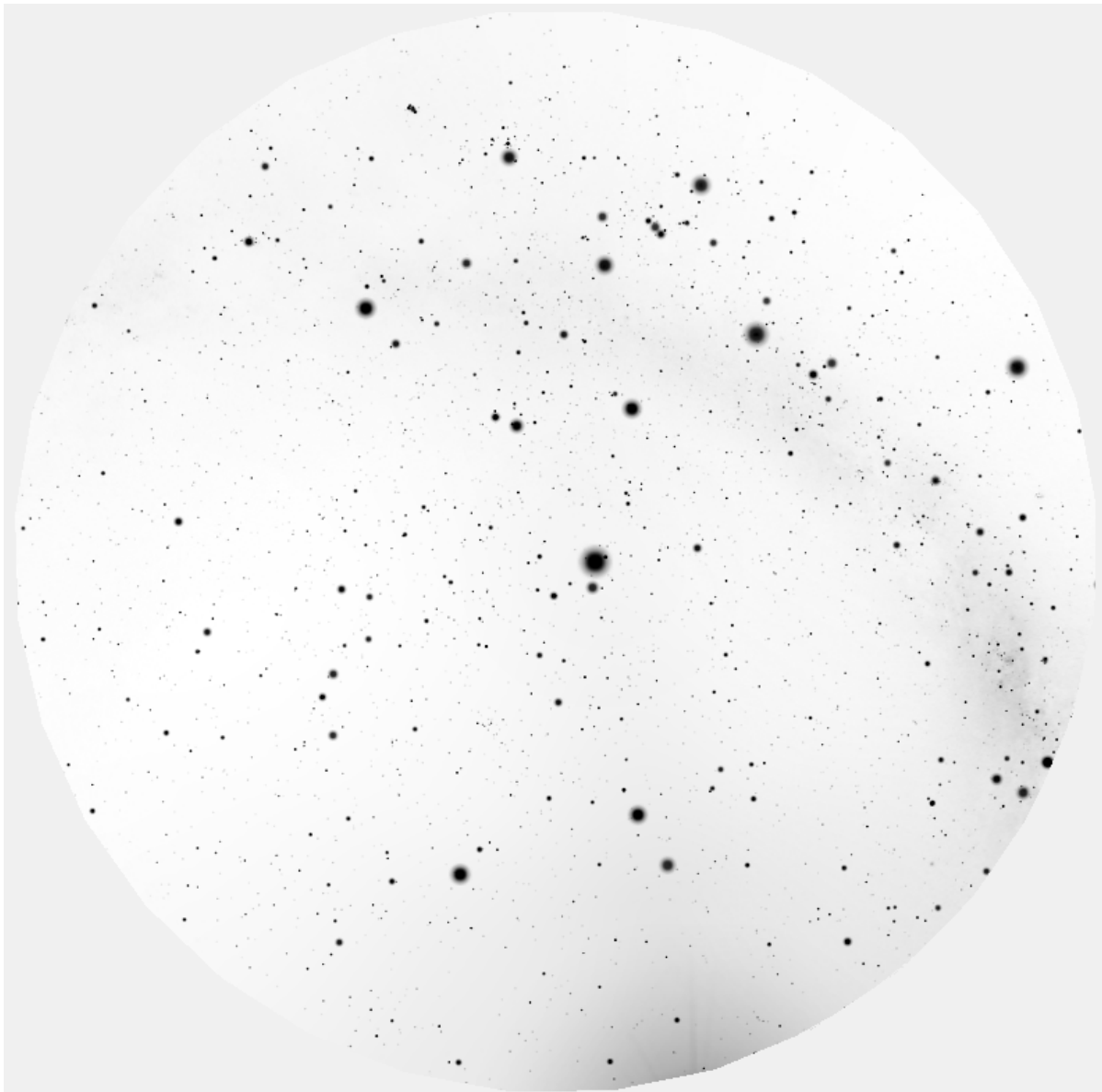


Рис. 1: Негатив фотографии Луны с ответами на первый блок вопросов

Задача 2. Карта всего неба

М.В. Кузнецов

Перед вами вид звездного неба на 5:40 среднего солнечного времени в стереографической проекции из некоторого пункта Земли.



I. Определите:

1. Широту места наблюдения
2. Дату наблюдения

II. Укажите и подпишите:

1. Стороны света
2. Небесный экватор
3. Эклиптика
4. Галактический экватор
5. Небесный меридиан

III. Обведите в кружки звёзды:

1. Арктур
2. Сириус
3. Канопус

IV. Обведите в квадратики и подпишите планеты и Луну, если они присутствуют на изображении.

V. Нарисуйте и подпишите контуры известных вам созвездий.

Решение:

Наблюдатель находится в Бхубанешваре (20° с.ш.), дата — 21 ноября 2016 года.

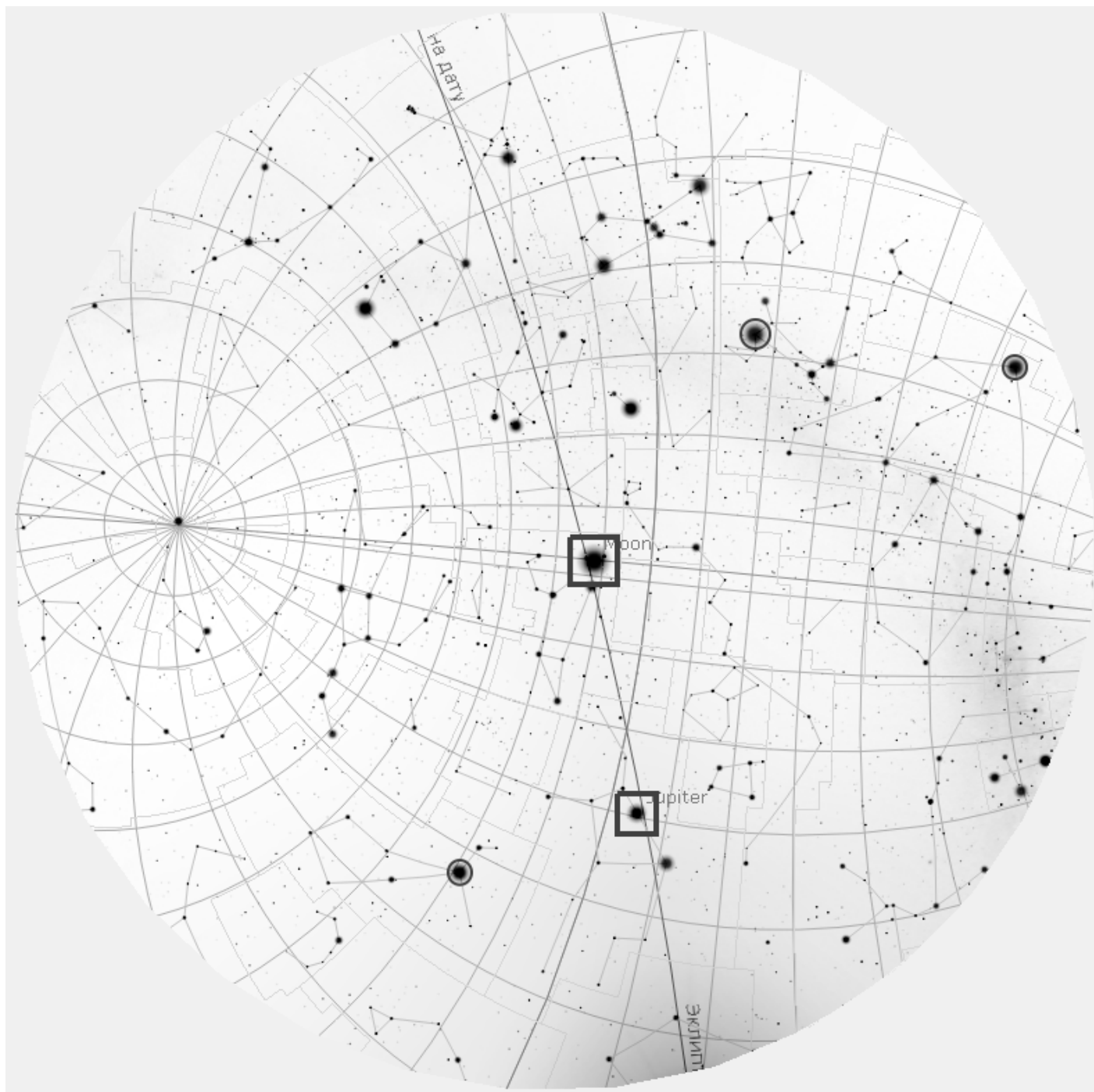
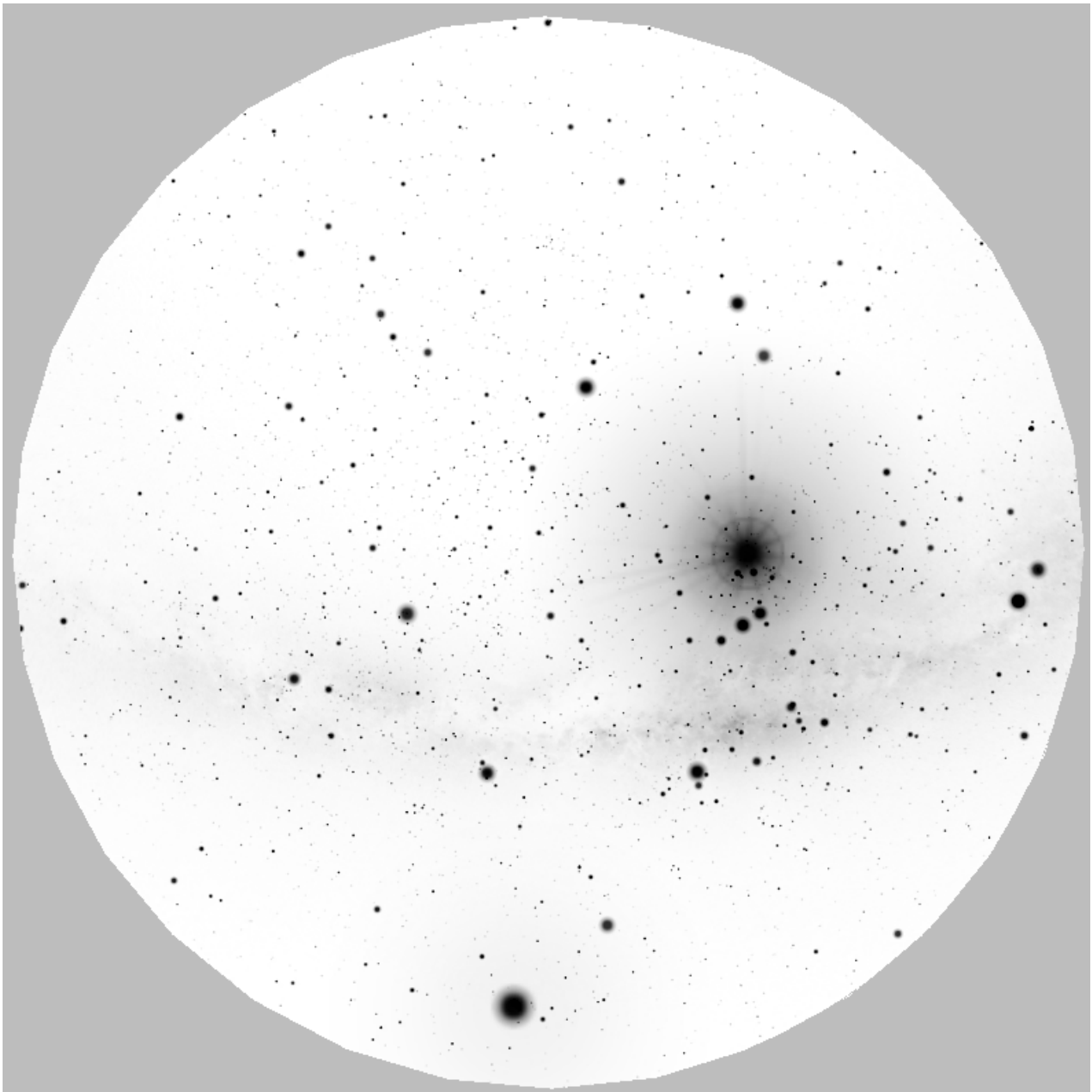


Рис. 2: Карта звёздного неба с необходимыми отметками

Перед вами вид звездного неба со спутника одной из больших планет солнечной системы в стереографической проекции.



I. Определите:

1. Спутником какой планеты является данное небесное тело
2. Фазу большой планеты
3. Широту и долготу места наблюдения

III. Обведите в квадратики и подпишите планеты и другие спутники, если они присутствуют на изображении.

II. Укажите и подпишите:

1. Стороны света
2. Небесный меридиан
3. Эклиптика
4. Галактический экватор
5. Положение северного полюса

IV. Нарисуйте и подпишите контуры известных вам созвездий.

Решение:

Наблюдатель находится на Луне (спутник Земли) в точке с селенографическими координатами $(+40^\circ; -70^\circ)$.
Фаза Земли — 0.46.

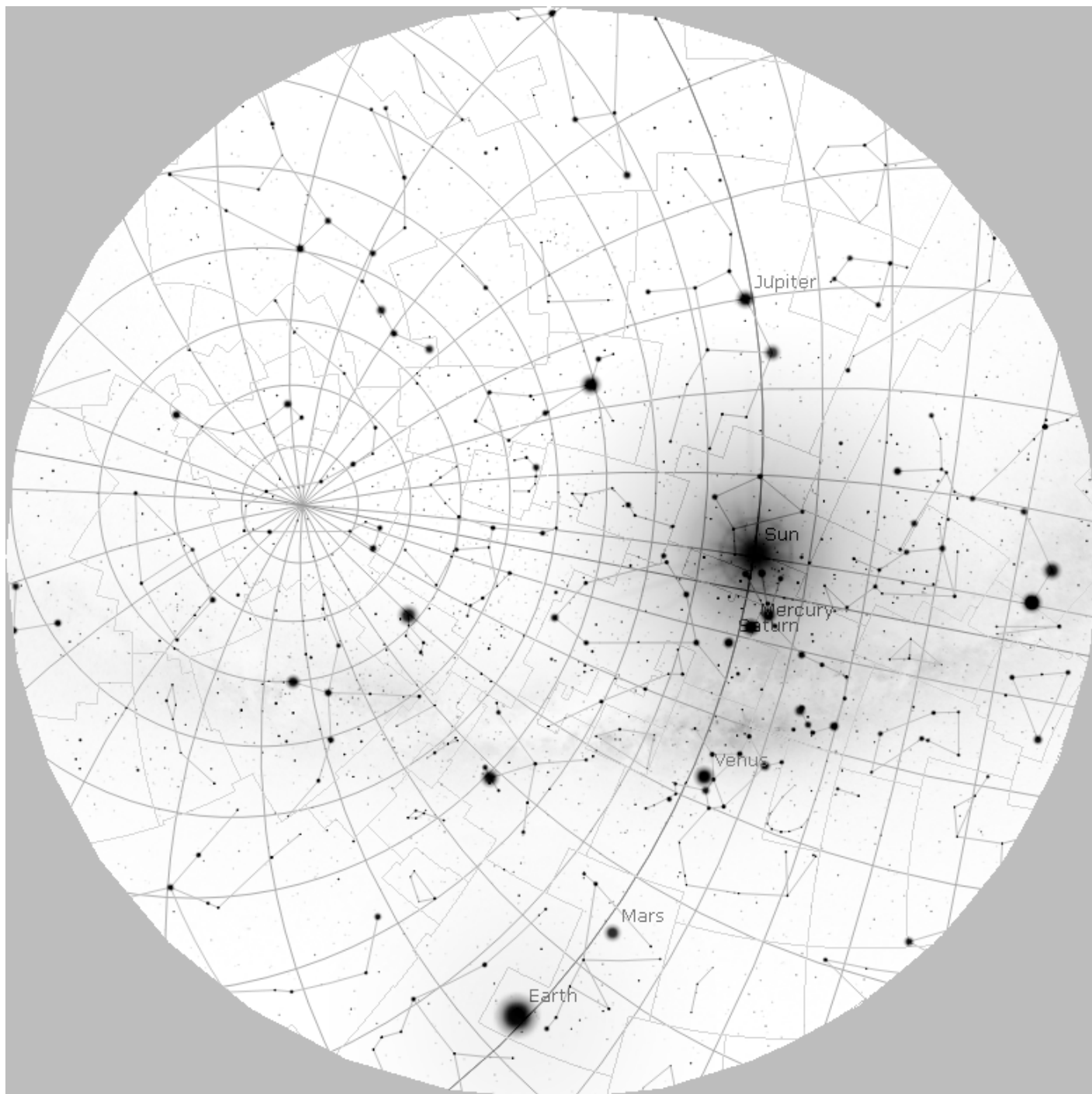
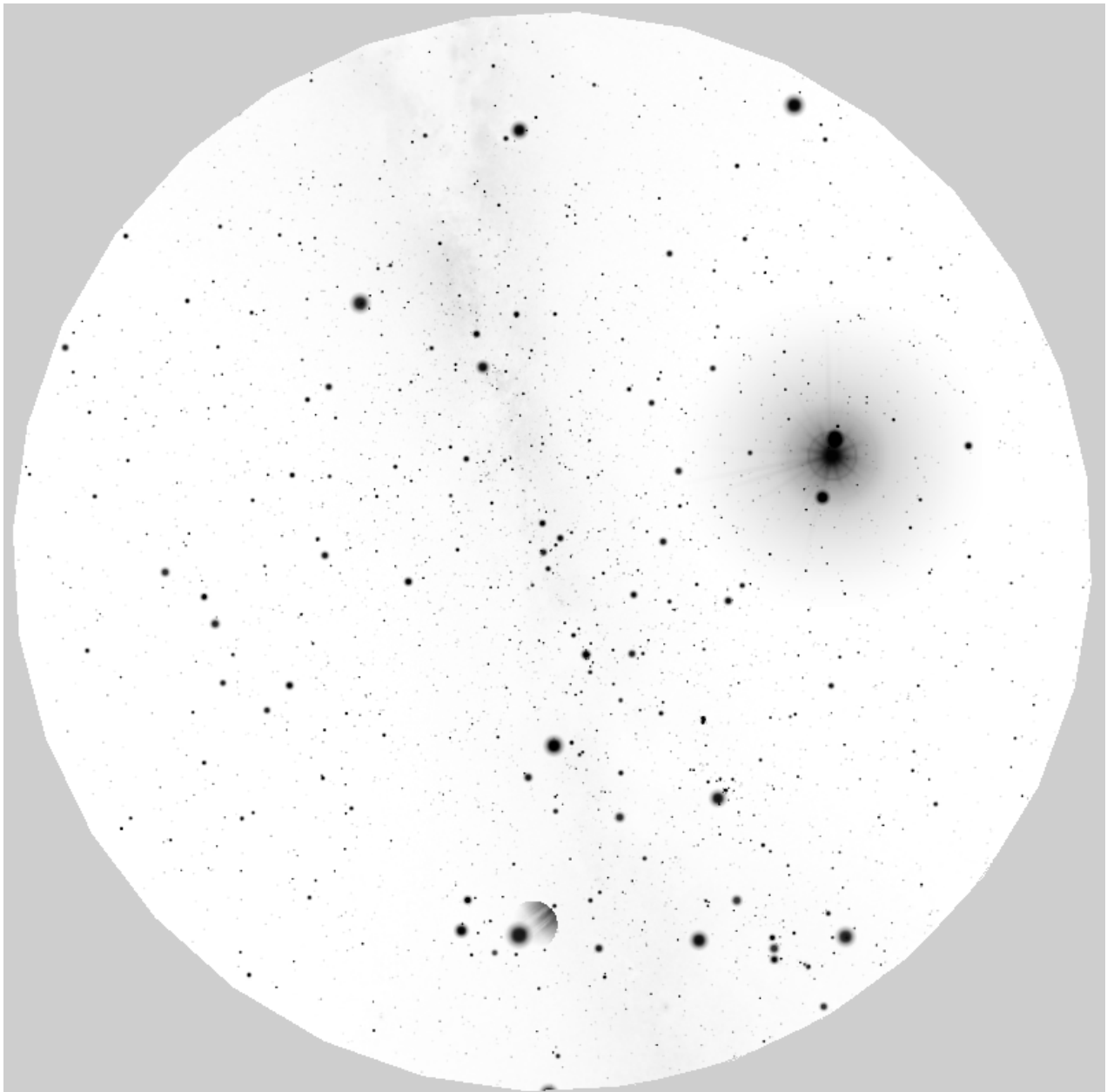


Рис. 3: Карта звёздного неба с необходимыми отметками

Перед вами вид звездного неба со спутника одной из больших планет солнечной системы в стереографической проекции.



I. Определите:

1. Спутником какой планеты является данное небесное тело
2. Фазу большой планеты
3. Широту и долготу места наблюдения

II. Укажите и подпишите:

1. Стороны света
2. Небесный меридиан
3. Эклиптика
4. Галактический экватор
5. Положение северного полюса

III. Обведите в квадратики и подпишите планеты и другие спутники, если они присутствуют на изображении.

IV. Нарисуйте и подпишите контуры известных вам созвездий.

Решение:

Наблюдатель находится на Ганимеде (спутник Юпитера) в точке с координатами $(+45^\circ; -60^\circ)$. Фаза Юпитера — 0.56.

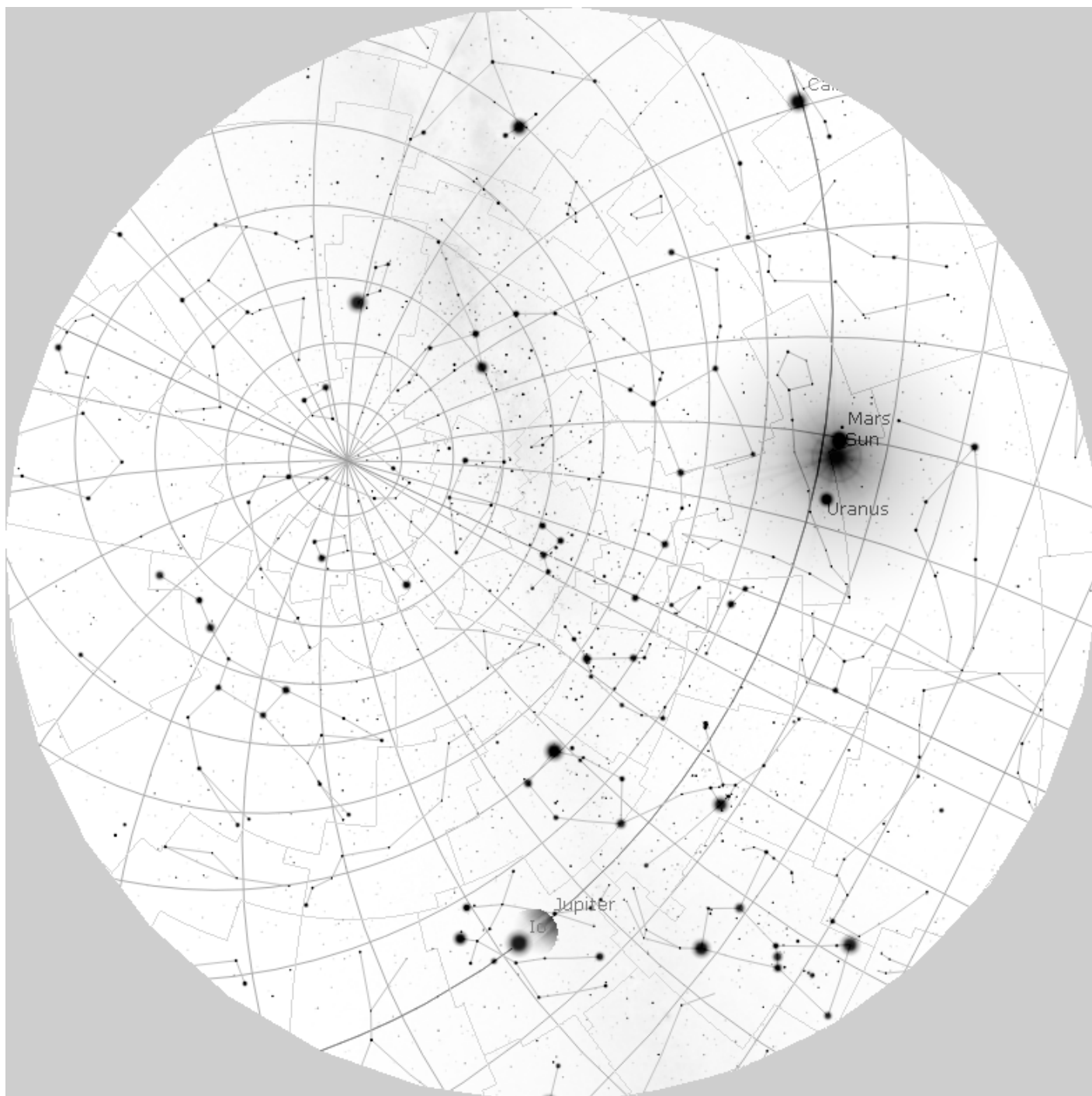


Рис. 4: Карта звёздного неба с необходимыми отметками

Перед вами снимок DSS галактики NGC 1300 — одной из самых ярких в скоплении Эридана. Угловой размер NGC 1300 — $10.96' \times 9.55'$, а модуль расстояния до неё составляет $30^m.81$.

Вдоль большой оси галактики направили длиннощелевой спектрограф и получили зависимость гелиоцентрической лучевой скорости V_r от углового расстояния x до центра галактики.

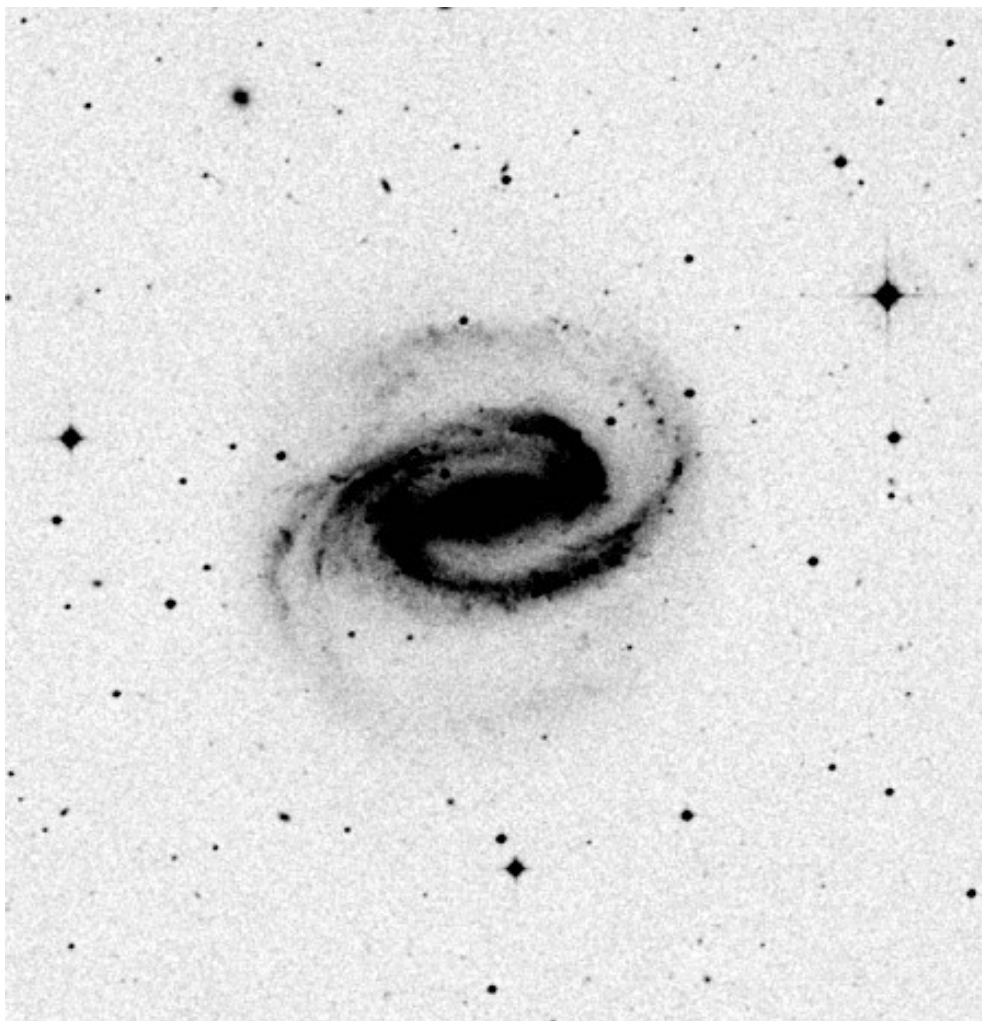
Задание:

1. Постройте графики зависимостей:

- (a) скорости вращения [км/с] от расстояния до центра галактики [кпк]
- (b) $\log_{10}(M/M_\odot)$ от расстояния до центра галактики [кпк], где $M(x)$ — масса вещества, заключённого внутри сферы радиуса x

2. Определите следующие параметры галактики:

- (a) лучевую скорость
- (b) красное смещение
- (c) угол наклона
- (d) линейный видимый диаметр
- (e) морфологический тип (по Хабблу)



Данные спектрографических измерений

$x, ''$	$V_r \pm \Delta V_r, \text{ км/с}$	$x, ''$	$V_r \pm \Delta V_r, \text{ км/с}$	$x, ''$	$V_r \pm \Delta V_r, \text{ км/с}$
−95.7	1707.8 1.5	−83.8	1703.0 2.7	−97.7	1700.2 0.9
134.0	1441.0 0.6	−151.1	1696.1 0.9	−93.7	1699.7 1.8
−87.8	1702.7 2.1	−89.8	1703.6 1.8	−91.7	1707.1 2.1
136.0	1454.8 0.6	124.1	1423.4 0.1	126.1	1419.0 0.3
−149.2	1687.0 0.6	132.0	1423.2 0.3	−99.7	1713.7 0.9
130.0	1446.0 0.3	137.9	1442.5 0.3	23.1	1431.3 0.1
−165.0	1702.4 0.3	−81.8	1692.7 3.0	−12.5	1667.0 0.3
33.0	1413.0 0.1	−163.0	1681.6 1.2	−85.8	1699.5 2.4
−161.0	1681.7 0.9	−153.1	1696.9 0.9	3.3	1508.5 1.2
−2.6	1651.8 2.7	−4.6	1651.2 2.7	−8.6	1673.1 1.5
−6.6	1656.6 2.4	5.3	1472.9 0.9	9.2	1441.6 0.3
−0.7	1613.0 1.8	1.3	1551.0 1.2	74.6	1446.7 0.9
88.4	1428.3 0.3	66.7	1431.2 0.3	68.6	1461.3 0.3
−70.0	1693.8 0.3	70.6	1450.3 0.3	78.5	1448.4 0.6
90.4	1420.2 0.3	72.6	1446.5 0.6	−10.6	1685.9 0.9
80.5	1452.0 0.9	82.5	1447.4 0.6	76.6	1446.4 0.9
−16.5	1699.8 0.3	84.5	1439.0 0.3	86.5	1435.9 0.3
−20.5	1695.7 0.3	−44.2	1660.5 0.3	−22.4	1682.6 0.3
−79.9	1681.6 2.4	−36.3	1686.0 0.3	−38.3	1684.4 0.3
−42.2	1654.7 0.3	−30.4	1676.0 0.3	−24.4	1688.6 0.3
−40.3	1698.4 0.1	−28.4	1680.7 0.3	−34.3	1697.3 0.3
−26.4	1689.2 0.3	−77.9	1686.2 1.8	−71.9	1666.1 0.3
−64.0	1661.6 0.3	−46.2	1682.6 0.3	−50.2	1660.8 0.1
−58.1	1679.6 0.3	−73.9	1679.7 0.6	−75.9	1681.2 0.9
−48.2	1653.7 0.3	−54.1	1643.9 0.3	−56.1	1664.1 0.3

Решение:

Сначала внимательно посмотрим на изображение. Галактика NGC 1300 — спиральная галактика с баром. Ветви сильно отходят от центра, так что её тип по расширенной (де Вокулёром) классификации Хаббла — SBbc (также можно было внимательно посмотреть в задание № 6 и взять тип оттуда. За классификацию галактики по классическому камертону Хаббла баллы *пока что* не снимались).

HUBBLE-DE VAUCOULEURS DIAGRAM

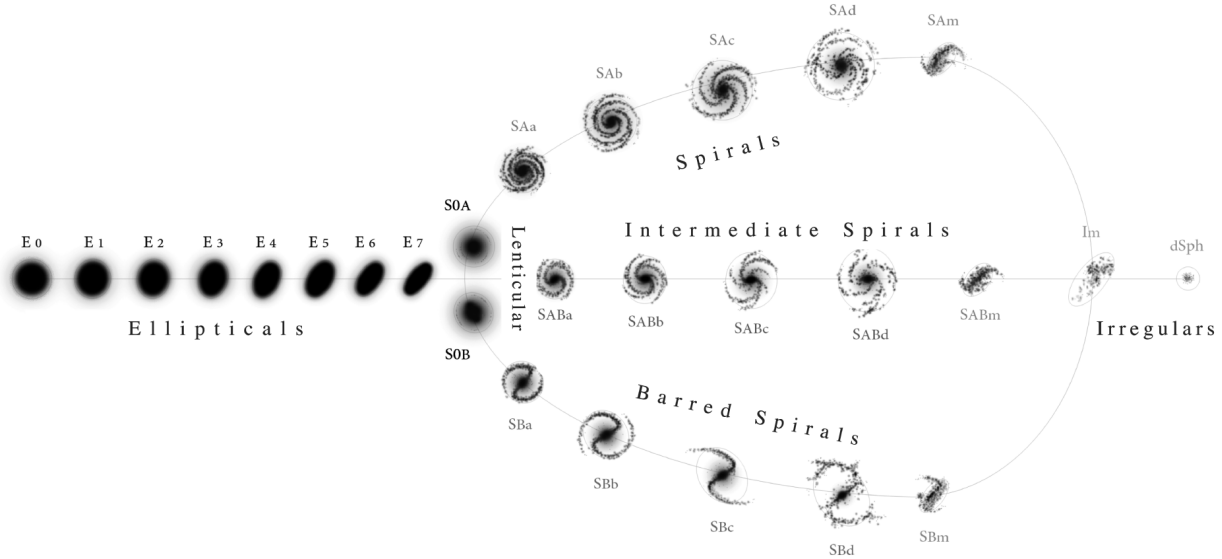


Рис. 5: Классификация Хаббла – де Вокулёра

По известному модулю расстояния можно найти линейное расстояние d до галактики:

$$m - M = 5 \lg d - 5 \Rightarrow d = 10^{0.2(m-M+5)} \simeq 14.5 \text{ Мпк.}$$

Лучевую скорость NGC 1300 можно получить так. Надо взять лучевые скорости областей галактики ближе ~ 1 кпк к центру и построить график зависимости скорости от расстояния, провести прямую (или применить метод МНК) и отсюда определить скорость для ядра. По сути, это будет прямое измерение лучевой скорости. Получим: $V_{r0} = 1566$ км/с. Красное смещение получается равным $z = V_{r0}/c = 0.0053$.

По известным угловым размерам и расстоянию можно найти линейные размеры галактики: диаметр получается равным 46 кпк. Спиральные галактики — это дисковые галактики. При проецировании диска на картинную плоскость, он становится эллипсом, большая полуось которого равна исходному диаметру диска. Следовательно, угол наклона ι выражается из соотношения видимых малого и большого диаметров галактики:

$$\sin \iota = \cos(90^\circ - \iota) = \frac{2b}{2a} = \frac{9.55}{10.96} = 0.87 \Rightarrow \iota \simeq 62^\circ.$$

Эту величину необходимо учитывать при построении графика зависимости скорости вращения от расстояния x до центра галактики (причем мы помним, что галактика NGC 1300 сама по себе движется относительно Солнца как целое со скоростью V_{r0}):

$$V_{\text{rot}}(x) = \frac{|V_{r0} - V_r(x)|}{\sin \iota}.$$

Скорость вращения является круговой скоростью в данной точке и определяется массой, заключенной в пределах данного радиуса: $M(x) = xV_{\text{rot}}^2(x)/G$. Осталось поделить данную величину на массу Солнца и взять десятичный логарифм.

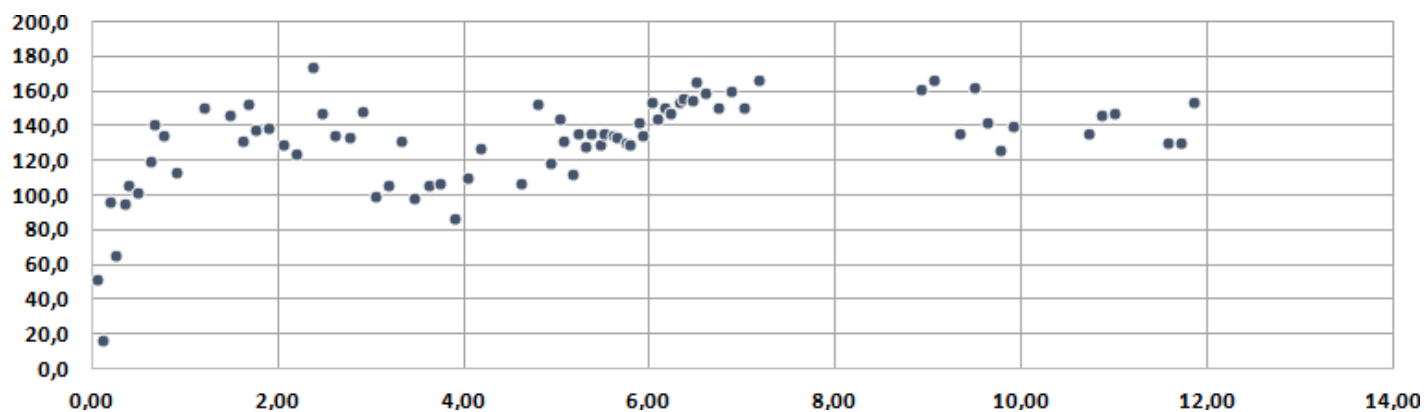


Рис. 6: Зависимость скорости вращения V_{rot} [км/с] от расстояния x до центра галактики [кпк]

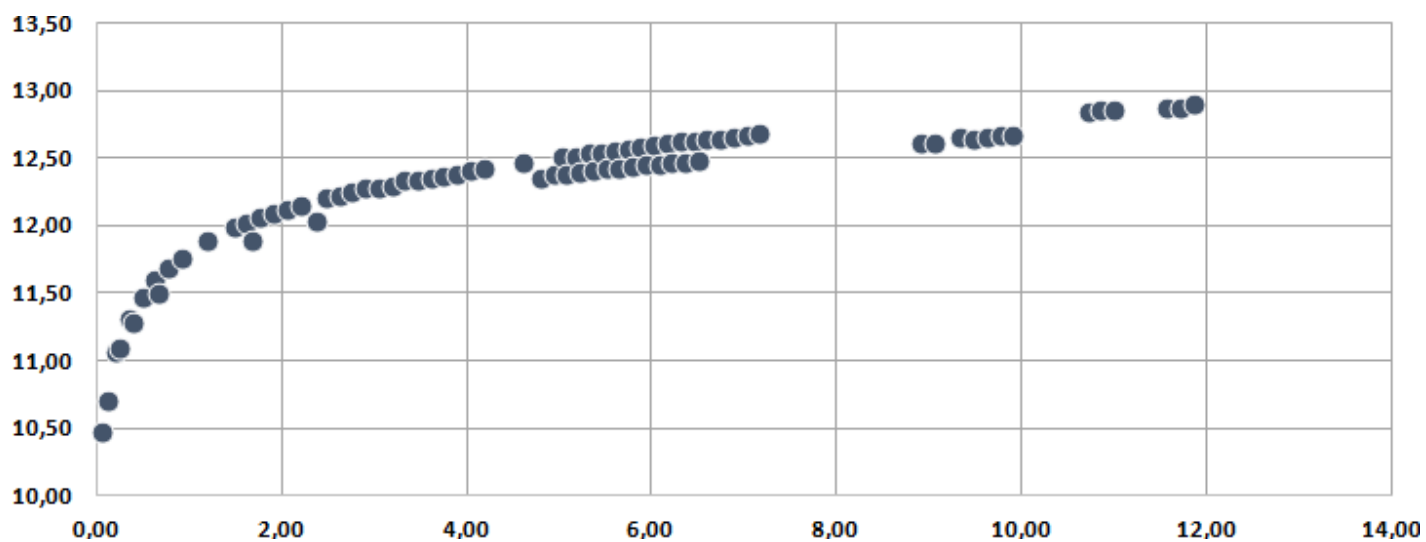


Рис. 7: Зависимость $\log_{10}(M/M_{\odot})$ от расстояния до центра галактики [кпк]

Перед вами таблица с данными наблюдений скопления галактик в созвездии Эридана, в которой приведены: каталожный номер, экваториальные координаты, видимая звездная величина в полосе В, тип галактики по классификации Хаббла, угловой и линейный размеры, а также лучевая скорость.

Задание:

1. Постройте:

- карту скопления
- минимальное поле зрения телескопа, вмещающее скопление целиком
- диаграмму распределения галактик по скоростям

2. Определите следующие параметры скопления:

- массу
- координаты центра
- скорость удаления
- красное смещение
- диаметр
- количество групп галактик (подобных Местной группе), входящих в его состав

Название	Координаты		m_B	Тип	Угловой размер '	Линейный размер тыс. св. лет	Лучевая скорость км/с
	RA h m	Dec ° '					
NGC 1398	3 38.9	-26 20	10.5	SBab	7.1	175	1289
NGC 1232	3 9.8	-20 35	10.7	SBc	6.9	170	1517
NGC 1395	3 38.5	-23 2	10.7	E	5.6	140	1577
NGC 1407	3 40.2	-18 35	10.9	E	5.1	125	1650
NGC 1300	3 19.7	-19 25	11.2	SBbc	6.0	150	1421
NGC 1332	3 26.3	-21 20	11.4	E	4.2	105	1383
NGC 1385	3 37.5	-24 30	11.5	SBc	3.7	90	1373
NGC 1371	3 35.0	-24 56	11.6	SBa	5.6	140	1344
NGC 1325	3 24.4	-21 33	12.3	SBbc	4.7	115	1446
NGC 1400	3 39.5	-18 41	12.3	E	2.3	60	415
NGC 1353	3 32.1	-20 49	12.4	SBb	3.5	85	1390
NGC 1439	3 44.8	-21 55	12.4	E	2.6	65	1577
IC 953	3 33.7	-21 29	12.7	SBc	2.6	65	1733
NGC 1426	3 42.8	-22 6	12.7	E	2.5	60	1296
NGC 1415	3 40.9	-22 34	12.8	Sa	3.3	80	1451
NGC 1440	3 45.0	-18 16	12.9	S0	2.2	55	1403
NGC 1452	3 45.4	-18 38	12.9	Sa	2.3	60	1619
NGC 1359	3 33.8	-19 29	13.0	SBm	2.1	55	1833
NGC 1438	3 45.3	-23 0	13.3	SBa	2.0	50	1438
ESO 549-18	3 48.2	-21 28	13.3	SBc	2.5	60	1473
NGC 1482	3 54.6	-20 30	13.3	S0	2.2	55	1753
NGC 1297	3 19.2	-19 6	13.5	E	2.0	50	1395
IC 952	3 33.4	-23 43	13.5	SBbc	2.5	60	1683
NGC 1325A	3 24.8	-21 20	13.6	SBcd	1.8	45	1188
IC 1898	3 10.3	-22 24	13.7	SBc	3.4	85	1164
NGC 1401	3 39.4	-22 43	13.7	S0	1.9	50	1406

Название	Координаты		m_B	Тип	Угловой размер '	Линейный размер тыс. св. лет	Лучевая скорость км/с
	RA h m	Dec ° '					
ESO 482-46	3 49.7	-27 0	13.7	Sc	3.5	90	1422
NGC 1377	3 36.7	-20 54	13.8	S0	1.7	45	1645
NGC 1383	3 37.7	-18 20	13.8	S0	1.7	40	1828
NGC 1258	3 14.1	-21 46	13.9	SBc	1.3	30	1340
NGC 1347	3 29.7	-22 17	13.9	SBc	1.4	35	1624
NGC 1370	3 35.2	-20 22	13.9	E	1.5	35	933
IC 346	3 41.7	-18 16	13.9	S0	1.9	45	1830
NGC 1315	3 23.1	-21 23	14.0	S0	1.5	35	1534
ESO 548-28	3 30.6	-17 56	14.0	S0	1.3	35	1360
ESO 548-47	3 34.7	-19 2	14.1	S0	2.5	60	1472
NGC 1403	3 39.2	-22 23	14.1	E	1.3	30	1751
NGC 1362	3 33.9	-20 17	14.2	S0	1.2	30	1085
ESO 548-44	3 34.3	-19 25	14.2	S0	1.3	35	1561
ESO 482-35	3 41.2	-23 50	14.2	SBab	1.8	45	1756
NGC 1422	3 41.5	-21 41	14.2	SBab	2.3	55	1514
NGC 1345	3 29.5	-17 47	14.3	SBc	1.4	35	1385
ESO 548-29	3 30.8	-21 3	14.3	SBbc	1.1	30	1175
IC 343	3 40.1	-18 27	14.3	S0	1.4	35	1730
ESO 548-68	3 40.3	-18 56	14.3	E	1.3	35	1636
ESO 548-33	3 32.5	-18 57	14.5	S0	1.3	35	1552
ESO 548-34	3 33.0	-21 5	14.6	SBc	1.1	30	1610
NGC 1414	3 41.0	-21 43	14.6	SBbc	1.6	40	1464
ESO 548-05	3 23.8	-19 45	14.7	SBm	1.5	35	1690
ESO 548-21	3 27.6	-21 14	14.7	SBd	2.0	50	1541
ESO 482-11	3 36.3	-25 36	14.7	Sbc	1.4	35	1469
NGC 1412	3 40.5	-26 52	14.7	S0	1.4	35	1675
IC 1962	3 35.6	-21 18	14.8	SBd	2.5	60	1670
ESO 548-79	3 41.9	-18 54	14.8	Sa	1.1	30	1914
ESO 482-17	3 37.7	-22 55	14.9	Sab	1.3	30	1330
NGC 1390	3 37.9	-19 0	14.9	SBa	1.3	35	1078
ESO 549-02	3 43.0	-19 1	14.9	SBm	1.3	30	988
ESO 548-25	3 29.0	-22 9	15.0	SBa	1.3	30	1542
ESO 548-63	3 39.6	-20 1	15.1	Sbc	1.4	35	1846
ESO 482-05	3 33.0	-24 8	15.2	SBcd	2.1	50	1783
ESO 548-65	3 40.0	-19 22	15.3	Sa	1.4	35	1102
ESO 482-49	3 52.4	-23 3	15.3	Sc	1.1	30	1377
ESO 548-70	3 40.7	-22 17	15.4	SBcd	1.6	40	1615
ESO 548-82	3 42.7	-17 30	15.4	Sbc	1.1	30	1590
ESO 481-30	3 29.6	-23 21	15.5	Scd	1.5	35	1504
ESO 548-16	3 26.0	-21 20	15.6	Scd	1.7	40	1977
ESO 549-06	3 43.6	-21 14	15.7	Irr	1.3	30	1490
ESO 548-32	3 32.3	-17 43	15.8	SBm	1.6	40	1815
ESO 482-32	3 40.7	-26 47	15.9	Irr	1.2	30	1621
ESO 547-20	3 13.0	-17 56	16.0	SBm	1.2	30	1825
ESO 547-12	3 9.6	-17 50	16.5	Scd	1.5	35	1837
ESO 547-09	3 6.0	-19 23	16.8	Irr	1.3	35	1509
PGC 12680	3 23.4	-19 17		Irr	1.3	30	1400

Решение:

Работу с данными необходимо начать с перевода координат каждой галактики в целые и дробные доли градуса. После этого рассчитаем положение центра скопления (в предположении его сферичности). Для этого необходимо взять среднее от координат по прямому восхождению и среднее по склонению. Эти величины будут соответствовать положению направления на центр скопления галактик:

$$\alpha = 53.6^\circ, \quad \delta = -21.3^\circ.$$

Теперь есть возможность построить карту скопления:

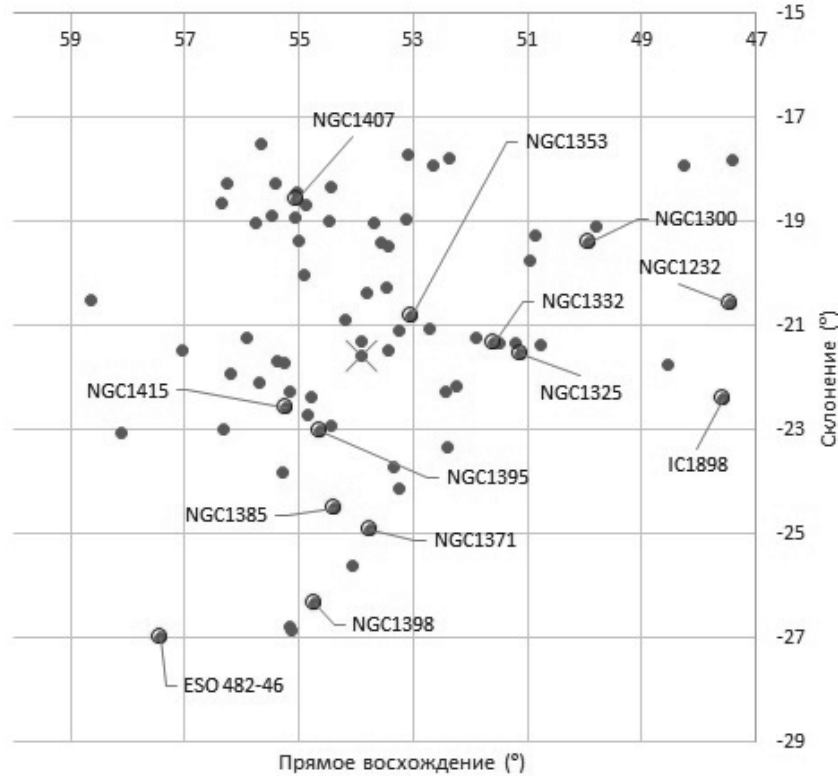


Рис. 8: Карта скопления галактик, кружочками отмечены наиболее крупные галактики

Скорость удаления скопления галактик Эридана можно найти как среднее значение всех лучевых скоростей галактик: $V_{GC} = 1502$ км/сек. Соответственно красное смещение скопления составит $z = \frac{V_{GC}}{c} = 0.005$.

Диаграмму распределения скоростей галактик можно построить, выбрав интервал максимальной (2000 км/с) и минимальной скоростей (900 км/с), а также небольшой шаг, например, в 50 км/с. Теперь просто подсчитываем какое количество галактик попадает в каждый интервал.

Вычислим угловое расстояние от центра скопления каждой галактики:

$$R_{deg,i} = \sqrt{\left(\frac{\alpha_i - \alpha_{GC}}{\sin \delta_{GC}}\right)^2 - (\delta_i - \delta_{GC})^2};$$

установим реальное расстояние до скопления галактик через закон Хаббла ($H_0 = 67$ (км/с)/Мпк):

$$D_{GC} \approx \frac{V_{GC}}{H_0} = 22.4 \text{ Мпк.}$$

Далее вычислим скорость движения каждой галактики без скорости самого скопления ($V_{r,i} = V_i - V_{GC}$) и рассчитаем средний квадрат этих скоростей: $\langle V_{r,i}^2 \rangle \approx 66000 \text{ (км/с)}^2$.

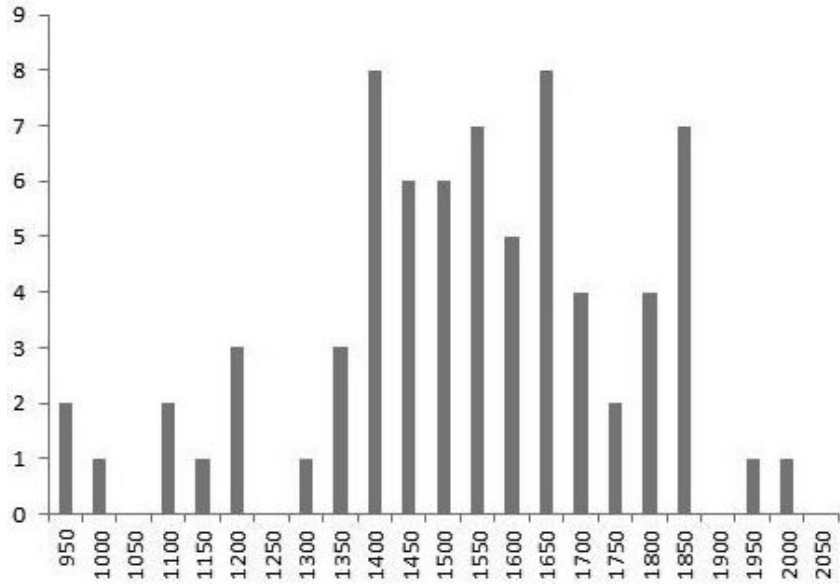


Рис. 9: *Распределение галактик по лучевым скоростям [км/с]*

Теперь воспользуемся теоремой вириала: для всякой гравитационно-связанной системы её средняя по времени потенциальная и гравитационная энергия связаны следующим соотношением:

$$U_G = -2E_K \Rightarrow M \approx \frac{\langle V^2 \rangle R}{G} \approx 4.3 \cdot 10^{13} M_{\odot},$$

где R — размер скопления в Эриданах. Для оценки массы можно считать, что скопление является сферическим, радиус этой сферы равен расстоянию в картинной плоскости (наибольшее расстояние от центра скопления, как видно из данных, до галактики ESO 547-09).

Чтобы подсчитать количество групп галактик, надо отметить и подписать на карте самые крупные галактики размером от 80 тыс. световых лет и более (на рисунке отмечены кружочками с пометками). Таких систем будет 13 штук. Далее можно определить масштаб: сколько Мпк приходится на 1° на небе на расстоянии скопления:

$$a \approx D_{GC} \sin 1^\circ \approx 0.4 \text{ Мпк}/^\circ.$$

Следовательно, Млечный путь с Туманностью Андромеды с такого расстояния разделял бы угол в 2° . Также необходимым условием должно быть наличие галактик-спутников меньшего размера. Теперь возможно выделить группы:

1. NGC1407 со спутниками
2. NGC1353 со спутниками
3. NGC1300 со спутниками
4. NGC1398 со спутниками
5. Близкая пара NGC1325 и NGC1332 со спутниками
6. Близкая пара NGC1395 и NGC1415 со спутниками
7. Близкая пара NGC1371 и NGC1385 со спутниками

Результаты:

1. Масса скопления $4.3 \times 10^{13} M_{\odot}$
2. Координаты центра скопления: $\alpha = 53.6^\circ$, $\delta = -21.3^\circ$
3. Скорость удаления скопления: $V_i = 1502 \text{ км/с}$
4. Красное смещение скопления: $z = V_{GC}/c = 0.005$
5. Количество групп галактик: 7