

BLR-3 A-2 C-1

BLR-3 A-2 C
Syrakvash Artsemi

Data Analysis

Data Analysis 2: Stars and Exoplanets

Cover sheet

Please return this cover sheet together with all the related question sheets.

DA2: Звёзды и экзопланеты (75 баллов)

Пожалуйста, прочитайте общие инструкции перед началом работы.

В этой задаче предстоит изучить зависимость между физическими характеристиками экзопланет и их материнских звёзд, используя данные наблюдений.

You may neglect interstellar extinction.

Часть 1 (20 баллов)

Название планеты	Название звезды	T_{eff} (K)	g (m/s ²)	m_v (magnitudes)	parallax (milliarcsec)
<i>Gorgona</i>	<i>HD 209458</i>	5980	347	7.63	20.67

Table 1: Observational data for exoplanet Gorgona and its parent star *HD 209458*

Эффективную температуру (T_{eff}) и гравитационное ускорение на поверхности звезды (g) можно определить по форме спектра и линиям поглощения в нём. Видимую звёздную величину (m_v) и параллакс измеряют методами фотометрии и астрометрии.

Для этой системы в ходе наблюдений установлено, что каждые 3.52 суток блеск звезды падает из-за прохождения планеты по её диску. Вот кривая блеска:

1.1

20.0pt

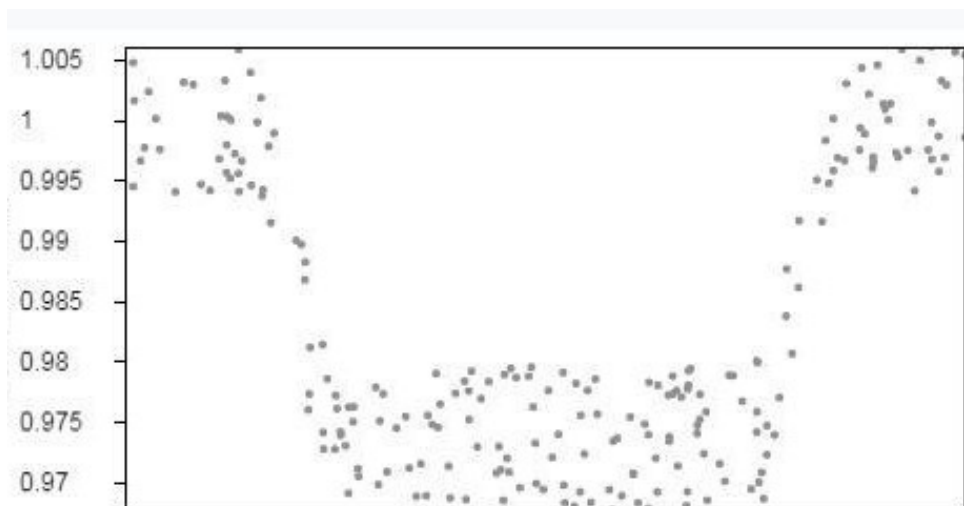


Рис. 1: Нормализованный поток (y-axis) в зависимости от времени (x-axis) для HD 209458

Используя данную информацию, рассчитайте следующие величины для HD 209458:

Светимость звезды	Радиус звезды	Масса звезды	Средний радиус орбиты планеты	Радиус планеты (в радиусах Юпитера)
L_* [L_\odot]	R_* [R_\odot]	M_* [M_\odot]	a [au]	R_p [R_J]

Указание: считайте, что болометрическая поправка для всех звёзд классов F и G-type одинаковая.

Часть 2 (25 баллов)

Зона жизни определяется как область, при нахождении в которой планета может иметь жидкую воду на поверхности. Границы зоны определяются в основном количеством энергии, которую планета получает от материнской звезды и которая должна находиться в некотором диапазоне для обеспечения приемлемых температур на поверхности планеты.

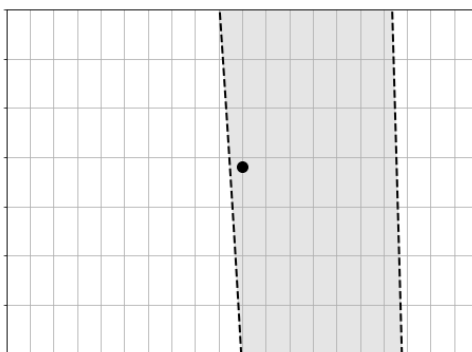
Определим эффективный поток энергии, которую планета получает от звезды, как $S_{eff} = \frac{L}{a^2}$, где L — светимость звезды в светимостях Солнца, a — средний радиус орбиты планеты в аи. Минимальный поток в зоне жизни определяется по формуле $S_{min} = S_{eff_\odot} + n \cdot T_* + b \cdot T_*^2 + c \cdot T_*^3 + d \cdot T_*^4$, где $T_* = (T_{eff} - T_{eff_\odot})$ и S_{eff_\odot} — эффективный поток в случае если материнскую звезду заменить Солнцем. Коэффициенты n, b, c, d приведены в таблице ниже. Максимальный поток в зоне жизни S_{max} определяется по той же формуле, но с другими коэффициентами:

Коэффициент	S_{max}	S_{min}
$S_{eff\odot}$	1.0512	0.3438
n	1.3242×10^{-4}	5.8942×10^{-5}
b	1.5418×10^{-8}	1.6558×10^{-9}
c	-7.9895×10^{-12}	-3.0045×10^{-12}
d	-1.8328×10^{-15}	-5.2983×10^{-16}

В следующей таблице представлены данные для 7 реальных экзопланетных систем, однако названия планет заменены на названия заповедных районов Колумбии:

Характеристики звезды		Характеристики планеты	
T_{eff} [K]	M_V [mag]	Название	a [au]
6180	3.68	Tayrona	0.04
5730	3.87	Iguaque	0.04
5980	4.21	Gorgona	0.04
5480	6.04	Amacayacu	0.08
5770	3.48	Malpelo	0.05
6130	3.07	Pisba	0.03
6140	3.85	Tatamá	0.06

- 2.1** На графике вертикальная ось соответствует эффективной температуре материнских звёзд, горизонтальная — эффективному потоку, который от них получают экзопланеты. Точкой отмечено положение Земли, а штриховые линии ограничивают зону жизни. 15.0pt



Оцифруйте оси графика у каждой отметки. Отметьте на этом графике положения Gorgona и Amacayacu, если бы они находились на расстоянии 1 au от их материнских звёзд.

- 2.2** Теперь используя реальный радиус орбиты для каждой из планет, определите (представив убедительные вычисления на *working sheets*), находится ли каждая из них в зоне жизни, и заполните таблицу: 10.0pt

Название планеты	В зоне жизни? YES / NO
Tayrona	
Iguaque	
Gorgona	
Amacayacu	
Malpelo	
Pisba	
Tatamá	

Часть 3 (30 баллов).

На последней странице приведена таблица с данными о 38 экзопланетах. Ваша задача — определить, различаются ли характеристики звёзд, вокруг которых обращаются маломассивные экзопланеты (LME) и экзопланеты большой массы (HME).

- 3.1** Чтобы получить надёжную подвыборку LME, применим метод итеративной сигма-отсечки. Идея метода состоит в том, что после вычисления среднего (μ) и стандартного отклонения (σ) на выборке из неё исключаются точки со значениями больше $\mu + \sigma$. Эту процедуру необходимо провести три раза. Оставшиеся экзопланеты отнесём к LME (маломассивным), исключённые в процессе — к HME. Заполните таблицу: 10.0pt

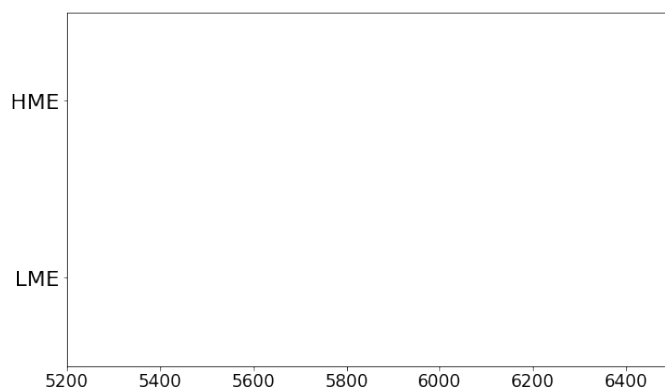
Выборка	Размер выборки	μ	σ	$\mu + \sigma$	Кол-во исключённых планет
Полная (исходная)	38				
Подвыборка после 1-й итерации					
Подвыборка после 2-й итерации					
Подвыборка после итоговой итерации		—	—	—	—

- 3.2** Постройте график, отложив по оси x номер планеты в списке, а по оси y — её массу. Проведите на графике 3 горизонтальные линии, соответствующие ранее определённым отсечкам $\mu + \sigma$. 5.0pt

- 3.3** В данной части исследуйте возможные различия в **эффективной температуре** материнских звезд обеих групп, рассчитав следующие статистические величины: 10.0pt

	Минимум	1-й квартиль	Медиана 2-й квартиль	3-й квартиль	Максимум
LME					
HME					

- 3.4** Нарисуйте box-плоты по результатам проведённых вычислений. Наблюдается ли заметное различие температур звёзд для LME и HME? Напишите YES или NO. 5.0pt



Связь температуры материнской звезды (K) с типом планеты

Data Analysis



BLR-3 A-2 Q-7

Q2-7

BLR (Belarus)

No.	Название планеты	Масса планеты $[M_J]$	T_{eff} материнской звезды
-----	------------------	-----------------------	------------------------------

1	KEPLER-37 b	0.01	5520
2	KEPLER-21 b	0.02	6256
3	HD 97658 b	0.02	5468
4	HD 46375 b	0.23	5345
5	HD 219134 h	0.28	5209
6	HD 88133 b	0.30	5582
7	HD33283 b	0.33	5877
8	HD 149026 b	0.36	6096
9	BD-10 3166 b	0.46	5578
10	HD 75289 b	0.47	6196
11	HD 217014 b	0.47	5755
12	HD 2638 b	0.48	5564
13	WASP-13 b	0.49	6025
14	WASP-34 b	0.59	5771
15	HD 209458 b	0.69	5988
16	HAT-P-30 b	0.71	6177
17	WASP-76 b	0.92	6133
18	WASP-74 b	0.97	5727
19	HAT-P-6 b	1.06	6442
20	HD189733 b	1.14	5374
21	WASP-82 b	1.24	6257
22	KELT-7 b	1.29	6460
23	HD 149143 b	1.33	6067
24	KELT-3 b	1.42	6404
25	KELT-2A b	1.49	6164
26	HD86081 b	1.50	6015
27	HAT-P-7 b	1.74	6270
28	HD 118203 b	2.14	5847
29	HAT-P-14 b	2.20	6490
30	WASP-38 b	2.71	6178
31	HD17156 b	3.20	5985
32	KELT-6 c	3.71	6176
33	HD 75732 d	3.86	5548
34	HD 115383 b	4.00	5891
35	HD 120136 b	5.84	6210
36	WASP-14 b	7.34	6195
37	HAT-P-2 b	8.74	6439
38	XO-3 b	11.79	6281

Data Analysis 2: Stars and Exoplanets (75 points)

Please read the general instructions in the separate envelope before you start this problem.

In this problem, we will explore the connection between the physical properties of exoplanets and their host stars and will use the observational data to discover as much as possible about these systems. You may neglect interstellar extinction.

Part 1 (20 points).

Name of planet	Name of star	T_{eff} (K)	g (ms^{-2})	m_v (magnitudes)	parallax (milliarcsec)
<i>Gorgona</i>	<i>HD 209458</i>	5980	347	7.63	20.67

Table 1: Observational data for exoplanet Gorgona and its parent star *HD 209458*

The effective temperature (T_{eff}) and the gravitational acceleration in the surface of the star (g) can be measured from the shape of the spectrum and its absorption lines. The visual apparent magnitude (m_v) and parallax are measured by doing photometry and astrometry, respectively.

Additionally, it has been observed that every 3.52 days the brightness of the star drops due to the transit of the planet in front of it, as it is represented in this lightcurve:

1.1

20.0pt

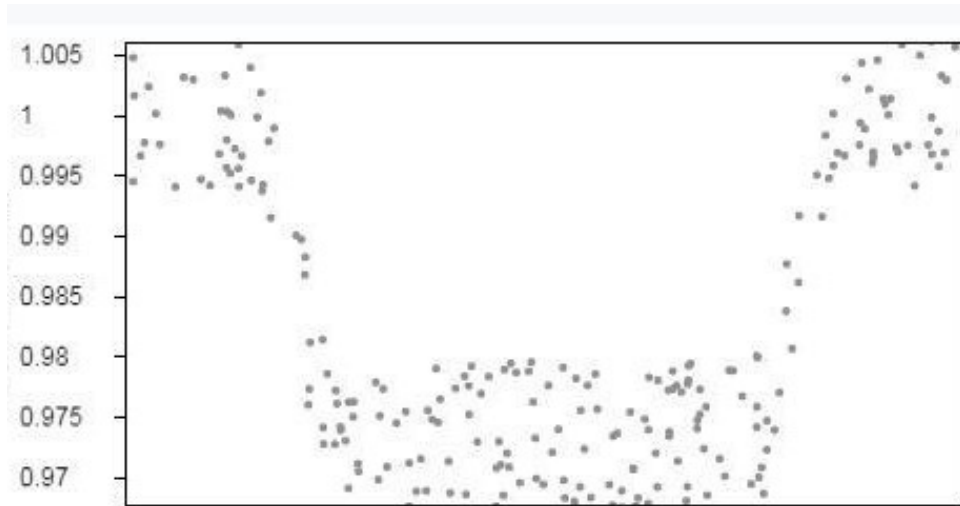


Figure 1: Normalized Flux (y-axis) against time (x-axis) for the parent star HD 209458

Use the given information to calculate the following quantities for the HD 209458 system:

Luminosity of the star	Radius of the star	Mass of the star	Mean planet's orbital radius	Radius of the planet in Jupiter's radius
L_* [L_\odot]	R_* [R_\odot]	M_* [M_\odot]	a [au]	R_p [R_J]

Note: Assume that the bolometric correction for all F and G type stars is the same.

Part 2 (25 points).

The habitable zone is defined as the region in which a planet may have liquid water on its surface. This is mainly related to the amount of radiation received from the host star, which must be within some limits to ensure a favorable range of planet surface temperatures.

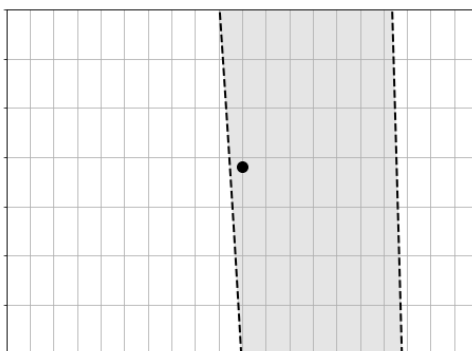
We define the effective flux received by a planet as $S_{eff} = \frac{L}{a^2}$, where L is the star luminosity in solar units, and a is the mean orbital radius in au. The minimum flux in the habitable zone can be approximated by $S_{min} = S_{eff_\odot} + n \cdot T_* + b \cdot T_*^2 + c \cdot T_*^3 + d \cdot T_*^4$, where $T_* = (T_{eff} - T_{eff_\odot})$, and S_{eff_\odot} is the equivalent flux for the case of the Sun, which along with the coefficients n , b , c , d is given in the following table. The maximum flux for habitability, S_{max} , is found with the same equation but different constants:

Constant	S_{max}	S_{min}
$S_{eff\odot}$	1.0512	0.3438
n	1.3242×10^{-4}	5.8942×10^{-5}
b	1.5418×10^{-8}	1.6558×10^{-9}
c	-7.9895×10^{-12}	-3.0045×10^{-12}
d	-1.8328×10^{-15}	-5.2983×10^{-16}

The table below gives real data for 7 different star-planet systems. However planet names have been changed to honour some natural sanctuaries in Colombia:

Stellar Parameters		Planet Parameters	
$T_{eff} [K]$	$M_V [mag]$	Name	$a[au]$
6180	3.68	Tayrona	0.04
5730	3.87	Iguaque	0.04
5980	4.21	Gorgona	0.04
5480	6.04	Amacayacu	0.08
5770	3.48	Malpelo	0.05
6130	3.07	Pisba	0.03
6140	3.85	Tatamá	0.06

- 2.1** In the following figure, the vertical axis represents the effective temperature of stars, and the horizontal axis represents the effective flux received by orbiting planets. The dot marked on the graph represents planet Earth, and dashed lines mark the limits of the habitable zone. 15.0pt



Put numerical labels at tickmark position on both axes. Draw on the same figure the exact position where Gorgona and Amacayacu would be, as if they were also located at 1 au from their corresponding stars.

- 2.2** Now considering the real orbital radius given in the table for each planet, indicate with YES or NO which of them are in the habitable zone. Show your quantitative reasoning on the working sheets. 10.0pt

Planet's Name	In habitable zone? YES / NO
Tayrona	
Iguaque	
Gorgona	
Amacayacu	
Malpelo	
Pisba	
Tatamá	

Part 3 (30 points).

In the last page you find a list of 38 exoplanets, and the goal is to find out if low-mass exoplanets (LME) and high-mass exoplanets (HME) tend to orbit around stars with different characteristics.

- 3.1** To get a robust low-mass subsample one can apply a technique called “iterative sigma-clipping”. The idea is to compute the mean (μ) and the standard deviation (σ) of the masses and to exclude from the sample, those planets with masses above $\mu + \sigma$. Then repeat the same steps with the remaining subsample two more times. We will say that planets in the final subsample are the low-mass ones, and those excluded during the iterations, the high-mass ones. Fill the following table with the numbers you find in the process: 10.0pt

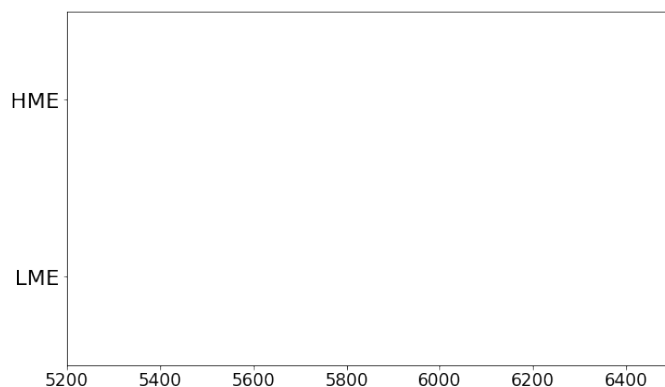
Low-mass sample	Sample size	μ	σ	$\mu + \sigma$	No. of planets to exclude
Full / Original	38				
subsample after 1st iteration					
subsample after 2nd iteration					
subsample after final iteration		---	---	---	---

- 3.2** Make a plot using the X-axis for the serial number of the planets in the list (1, 2, 3, ...), and the Y-axis for the mass of the planets. Mark 3 horizontal lines at the $\mu + \sigma$ thresholds you found in the iterations: 5.0pt

- 3.3** Let's investigate the possible difference in the effective temperatures of host stars in both groups, computing some descriptive statistics: 10.0pt

	Min.	1st Quartile	Median 2nd quartile	3rd Quartile	Max
LME					
HME					

- 3.4** Draw boxplots summarizing the numbers you just computed. Do you see a clear difference in the temperatures of the stars orbited by low-mass and high-mass planets? Write YES or NO. 5.0pt
- clear difference in the temperatures of the stars orbited by low-mass and high-mass planets? Write YES or NO.



Planetary type vs host star temperature (K)

No.	Name of Planet	Planet Mass [M_J]	T_{eff} of the Host Star
-----	----------------	-----------------------	----------------------------

1	KEPLER-37 b	0.01	5520
2	KEPLER-21 b	0.02	6256
3	HD 97658 b	0.02	5468
4	HD 46375 b	0.23	5345
5	HD 219134 h	0.28	5209
6	HD 88133 b	0.30	5582
7	HD33283 b	0.33	5877
8	HD 149026 b	0.36	6096
9	BD-10 3166 b	0.46	5578
10	HD 75289 b	0.47	6196
11	HD 217014 b	0.47	5755
12	HD 2638 b	0.48	5564
13	WASP-13 b	0.49	6025
14	WASP-34 b	0.59	5771
15	HD 209458 b	0.69	5988
16	HAT-P-30 b	0.71	6177
17	WASP-76 b	0.92	6133
18	WASP-74 b	0.97	5727
19	HAT-P-6 b	1.06	6442
20	HD189733 b	1.14	5374
21	WASP-82 b	1.24	6257
22	KELT-7 b	1.29	6460
23	HD 149143 b	1.33	6067
24	KELT-3 b	1.42	6404
25	KELT-2A b	1.49	6164
26	HD86081 b	1.50	6015
27	HAT-P-7 b	1.74	6270
28	HD 118203 b	2.14	5847
29	HAT-P-14 b	2.20	6490
30	WASP-38 b	2.71	6178
31	HD17156 b	3.20	5985
32	KELT-6 c	3.71	6176
33	HD 75732 d	3.86	5548
34	HD 115383 b	4.00	5891
35	HD 120136 b	5.84	6210
36	WASP-14 b	7.34	6195
37	HAT-P-2 b	8.74	6439
38	XO-3 b	11.79	6281

DA2: Звёзды и экзопланеты (75 баллов)

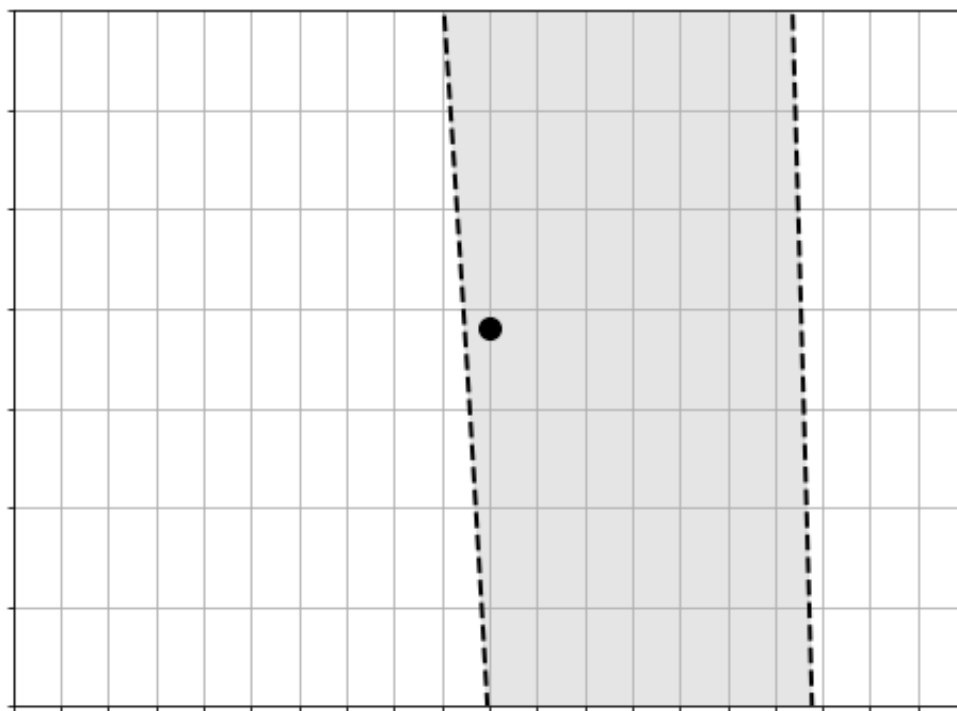
Часть 1 (20 баллов)

1.1 (20.0 pt)

Светимость звезды	Радиус звезды	Масса звезды	Средний радиус орбиты планеты	Радиус планеты (в радиусах Юпитера)
L_* [L_\odot]	R [R_\odot]	M_* [M_\odot]	a [au]	R_p [R_J]

Часть 2 (25 баллов)

2.1 (15 pt)



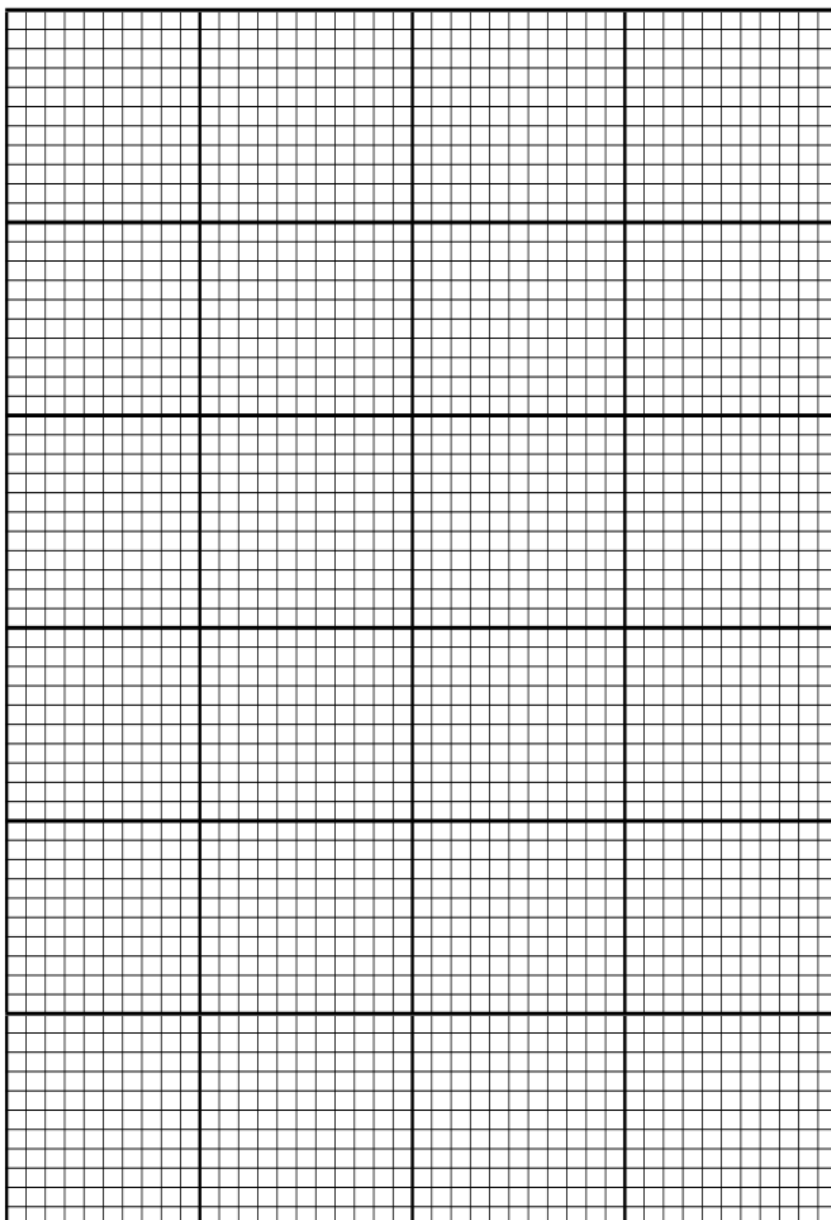
2.2 (10.0 pt)

Название планеты	В зоне жизни? YES / NO
Tayrona	
Iguaque	
Gorgona	
Amacayacu	
Malpelo	
Pisba	
Tatamá	

Часть 3 (30 баллов)**3.1** (10.0 pt)

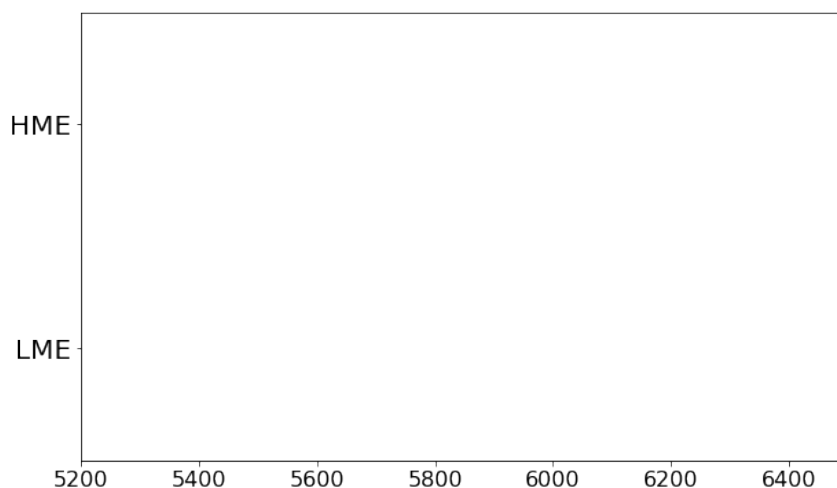
Выборка	Размер выборки	μ	σ	$\mu + \sigma$	Количество исключённых планет
Полная (исходная)	38				
Подвыборка после 1-й итерации					
Подвыборка после 2-й итерации					
Подвыборка после итоговой итерации		—	—	—	—

3.2 (5.0 pt)



3.3 (10.0 pt)

	Минимум	1-й квартиль	Медиана – 2-й квартиль	3-й квартиль	Максимум
LME					
HME					

3.4 (5.0 pt)

Связь температуры материнской звезды (K) с типом планеты

YES	NO

Data Analysis



BLR-3 A-2 W-1

W2-1

Data Analysis



BLR-3 A-2 W-2

W2-2

Data Analysis



BLR-3 A-2 W-3

W2-3

Data Analysis



BLR-3 A-2 W-4

W2-4

Data Analysis



BLR-3 A-2 W-5

W2-5

Data Analysis



BLR-3 A-2 W-6

W2-6

Data Analysis



BLR-3 A-2 W-7

W2-7

Data Analysis



BLR-3 A-2 W-8

W2-8

Data Analysis



BLR-3 A-2 W-9

W2-9

Data Analysis



BLR-3 A-2 W-10

W2-10

Data Analysis



BLR-3 A-2 W-11

W2-11

Data Analysis



BLR-3 A-2 W-12

W2-12

Data Analysis



BLR-3 A-2 W-13

W2-13

Data Analysis



BLR-3 A-2 W-14

W2-14

Data Analysis



BLR-3 A-2 W-15

W2-15