



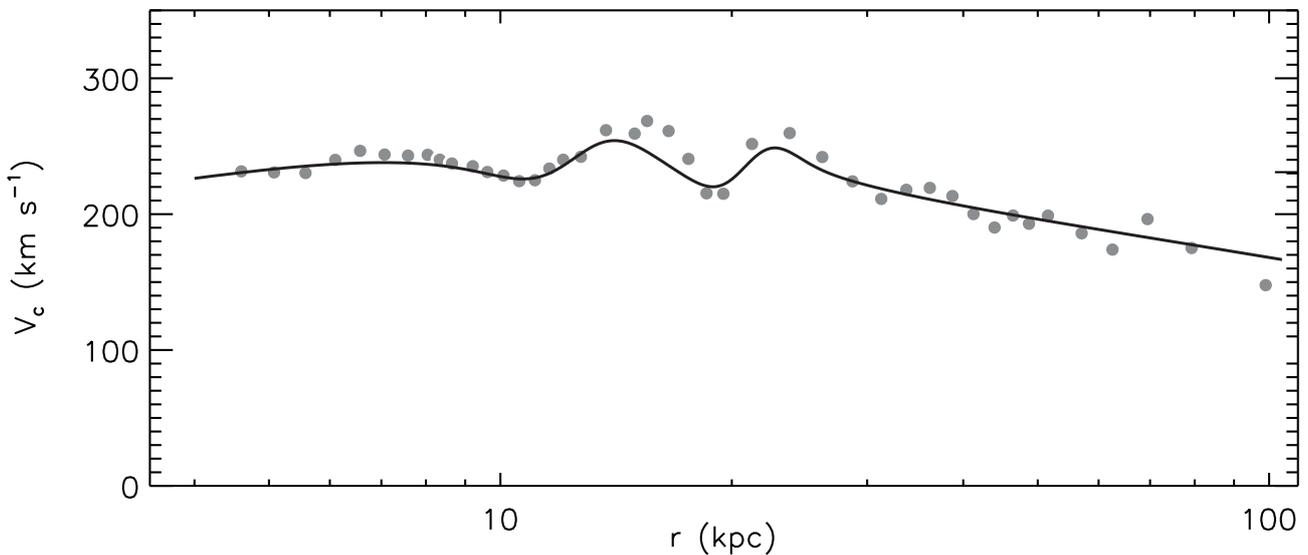
## Практический тест

### 1. Кривая вращения (20 баллов)

*А. Веселова*

Вам дана кривая вращения Млечного Пути в предположении цилиндрического вращения объектов диска (Huang et al., 2016), по оси абсцисс шкала логарифмическая. Авторы статьи предполагали расстояние от Солнца до центра Галактики  $R_0 = 8.34$  кпк.

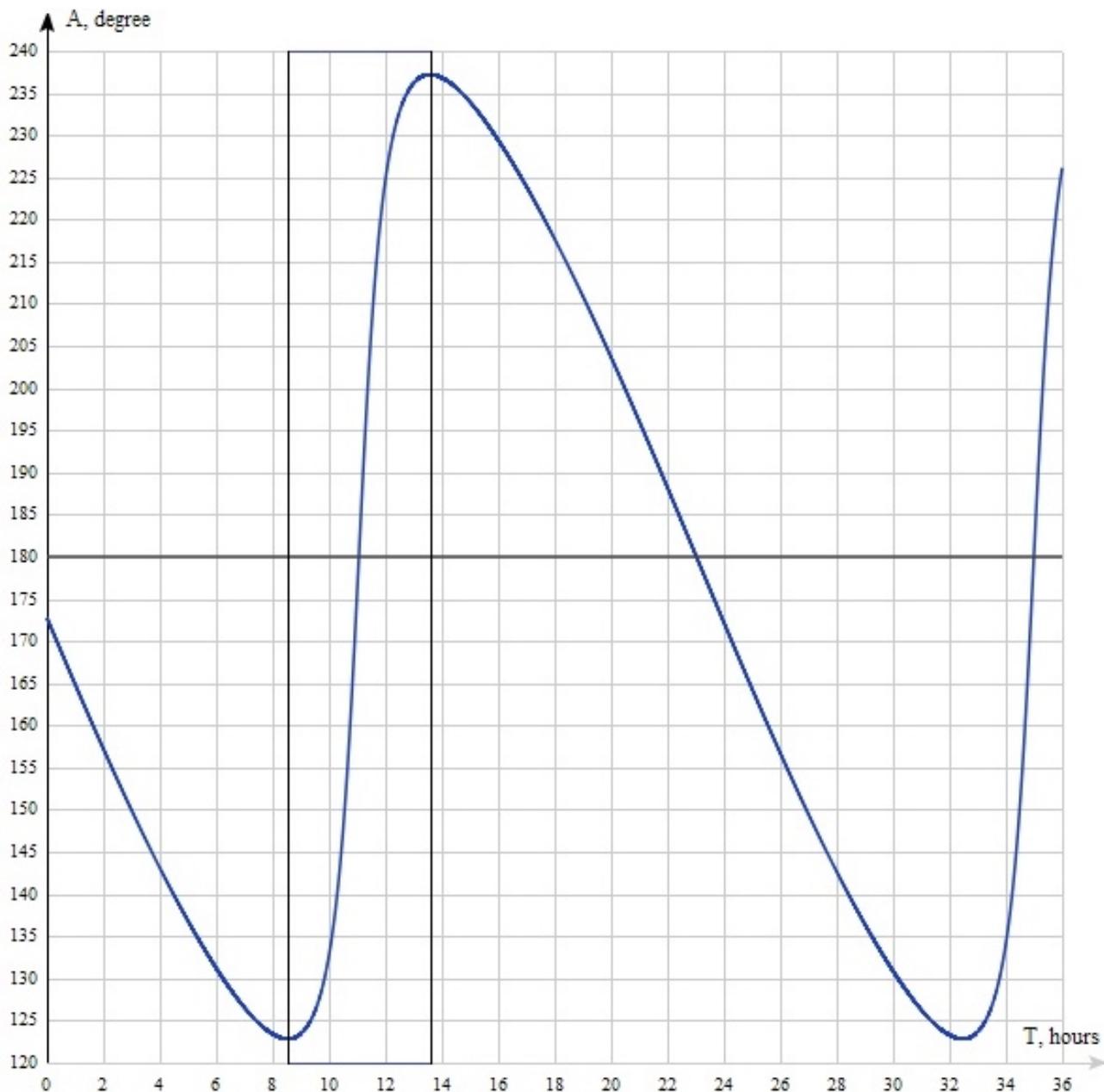
Предположим, что в диске Галактики возникла радиально вытянутая тонкая структура из объектов диска протяжённостью от 5 до 12 кпк. Как эта структура (расположение тех же объектов) будет выглядеть спустя 50 млн лет и 100 млн лет? Изобразите положение объектов для заданных моментов времени в проекции на диск Галактики, если мы наблюдаем картину из того полупространства, в котором находится северный полюс Галактики. Через какое время разность галактоцентрических долгот краев получившейся структуры станет равной  $360^\circ$ ?



2. Азимутальная кривая (20 баллов)

Е. Бойцов

Вам дан график зависимости азимута звезды от текущего звездного времени. Определите экваториальные координаты этой звезды и широту места наблюдения. Что это за звезда?

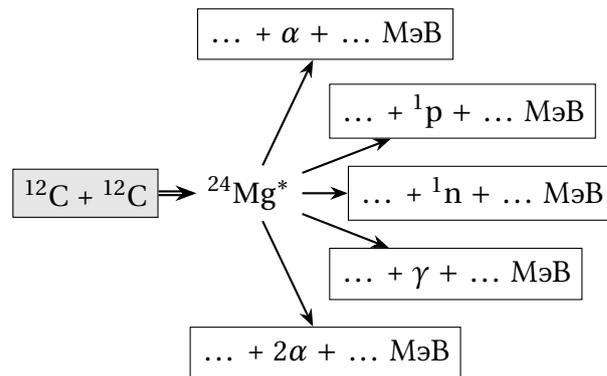


### 3. Кривая горения (20 баллов)

В. Григорьев

Перед вами схема горения углерода, происходящего в звёздах массой  $M > 8M_{\odot}$ . В результате взаимодействия образуется возбуждённое ядро атома магния, которое может распасться по одному из возможных каналов. Для каждого из них определите продукты реакций распада и величины энергетического выхода в МэВ.

*Приложение:* таблица масс изотопов различных элементов (на оборотной стороне листа).



Z	Изотоп	A, а. е. м.	Z	Изотоп	A, а. е. м.	Z	Изотоп	A, а. е. м.
0	<sup>1</sup> n	1.00866491574	6	<sup>15</sup> C	15.010599256	10	<sup>16</sup> Ne	16.025761262
1	<sup>1</sup> H	1.00782503207	6	<sup>16</sup> C	16.014701252	10	<sup>17</sup> Ne	17.017671504
1	<sup>2</sup> H	2.01410177785	6	<sup>17</sup> C	17.022586116	10	<sup>18</sup> Ne	18.005708213
1	<sup>3</sup> H	3.01604927767	6	<sup>18</sup> C	18.026759354	10	<sup>19</sup> Ne	19.001880248
1	<sup>4</sup> H	4.027806424	6	<sup>19</sup> C	19.034805018	10	<sup>20</sup> Ne	19.99244017542
1	<sup>5</sup> H	5.035311488	6	<sup>20</sup> C	20.040319754	10	<sup>21</sup> Ne	20.993846684
1	<sup>6</sup> H	6.044942594	6	<sup>21</sup> C	21.049340	10	<sup>22</sup> Ne	21.991385113
1	<sup>7</sup> H	7.052749	6	<sup>22</sup> C	22.057200	10	<sup>23</sup> Ne	22.994466904
2	<sup>3</sup> He	3.01602931914	7	<sup>10</sup> N	10.041653674	10	<sup>24</sup> Ne	23.993610779
2	<sup>4</sup> He	4.00260325415	7	<sup>11</sup> N	11.026090956	10	<sup>25</sup> Ne	24.997736888
2	<sup>5</sup> He	5.012223624	7	<sup>12</sup> N	12.018613197	10	<sup>26</sup> Ne	26.000461206
2	<sup>6</sup> He	6.018889124	7	<sup>13</sup> N	13.005738609	10	<sup>27</sup> Ne	27.007589903
2	<sup>7</sup> He	7.028020618	7	<sup>14</sup> N	14.00307400478	10	<sup>28</sup> Ne	28.012071575
2	<sup>8</sup> He	8.033921897	7	<sup>15</sup> N	15.00010889823	10	<sup>29</sup> Ne	29.019385933
2	<sup>9</sup> He	9.043950286	7	<sup>16</sup> N	16.006101658	10	<sup>30</sup> Ne	30.024801045
2	<sup>10</sup> He	10.052398837	7	<sup>17</sup> N	17.008450261	10	<sup>31</sup> Ne	31.033110
3	<sup>3</sup> Li	3.030775	7	<sup>18</sup> N	18.014078959	10	<sup>32</sup> Ne	32.040020
3	<sup>4</sup> Li	4.027185558	7	<sup>19</sup> N	19.017028697	10	<sup>33</sup> Ne	33.049380
3	<sup>5</sup> Li	5.0125378	7	<sup>20</sup> N	20.023365807	10	<sup>34</sup> Ne	34.057028
3	<sup>6</sup> Li	6.015122794	7	<sup>21</sup> N	21.02710824	11	<sup>18</sup> Na	18.025969
3	<sup>7</sup> Li	7.016004548	7	<sup>22</sup> N	22.034394934	11	<sup>19</sup> Na	19.013877499
3	<sup>8</sup> Li	8.022487362	7	<sup>23</sup> N	23.041220	11	<sup>20</sup> Na	20.007351328
3	<sup>9</sup> Li	9.026789505	7	<sup>24</sup> N	24.051040	11	<sup>21</sup> Na	20.997655206
3	<sup>10</sup> Li	10.035481259	7	<sup>25</sup> N	25.060660	11	<sup>22</sup> Na	21.994436425
3	<sup>11</sup> Li	11.043797715	8	<sup>12</sup> O	12.034404895	11	<sup>23</sup> Na	22.98976928087
3	<sup>12</sup> Li	12.053780	8	<sup>13</sup> O	13.024812213	11	<sup>24</sup> Na	23.990962782
4	<sup>5</sup> Be	5.040790	8	<sup>14</sup> O	14.00859625	11	<sup>25</sup> Na	24.989953968
4	<sup>6</sup> Be	6.019726317	8	<sup>15</sup> O	15.003065617	11	<sup>26</sup> Na	25.992633
4	<sup>7</sup> Be	7.016929828	8	<sup>16</sup> O	15.99491461956	11	<sup>27</sup> Na	26.994076788
4	<sup>8</sup> Be	8.005305103	8	<sup>17</sup> O	16.999131703	11	<sup>28</sup> Na	27.998938
4	<sup>9</sup> Be	9.012182201	8	<sup>18</sup> O	17.999161001	11	<sup>29</sup> Na	29.002861
4	<sup>10</sup> Be	10.013533818	8	<sup>19</sup> O	19.00358013	11	<sup>30</sup> Na	30.008976
4	<sup>11</sup> Be	11.021657749	8	<sup>20</sup> O	20.004076742	11	<sup>31</sup> Na	31.013585452
4	<sup>12</sup> Be	12.026920737	8	<sup>21</sup> O	21.008655886	11	<sup>32</sup> Na	32.02046656
4	<sup>13</sup> Be	13.035693007	8	<sup>22</sup> O	22.009966947	11	<sup>33</sup> Na	33.026719756
4	<sup>14</sup> Be	14.04289292	8	<sup>23</sup> O	23.015687659	11	<sup>34</sup> Na	34.035170
4	<sup>15</sup> Be	15.053460	8	<sup>24</sup> O	24.020472917	11	<sup>35</sup> Na	35.042493
4	<sup>16</sup> Be	16.061920	8	<sup>25</sup> O	25.029460	11	<sup>36</sup> Na	36.051480
5	<sup>6</sup> B	6.046810	8	<sup>26</sup> O	26.038340	11	<sup>37</sup> Na	37.059340
5	<sup>7</sup> B	7.029917901	8	<sup>27</sup> O	27.048260	12	<sup>19</sup> Mg	19.03547
5	<sup>8</sup> B	8.024607233	8	<sup>28</sup> O	28.057810	12	<sup>20</sup> Mg	20.018862545
5	<sup>9</sup> B	9.013328782	9	<sup>14</sup> F	14.035060	12	<sup>21</sup> Mg	21.01171291
5	<sup>10</sup> B	10.012936992	9	<sup>15</sup> F	15.018009103	12	<sup>22</sup> Mg	21.999573843
5	<sup>11</sup> B	11.009305406	9	<sup>16</sup> F	16.011465724	12	<sup>23</sup> Mg	22.994123669
5	<sup>12</sup> B	12.014352104	9	<sup>17</sup> F	17.002095237	12	<sup>24</sup> Mg	23.985041699
5	<sup>13</sup> B	13.017780217	9	<sup>18</sup> F	18.000937956	12	<sup>25</sup> Mg	24.985836917
5	<sup>14</sup> B	14.025404009	9	<sup>19</sup> F	18.998403224	12	<sup>26</sup> Mg	25.982592929
5	<sup>15</sup> B	15.031103021	9	<sup>20</sup> F	19.999981315	12	<sup>27</sup> Mg	26.984340585
5	<sup>16</sup> B	16.039808829	9	<sup>21</sup> F	20.999948951	12	<sup>28</sup> Mg	27.983876825
5	<sup>17</sup> B	17.046989906	9	<sup>22</sup> F	22.002998815	12	<sup>29</sup> Mg	28.9886
5	<sup>18</sup> B	18.056170	9	<sup>23</sup> F	23.003574631	12	<sup>30</sup> Mg	29.990434
5	<sup>19</sup> B	19.063730	9	<sup>24</sup> F	24.008115485	12	<sup>31</sup> Mg	30.996546
6	<sup>8</sup> C	8.037675025	9	<sup>25</sup> F	25.012101747	12	<sup>32</sup> Mg	31.998975
6	<sup>9</sup> C	9.031036689	9	<sup>26</sup> F	26.019615555	12	<sup>33</sup> Mg	33.005254
6	<sup>10</sup> C	10.016853228	9	<sup>27</sup> F	27.026760086	12	<sup>34</sup> Mg	34.009456424
6	<sup>11</sup> C	11.011433613	9	<sup>28</sup> F	28.035670	12	<sup>35</sup> Mg	35.017340
6	<sup>12</sup> C	12.	9	<sup>29</sup> F	29.043260	12	<sup>36</sup> Mg	36.023000
6	<sup>13</sup> C	13.00335483778	9	<sup>30</sup> F	30.052500	12	<sup>37</sup> Mg	37.031400
6	<sup>14</sup> C	14.0032419887	9	<sup>31</sup> F	31.060429	12	<sup>38</sup> Mg	38.037570

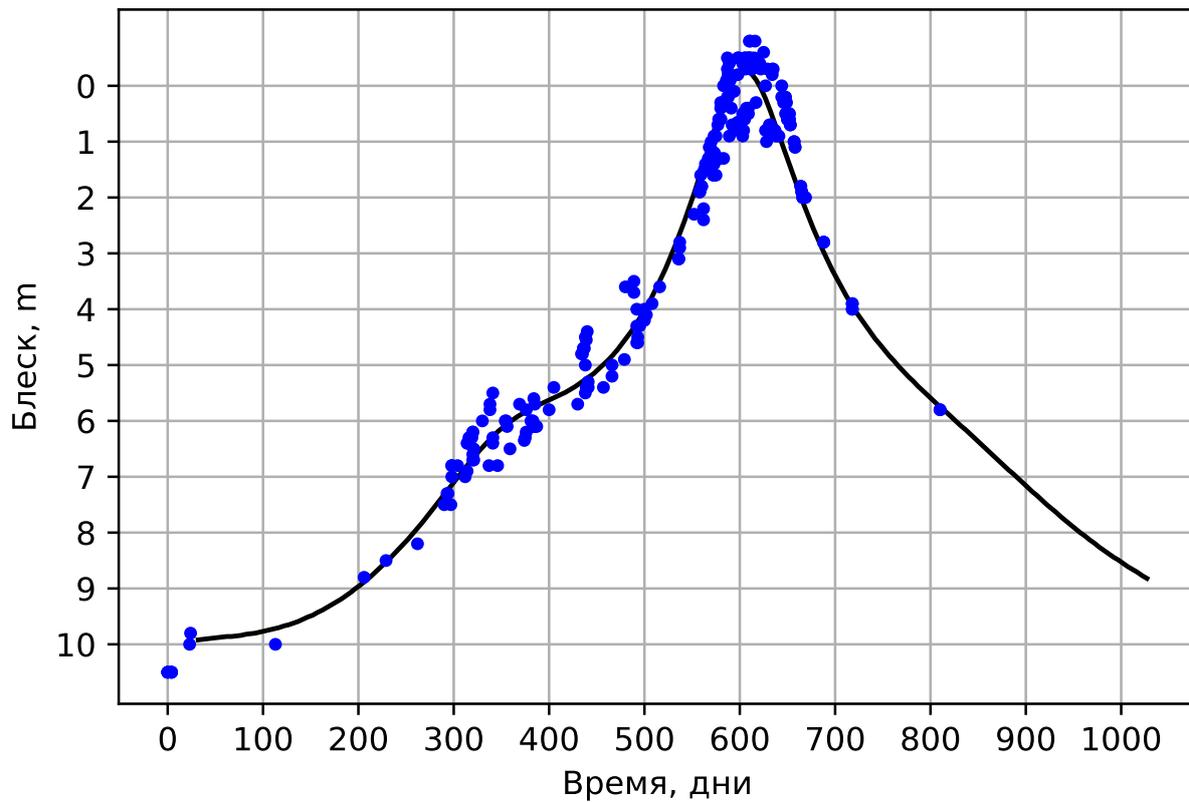
#### 4. Кривая блеска (20 баллов)

М. Волобуева

Вам дана кривая блеска кометы C/1995 O1 (Хейла – Боппа) и её эфемериды для того же периода времени (на оборотной стороне листа). Видимый блеск кометы зависит от её геоцентрического  $d$  и гелиоцентрического  $r$  расстояний:

$$m = A + B \lg d + C \lg r.$$

- (a) Опираясь на физический смысл и приведённые в задаче наблюдательные данные, определите значения коэффициентов  $A$ ,  $B$  и  $C$ .
- (b) Считая, что создаваемая кометой освещённость  $\propto r^n$ , вычислите  $n$  с точностью в две значащие цифры.



День	<i>d</i> , а. е.	<i>r</i> , а. е.	День	<i>d</i> , а. е.	<i>r</i> , а. е.	День	<i>d</i> , а. е.	<i>r</i> , а. е.	День	<i>d</i> , а. е.	<i>r</i> , а. е.
32	6.31	6.81	282	3.99	4.48	532	2.36	1.60	782	3.07	2.77
37	6.34	6.77	287	3.86	4.43	537	2.27	1.54	787	3.09	2.82
42	6.38	6.73	292	3.74	4.38	542	2.18	1.48	792	3.10	2.88
47	6.42	6.69	297	3.62	4.33	547	2.08	1.42	797	3.12	2.94
52	6.46	6.64	302	3.51	4.28	552	1.99	1.36	802	3.14	3.00
57	6.50	6.60	307	3.40	4.23	557	1.89	1.30	807	3.16	3.06
62	6.55	6.55	312	3.30	4.17	562	1.79	1.24	812	3.18	3.12
67	6.59	6.51	317	3.20	4.12	567	1.69	1.19	817	3.21	3.17
72	6.63	6.47	322	3.12	4.07	572	1.60	1.13	822	3.23	3.23
77	6.67	6.42	327	3.04	4.02	577	1.52	1.09	827	3.26	3.29
82	6.70	6.38	332	2.97	3.96	582	1.45	1.04	832	3.29	3.34
87	6.73	6.33	337	2.91	3.91	587	1.39	1.00	837	3.32	3.40
92	6.76	6.29	342	2.86	3.85	592	1.34	0.97	842	3.36	3.46
97	6.79	6.24	347	2.81	3.80	597	1.32	0.94	847	3.39	3.51
102	6.81	6.20	352	2.78	3.75	602	1.32	0.93	852	3.43	3.57
107	6.83	6.16	357	2.76	3.69	607	1.33	0.92	857	3.48	3.62
112	6.84	6.11	362	2.74	3.64	612	1.37	0.92	862	3.52	3.68
117	6.85	6.06	367	2.73	3.58	617	1.42	0.92	867	3.57	3.73
122	6.85	6.02	372	2.73	3.53	622	1.48	0.94	872	3.62	3.79
127	6.84	5.97	377	2.74	3.47	627	1.56	0.96	877	3.67	3.84
132	6.83	5.93	382	2.75	3.42	632	1.64	0.99	882	3.73	3.89
137	6.82	5.88	387	2.77	3.36	637	1.72	1.03	887	3.78	3.95
142	6.79	5.84	392	2.79	3.30	642	1.80	1.07	892	3.84	4.00
147	6.76	5.79	397	2.82	3.25	647	1.89	1.12	897	3.90	4.05
152	6.72	5.74	402	2.85	3.19	652	1.98	1.17	902	3.97	4.11
157	6.68	5.70	407	2.87	3.13	657	2.06	1.23	907	4.03	4.16
162	6.63	5.65	412	2.90	3.07	662	2.14	1.28	912	4.09	4.21
167	6.57	5.60	417	2.93	3.02	667	2.21	1.34	917	4.16	4.26
172	6.51	5.56	422	2.96	2.96	672	2.29	1.40	922	4.23	4.31
177	6.44	5.51	427	2.98	2.90	677	2.36	1.46	927	4.29	4.37
182	6.36	5.46	432	3.00	2.84	682	2.42	1.52	932	4.36	4.42
187	6.28	5.42	437	3.02	2.78	687	2.48	1.59	937	4.43	4.47
192	6.19	5.37	442	3.04	2.72	692	2.54	1.65	942	4.50	4.52
197	6.10	5.32	447	3.05	2.66	697	2.59	1.71	947	4.57	4.57
202	6.00	5.27	452	3.05	2.60	702	2.64	1.78	952	4.63	4.62
207	5.90	5.23	457	3.05	2.54	707	2.69	1.84	957	4.70	4.67
212	5.79	5.18	462	3.05	2.48	712	2.73	1.90	962	4.77	4.72
217	5.67	5.13	467	3.04	2.42	717	2.77	1.97	967	4.83	4.77
222	5.55	5.08	472	3.02	2.36	722	2.81	2.03	972	4.90	4.82
227	5.43	5.03	477	3.00	2.29	727	2.84	2.09	977	4.96	4.87
232	5.31	4.98	482	2.98	2.23	732	2.87	2.15	982	5.03	4.92
237	5.18	4.93	487	2.94	2.17	737	2.90	2.22	987	5.09	4.97
242	5.05	4.88	492	2.90	2.11	742	2.92	2.28	992	5.15	5.02
247	4.92	4.83	497	2.85	2.04	747	2.94	2.34	997	5.21	5.07
252	4.79	4.79	502	2.80	1.98	752	2.97	2.40	1002	5.27	5.11
257	4.65	4.74	507	2.74	1.92	757	2.99	2.46	1007	5.33	5.16
262	4.52	4.69	512	2.68	1.85	762	3.00	2.52	1012	5.38	5.21
267	4.38	4.63	517	2.61	1.79	767	3.02	2.59	1017	5.44	5.26
272	4.25	4.58	522	2.53	1.73	772	3.04	2.65	1022	5.49	5.31
277	4.12	4.53	527	2.45	1.67	777	3.05	2.71	1027	5.54	5.35

5. Кривая шаровика (20 баллов)

А. Акинъщиков

В данной задаче рассматривается эволюция шарового звёздного скопления со звёздной массой  $\mathcal{M} = 10^6 \mathcal{M}_\odot$ . Будем полагать, что все звёзды в скоплении образовались одновременно, а их распределение по массам в момент образования выражалось начальной функцией масс Р. Кроура (2002):

$$N(\mathcal{M}) d\mathcal{M} = \begin{cases} \left(\frac{\mathcal{M}}{\mathcal{M}_\odot}\right)^{-1.3} d\left(\frac{\mathcal{M}}{\mathcal{M}_\odot}\right), & 0.08 \mathcal{M}_\odot < \mathcal{M} < 0.5 \mathcal{M}_\odot; \\ 2 \left(\frac{\mathcal{M}}{\mathcal{M}_\odot}\right)^{-2.3} d\left(\frac{\mathcal{M}}{\mathcal{M}_\odot}\right), & 0.5 \mathcal{M}_\odot < \mathcal{M} < 50 \mathcal{M}_\odot. \end{cases}$$

Для широкого диапазона масс построены таблицы параметров звёзд:

$\mathcal{M}$  — масса звезды;

$L_{MS}$  — светимость звезды на главной последовательности;

$R_{MS}$  — радиус звезды на главной последовательности;

$B - V$  — показатель цвета;

$T_{\text{eff}}$  — эффективная температура.

Для каждой из двух зависимостей постройте график и аппроксимируйте аналитическим выражением:

- (а) зависимость интегральной светимости скопления от его возраста;
- (б) зависимость интегрального показателя цвета  $B - V$  скопления от его возраста.

Испарением скопления пренебречь. Учитывать только звёзды, находящиеся на стадии главной последовательности.

- (с) Оцените, как изменятся результаты при учёте звёзд на более поздних этапах эволюции.

$\lg \frac{\mathcal{M}}{\mathcal{M}_\odot}$	$\lg \frac{L_{MS}}{L_\odot}$	$\lg \frac{R_{MS}}{R_\odot}$	Класс	$B - V$	$T_{\text{eff}}, 10^3 \text{ K}$	Класс	$B - V$	$T_{\text{eff}}, 10^3 \text{ K}$
-1.0	-2.9	-0.90	O5-7	-0.32	38	F5	0.43	6.54
-0.8	-2.5	-0.70	O8-9	-0.31	35	F8	0.54	6.20
-0.6	-2.0	-0.50	O9.5	-0.30	31.9	G0	0.59	5.92
-0.4	-1.5	-0.30	B0	-0.30	30.0	G2	0.63	5.78
-0.2	-0.8	-0.14	B0.5	-0.28	27.0	G5	0.66	5.61
0.0	0.0	0.00	B1	-0.26	24.2	G8	0.74	5.49
0.2	0.8	0.10	B2	-0.24	22.1	K0	0.82	5.24
0.4	1.6	0.32	B3	-0.20	18.8	K2	0.92	4.78
0.6	2.3	0.49	B5	-0.16	16.4	K5	1.15	4.41
0.8	3.0	0.58	B6	-0.14	15.4	K7	1.30	4.16
1.0	3.7	0.72	B7	-0.12	14.5	M0	1.41	3.92
1.2	4.4	0.86	B8	-0.09	13.4	M1	1.48	3.68
1.4	4.9	1.00	B9	-0.06	12.4	M2	1.52	3.50
1.6	5.4	1.15	A0	0.00	10.8	M3	1.55	3.36
1.8	6.0	1.30	A2	0.06	9.73	M4	1.56	3.23
			A5	0.14	8.62	M5	1.61	3.12
			A7	0.19	8.19	M6	1.72	2.98
			F0	0.31	7.24	M7	1.84	2.84
			F2	0.36	6.93	M8	2.00	2.66

## 6. Кривая поляризации (20 баллов)

К. Васильев

Спекл-поляриметр используется для получения поляриметрических изображений со сверх-высоким угловым разрешением и состоит из трёх основных частей: корректора атмосферной дисперсии, поляризатора (полуволновой пластинки) и высокоскоростной CCD-камеры. При планировании наблюдений с помощью этого прибора необходимо учитывать паразитные поляризационные эффекты, возникающие в оптической системе телескопа. Для учёта этих эффектов объект снимается дважды за ночь на одной высоте, так, чтобы ориентации объекта в поле зрения прибора оказались взаимно перпендикулярными. Длительность одной экспозиции составляет 8 минут.

Телескоп расположен на горе Шатджатмаз (44 с. ш., 43 в. д.), на высоте 2100 м. Зенитное расстояние объекта при наблюдениях не может быть меньше 5 градусов (ограничения альт-азимутальной монтировки) и больше 60 градусов (предел возможностей корректора дисперсии).

В таблице приведён список объектов, предложенных для наблюдений в течение ночи 18-19 октября 2019 года, в порядке уменьшения приоритета. Пользуясь этим списком, составьте программу наблюдений.

Звезда	$\alpha$	$\delta$	$m_V$
RY Tau	04 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup>	+28° 26'	9.3 <sup>m</sup>
RW Aur	05 <sup>h</sup> 07 <sup>m</sup>	+30° 24'	9.6 <sup>m</sup>
CQ Tau,	05 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup>	+24° 44'	10.0 <sup>m</sup>
MWC 349	20 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup>	+40° 39'	13.1 <sup>m</sup>
MWC 361	21 <sup>h</sup> 01 <sup>m</sup>	+68° 09'	7.4 <sup>m</sup>
V645 Cyg	21 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>	+50° 14'	10.3 <sup>m</sup>
VY Mon	06 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup>	+10° 26'	13.7 <sup>m</sup>
$\mu$ Cep	21 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup>	+58° 46'	4.08 <sup>m</sup>

Программа должна содержать время начала каждой экспозиции для каждого из объектов.