

BGR-1 A-2 C

BGR-1 A-2 C Margulan Erlanovich Ismoldayev

Data Analysis

Data Analysis 2: Stars and Exoplanets

Cover sheet

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

Data Analysis



BGR-1 A-2 Q-1

Q2-1

English (Official)

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

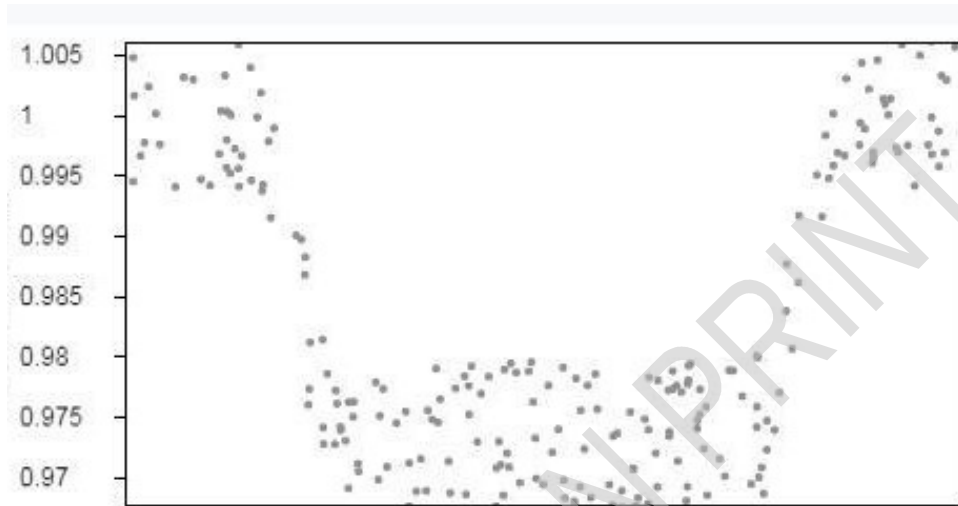


Figure 1: Normalized Flux (y-axis) against time (x-axis) for the parent star HD 209458

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.

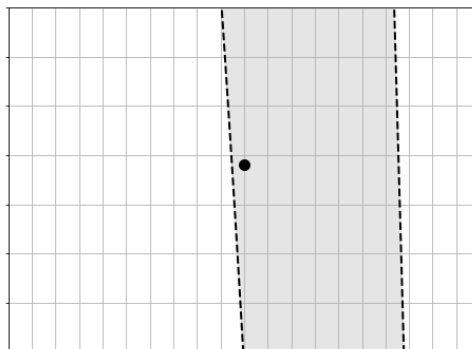
We define the effective flux received by a planet as $S_{eff} = \frac{L}{a^2}$, where L is the star luminosity in solar units, and a is the mean orbital radius in au. The minimum flux in the habitable zone can be approximated by $S_{min} = S_{eff_\odot} + n \cdot T_* + b \cdot T_*^2 + c \cdot T_*^3 + d \cdot T_*^4$, 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	

DELEGATION PRINT

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

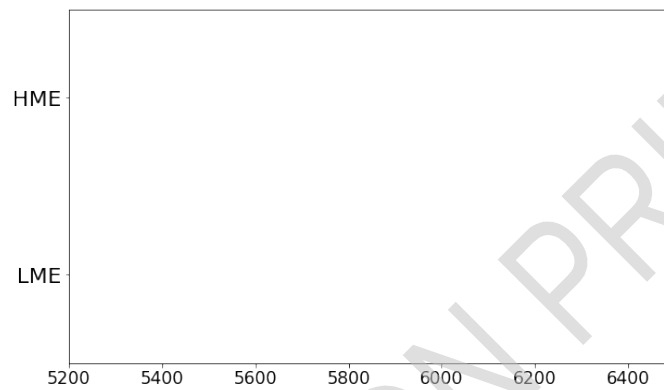
Low-mass sample	Sample size	μ	σ	$\mu + \sigma$	No. of planets to exclude
Full / Original	38				
subsample after 1st iteration					
subsample after 2nd iteration					
subsample after final iteration		---	---	---	---

- 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



Planetary type vs host star temperature (K)

DELEGATION PRINT

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

Data Analysis 2: Звезди и екзопланети (75 точки)

Моля, прочетете общите инструкции, които са в отделен плик, преди да започнете да работите по тази задача.

В тази задача ние ще изследваме връзката между физическите характеристики на екзопланети и звездите, около които те обикалят и ще използваме наблюдателни данни, за да научим колкото е възможно за тези системи.

Част 1 (20 точки).

Име на планета	Име на звезда	T_{eff} (K)	g (m/s^2)	m_v (зв. вел.)	паралакс (miliarcsec)
<i>Gorgona</i>	<i>HD 209458</i>	5980	347	7.63	20.67

Таблица 1: Наблюдателни данни за екзопланетата *Gorgona* и нейната звезда *HD 209458*

Ефективната температура (T_{eff}) и гравитационното ускорение на повърхността на звезда (g) могат да бъдат измерени, като се използва формата на линиите на поглъщане в нейния спектър. Визуалната видима звездна величина (m_v) и паралаксът се измерват чрез фотометрия и астрометрия съответно.

В допълнение към това, е било наблюдавано, че веднъж на всеки 3.52 дни блясъкът на звездата намалява поради това, че пред нея преминава екзопланета, както е показано на тази крива на блясъка:

1.1

20.0pt



Фигура 1: Нормиран поток (по оста Oy) като функция на времето (по оста Ox) за звездата HD 209458

Използвайте дадената информация, за да пресметнете следните величини за звездата HD 209458:

Светимостта на звездата	Радиуса на звездата	Масата на звездата	Средният радиус на планетната орбита	Радиуса на планетата, изразен в радиуси на Юпитер
L_* [L_{\odot}]	R_* [R_{\odot}]	M_* [M_{\odot}]	a [au]	R_p [R_J]

Бележка: Приемете, че болометричните корекции за звезди от спектрални класове F и G са почти еднакви.

Част 2 (25 точки).

Обитаемата зона се дефинира като областта, в която планетата може да има течна вода на повърхността си. Това основно зависи от осветеността, която тя получава от звездата си и която трябва да бъде в такива граници, че да се осигури температура на повърхността на планетата в благоприятния диапазон.

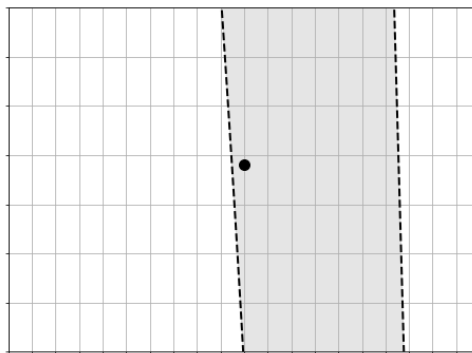
Дефинираме ефективния поток, който планетата получава като $S_{eff} = \frac{L}{a^2}$, където L е светимостта на звездата в слънчеви единици, а a средният орбитален радиус в au. Минималният поток в обитаемата зона се дава с израза $S_{min} = S_{eff_{\odot}} + n \cdot T_* + b \cdot T_*^2 + c \cdot T_*^3 + d \cdot T_*^4$, където $T_* = (T_{eff} - T_{eff_{\odot}})$, а $S_{eff_{\odot}}$ е потокът, в случая, в който звездата е Слънцето, а коефициентите n, b, c, d са дадени в следващата таблица. Максималният поток в зоната на обитаемост, S_{max} , може да се намери със същото уравнение, но при различни константи:

Константи	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 таблицата по-долу са дадени истински данни за 7 различни системи планета-звезда. Все пак, имената на планетите са променени така че да съответстват на различни естествени светилища в Колумбия:

Параметри на звездата		Параметри на планетата	
T_{eff} [K]	M_V [mag]	Име	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 следващата фигура, по вертикалната ос е нанесена ефективната температура на звездата, а по хоризонталната ос - ефективният поток (осветеност), който получават планетите, които обикалят около нея. Кръгчето показва Земята, а пунктирните линии показват границите на обитаемата зона. 15.0pt



Нанесете числени стойности и разграфете двете оси. Нанесете на тази фигура точните положения, които Gorgona и Amacayacu биха имали, ако те бяха разположени на 1 au от техните звезди.

- 2.2 Сега, отчитайки истинските орбитални радиуси, които са дадени в таблицата за всяка планета, отговорете с YES или NO за всяка една от планетите дали е в обитаемата зона, представяйки ясен количествен аргумент. 10.0pt

Име на планета	В обитаемата зона ли е?
Tayrona	
Iguaque	
Gorgona	
Amacayacu	
Malpelo	
Pisba	
Tatamá	

Част 3 (30 точки).

На последната страница ще намерите списък с 38 екзопланети и целта е да се установи дали екзопланетите с малка маса (LME) или тези с голяма маса (HME) показват тенденция да обикалят около звезди с различни характеристики.

- 3.1** За да се намери представителна извадка на планети с малка маса, може да се използва техниката, наречена "итеративно сигма-изрязване". Идеята е да се пресметне средната стойност (μ) и стандартното отклонение (σ) на масите и да изключим от извадката тези планети, чиито маси са по-големи от $\mu + \sigma$. След това повтаряме същите стъпки с оставащите подизвадки още два пъти. Ще считаме, че планетите в оставащата група са тези с малки маси, а тези, които са били изключени при тези итерации са с големи маси. Попълнете следната таблица с числата, които получавате при тази процедура: 10.0pt

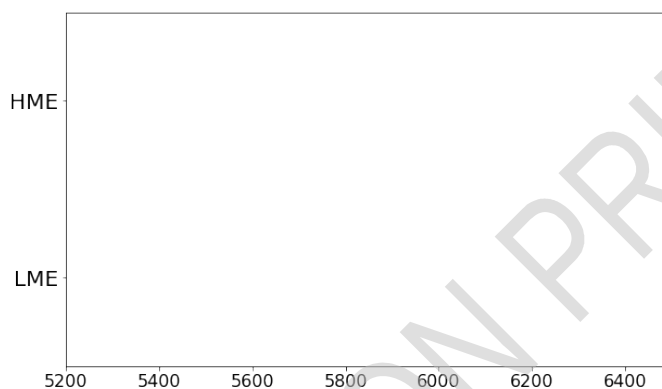
Извадка от екзопланети с ниска маса	Брой планети в извадката	μ	σ	$\mu + \sigma$	Брой екзопланети, които да се изключат
Пълна / Оригинал					
Извадка след първа итерация					
Извадка след втора итерация					
Крайна извадка		-	-	-	-

- 3.2** Начертайте графика, по чиято хоризонтална ос нанесете поредния номер на планетите в списъка (1, 2, 3, ...), а по вертикалната ос - масата на планетите. Нанесете три хоризонтални линии, които съответстват на $\mu + \sigma$ стойността, която пресметнахте при итерациите: 5.0pt

- 3.3** Нека да изследваме възможната разлика между ефективните температури на двете групи, пресмятайки някои статистически данни, които ги описват: 10.0pt

T_{eff}	Min.	1 квантил	Медиана	3 квантил	Max
LME					
HME					

- 3.4** Начертайте диаграми тип "кутия с мустаци" (тип кутия (boxplot)), които обобщават числата, които току-що пресметнахте. Забелязвате ли значима разлика в температурите на звездите, около които обикалят планети с ниска маса и с висока маса? Напишете YES или NO. 5.0pt



Зависимост на типа на планета от температурата (K)

Data Analysis



BGR-1 A-2 Q-7

Q2-7

Bulgarian (Bulgaria)

No.	Име на планетата	Маса на планетата [M_J]	T_{eff} на звездата
-----	------------------	--------------------------------	-----------------------

DELEGATION PRINT

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)

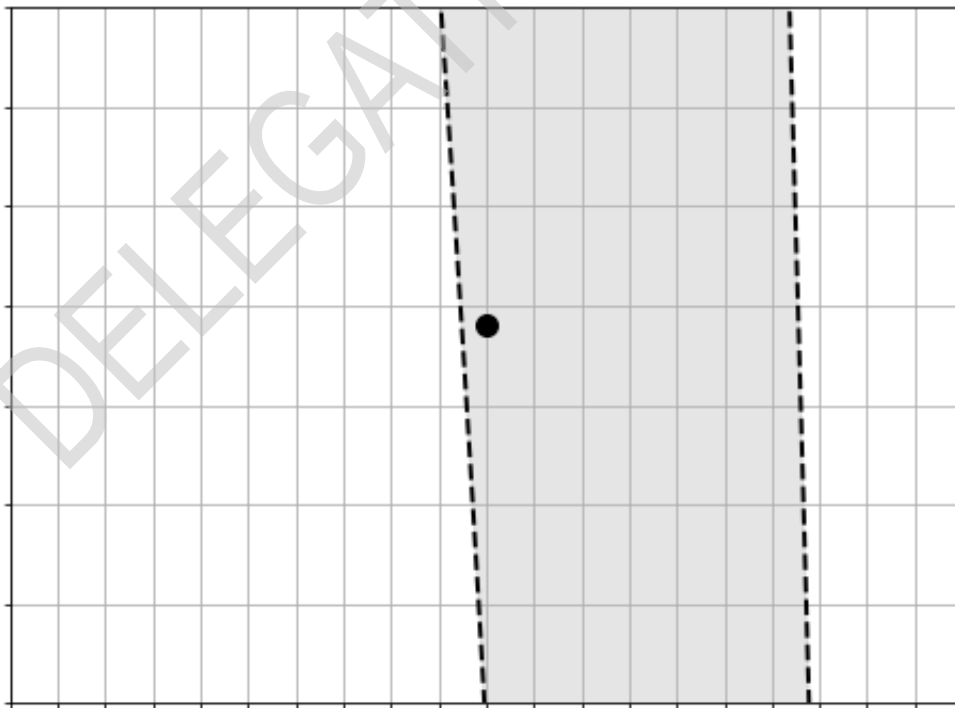
Part 1 (20 points).

1.1 (20.0 pt)

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_\star [L_\odot]	R [R_\odot]	M_\star [M_\odot]	a [au]	R_p [R_J]

Part 2 (25 points).

2.1 (15 pt)



Data Analysis



BGR-1 A-2 A-2

A2-2

English (Official)

2.2 (10.0 pt)

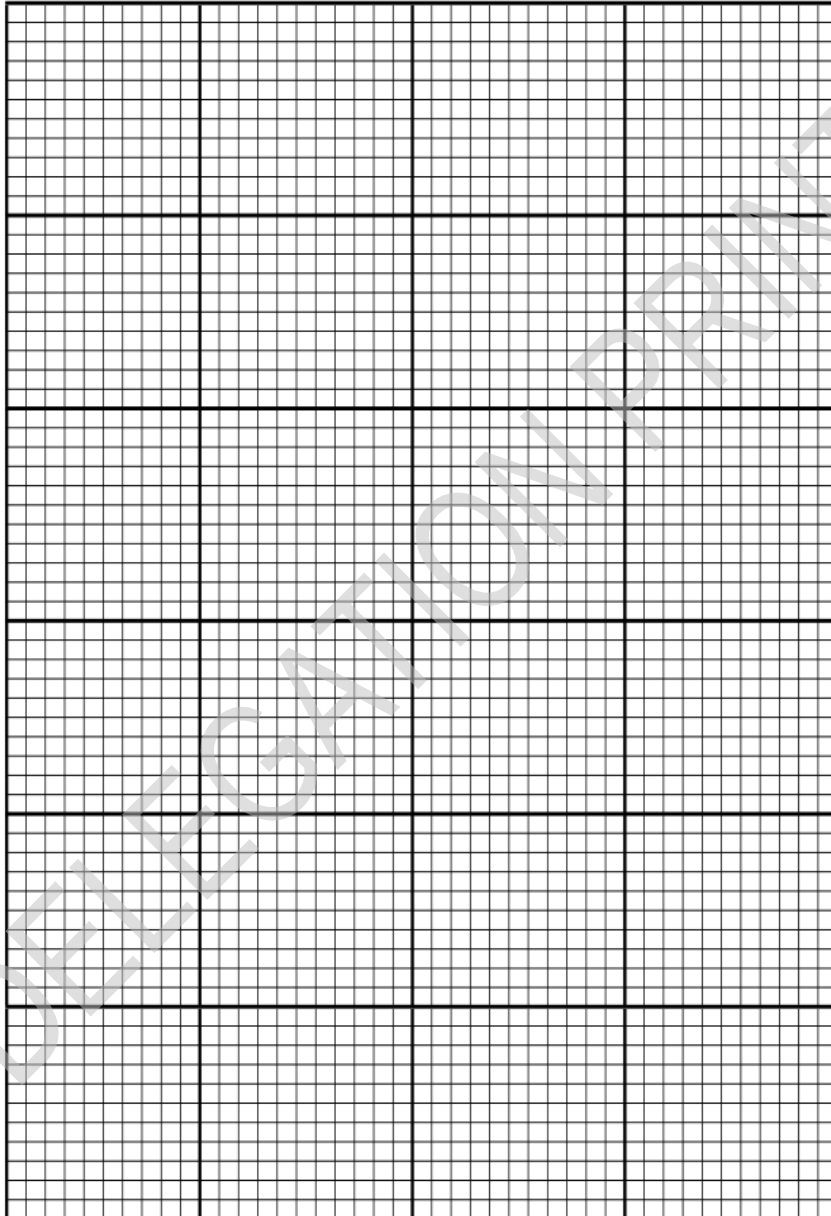
Planet's Name	In habitable zone? YES / NO
Tayrona	
Iguaque	
Gorgona	
Amacayacu	
Malpelo	
Pisba	
Tatamá	

Part 3 (30 points).

3.1 (10.0 pt)

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

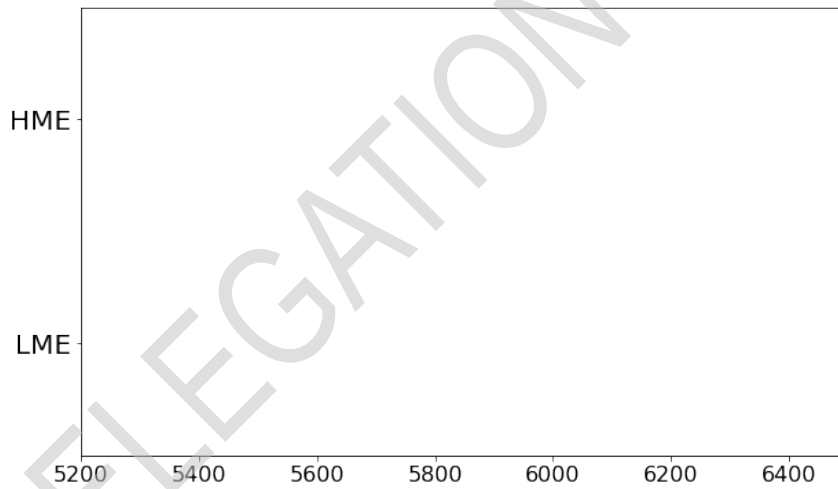
3.2 (5.0 pt)



3.3 (10.0 pt)

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

3.4 (5.0 pt)



Planetary type vs host star temperature (K)

YES	NO

Data Analysis



BGR-1 A-2 W-1

W2-1

DELEGATION PRINT

Data Analysis



BGR-1 A-2 W-2

W2-2

DELEGATION PRINT

Data Analysis



BGR-1 A-2 W-3

W2-3

DELEGATION PRINT

Data Analysis



BGR-1 A-2 W-4

W2-4

DELEGATION PRINT

Data Analysis



BGR-1 A-2 W-5

W2-5

DELEGATION PRINT



DELEGATION PRINT

Data Analysis



BGR-1 A-2 W-7

W2-7

DELEGATION PRINT

Data Analysis



BGR-1 A-2 W-8

W2-8

DELEGATION PRINT

Data Analysis



BGR-1 A-2 W-9

W2-9

DELEGATION PRINT

Data Analysis



BGR-1 A-2 W-10

W2-10

DELEGATION PRINT

Data Analysis



BGR-1 A-2 W-11

W2-11

DELEGATION PRINT



DELEGATION PRINT



DELEGATION PRINT

Data Analysis



BGR-1 A-2 W-14

W2-14

DELEGATION PRINT



DELEGATION PRINT