

**III Российская олимпиада школьников  
по астрономии и космической физике.**

г. Калуга  
11-15-мая 1996 г.

Задачи теоретического тура.

**8-9 класс.**

Вам даны данные о комете Hyakutake 1996 B2 (файл из сети Internet):

1. Используя нужные данные, объясните, почему ожидаемая звездная величина кометы имеет два минимума, то есть, сначала уменьшается, потом возрастает, затем опять уменьшается и опять возрастает?

2. Как объяснить имеющееся в таблице противоречие: с одной стороны, согласно вычисленному эксцентриситету, орбита кометы является гиперболической; с другой же, — вычислен период её обращения вокруг Солнца, что говорит об эллиптической орбите.

3. 19 июня 2004 года при аварийной посадке космического корабля Вы катапультировались и весьма удачно приземлились. Оказалось, что в местности Вашего приземления полдень наступил в 8 часов 42 минуты Московского летнего времени, а высота Солнца при этом  $h = 72^\circ$ . Каким языком Вам следует воспользоваться для выяснения местонахождения ближайшего посольства России? Оцените расстояние до него. В Вашем распоряжении имеется весьма грубая карта Полушарий.

4. Найти минимально возможный период обращения нестораемого космического корабля вокруг Солнца (в сутках), зная, что видимый с Земли угловой размер Солнца равен  $\alpha = 9,3 \cdot 10^{-3}$  рад.

5. Наблюдая со своей планеты за ночной Калугой, марсиане заметили, что во времена Великих противостояний Земли и Марса этот город выглядит звездой 17-ой величины. Оценить, какое примерно число фонарей горит ночью в Калуге, если в среднем один калужский фонарь с расстояния 250 метров светит как полная Луна (звездная величина полной Луны около -13). Расстояние от Земли до Марса во времена Великих противостояний равно  $a = 0,38$  а.е.

6. Как отличаются между собой линейные скорости космонавтов, находящихся на Луне, если один из них видит Землю в зените, а второй находится в диаметрально противоположной точке лунного шара?

Информация о эфемеридах и параметрах орбиты для кометы 1996 B2 Hyakutake  
Don Yeomans - JPL, 22.02.1996

Объект: Комета 1996 B2 Hyakutake  
Число наблюдений: 219  
Период наблюдений: 01.01.1996 - 18.02.1996  
Элементы орбиты, эпоха 2450206.50000 = 1996, Май, 3.00000  
Эксцентриситет: e 1.000019546  
Время прохождения перигелия Тр 1996, Май, 1.42385  
Период обращения вокруг Солнца  
(лет, очень приблизительно) 18400

Эфемериды для кометы 1996 B2 Hyakutake										
1996 Date (O hrs UT)	R.A J2000	Dec	Delta	Deldot	r	Theta	Beta	Moon	TMag	
Mar 12	14 55 14.82	-17 20 25.6	0.455	-56.53	1.310	125.3	38.2	26	5.0	
Mar 14	14 55 23.90	-15 11 34.0	0.390	-55.88	1.271	127.9	38.1	55	4.5	
Mar 16	14 55 15.54	-12 10 16.4	0.326	-54.88	1.232	130.6	37.8	84	4.0	
Mar 18	14 54 41.08	-07 40 28.4	0.263	-53.17	1.192	133.6	37.2	114	3.4	
Mar 20	14 53 22.63	-00 27 09.6	0.204	-49.82	1.152	136.4	36.6	142	2.7	
Mar 22	14 50 35.14	+12 18 24.5	0.150	-42.11	1.111	137.2	37.5	154	1.8	
Mar 24	14 43 40.09	+36 11 54.5	0.111	-22.61	1.070	128.7	46.7	125	1.0	
Mar 26	14 11 52.77	+71 34 19.3	0.104	12.22	1.028	104.0	70.3	84	0.7	
Mar 28	04 06 54.45	+78 57 39.1	0.135	37.35	0.985	80.6	91.6	66	1.1	
Mar 30	03 22 12.78	+63 37 12.9	0.185	47.51	0.942	67.0	102.6	75	1.6	
Apr 1	03 13 42.23	+54 59 43.7	0.242	51.60	0.898	58.8	107.8	95	2.0	
Apr 3	03 09 48.97	+49 41 12.7	0.303	53.52	0.854	53.2	110.3	118	2.2	
Apr 5	03 07 18.49	+46 06 10.4	0.366	54.55	0.808	48.8	111.3	140	2.4	
Apr 7	03 05 18.43	+43 29 34.5	0.429	55.19	0.762	45.2	111.3	152	2.5	
Apr 9	03 03 28.20	+41 28 03.3	0.493	55.64	0.715	41.9	110.7	141	2.5	
Apr 11	03 01 37.43	+39 48 17.8	0.553	56.01	0.667	38.9	109.5	118	2.5	
Apr 13	02 59 39.73	+38 21 59.1	0.622	56.34	0.619	36.0	107.8	92	2.4	
Apr 15	02 57 30.44	+37 03 25.2	0.688	56.66	0.569	33.1	105.6	65	2.2	
Apr 17	02 55 05.57	+35 48 14.3	0.753	56.98	0.519	30.3	102.6	40	2.0	
Apr 19	02 52 21.35	+34 32 39.1	0.819	57.27	0.469	27.4	98.9	21	1.8	
Apr 21	02 49 14.10	+33 12 53.1	0.886	57.43	0.418	24.5	94.0	27	1.4	
Apr 23	02 45 40.35	+31 44 40.3	0.952	57.25	0.368	21.4	87.5	47	1.1	
Apr 25	02 41 37.89	+30 02 46.1	1.017	56.21	0.320	18.2	78.9	70	0.6	
Apr 27	02 37 08.41	+28 00 42.2	1.081	53.31	0.278	14.8	67.3	95	0.1	
Apr 29	02 32 23.84	+25 31 45.5	1.139	46.85	0.246	11.1	52.1	120	-0.3	
May 1	02 27 54.35	+22 33 11.8	1.187	35.66	0.231	7.6	35.2	147	-0.5	
May 3	02 24 23.65	+19 12 23.4	1.220	21.74	0.237	5.4	23.7	173	-0.3	
May 5	02 22 21.17	+15 44 31.7	1.238	9.47	0.263	6.5	26.0	153	0.2	
May 7	02 21 46.17	+12 21 36.9	1.244	0.95	0.301	9.7	34.3	124	0.8	
May 9	02 22 22.16	+09 08 10.0	1.242	-4.35	0.347	13.2	41.8	94	1.4	
May 11	02 23 52.24	+06 04 09.6	1.235	-7.51	0.396	16.8	47.5	66	1.9	
May 13	02 26 03.81	+03 08 01.6	1.225	-9.32	0.447	20.3	51.7	39	2.4	
May 15	02 28 48.32	+00 17 58.0	1.213	-10.28	0.497	23.7	54.7	16	2.9	
May 17	02 32 00.07	-02 27 36.8	1.201	-10.67	0.548	27.0	56.8	21	3.3	
May 19	02 35 35.32	-05 10 01.0	1.189	-10.67	0.598	30.2	58.3	43	3.6	
May 21	02 39 31.63	-07 50 16.6	1.177	-10.38	0.646	33.3	59.2	65	4.0	
May 23	02 43 47.45	-10 29 11.0	1.165	-9.85	0.695	36.4	59.8	87	4.2	
May 25	02 48 21.88	-13 07 19.3	1.154	-9.13	0.742	39.4	60.0	108	4.5	
May 27	02 53 14.50	-15 45 06.1	1.144	-8.24	0.788	42.3	59.9	127	4.8	
May 29	02 58 25.27	-18 22 46.8	1.135	-7.20	0.834	45.3	59.7	142	5.0	

R.A. J2000 Dec. = Прямое восхождение и склонение (эпоха 2000)  
 Поправки, связанные с временем прохождения света, учтены  
 Delta = Геоцентрическое расстояние до объекта в а.е.  
 Deldot = Геоцентрическая радиальная скорость объекта в км/с  
 R = Гелиоцентрическое расстояние до объекта в а.е.  
 Theta = Угол Солнце-Земля-Объект в градусах  
 Beta = Угол Солнце-Объект-Земля в градусах  
 Moon = Угол Объект-Земля-Луна в градусах  
 TMag = Ожидаемая звездная величина

**III Российская олимпиада школьников  
по астрономии и космической физике.**

г. Калуга  
11-15-мая 1996 г.

Задачи теоретического тура,

**10 класс.**

1. На какой широте проходит южная граница территории, в пределах которой хотя бы одну ночь в году не прекращаются навигационные сумерки (центр Солнца не опускается под горизонт ниже, чем 12 градусов)? Плоскость небесного экватора наклонена к эклиптике на  $\epsilon = 23^\circ 27'$ .

Вам даны данные о комете Hyakutake 1996 B2 (файл из сети Internet):

2. Как объяснить имеющееся в таблице противоречие: с одной стороны, согласно вычисленному эксцентриситету, орбита кометы является гиперболической; с другой же, — вычислен период её обращения вокруг Солнца, что говорит об эллиптической орбите.

3. Вычислить по этим данным скорость кометы в перигелии.

4. Найти минимально возможный период обращения несоряемого космического корабля вокруг Солнца (в сутках), зная, что видимый с Земли угловой размер Солнца равен  $\alpha = 9,3 \cdot 10^{-3}$  рад.

5. Как известно, солнечные сутки удлиняются на 0,0017 секунды за столетие. Оцените, какую ошибку мы сделаем при вычислении наблюдения солнечного затмения в 2004 году до нашей эры, будем считать сутки неизменными (равными по продолжительности сегодняшним).

6. Пульсар, излучающий радиоимпульсы с постоянной частотой в собственной системе отсчета, равномерно движется в пространстве относительно Земли. Как будет изменяться наблюдаемая на Земле частота импульсов со временем (из-за эффекта Доплера)? Направление движения пульсара произвольно.

Информация о эфемеридах и параметрах орбиты для кометы 1996 B2 Hyakutake  
Don Yeomans - JPL, 22.02.1996

Объект: Комета 1996 B2 Hyakutake  
Число наблюдений: 219  
Период наблюдений: 01.01.1996 - 18.02.1996  
Элементы орбиты, эпоха 2450206.50000 = 1996, Май, 3.00000  
Эксцентриситет: e 1.000019546  
Время прохождения перигелия Tr 1996, Май, 1.42385  
Период обращения вокруг Солнца  
(лет, очень приблизительно) 18400

Эфемериды для кометы 1996 B2 Hyakutake										
1996 Date (0 hrs UT)	R.A J2000	Dec	Delta	Deldot	r	Theta	Beta	Moon	TMag	
Mar 12	14 55 14.82	-17 20 25.6	0.455	-56.53	1.310	125.3	38.2	26	5.0	
Mar 14	14 55 23.90	-15 11 34.0	0.390	-55.88	1.271	127.9	38.1	55	4.5	
Mar 16	14 55 15.54	-12 10 16.4	0.326	-54.88	1.232	130.6	37.8	84	4.0	
Mar 18	14 54 41.08	-07 40 28.4	0.263	-53.17	1.192	133.6	37.2	114	3.4	
Mar 20	14 53 22.63	-00 27 09.6	0.204	-49.82	1.152	136.4	36.6	142	2.7	
Mar 22	14 50 35.14	+12 18 24.5	0.150	-42.11	1.111	137.2	37.5	154	1.8	
Mar 24	14 43 40.09	+36 11 54.5	0.111	-22.61	1.070	128.7	46.7	125	1.0	
Mar 26	14 11 52.77	+71 34 19.3	0.104	12.22	1.028	104.0	70.3	84	0.7	
Mar 28	04 06 54.45	+78 57 39.1	0.135	37.35	0.985	80.6	91.6	66	1.1	
Mar 30	03 22 12.78	+63 37 12.9	0.185	47.51	0.942	67.0	102.6	75	1.6	
Apr 1	03 13 42.23	+54 59 43.7	0.242	51.60	0.898	58.8	107.8	95	2.0	
Apr 3	03 09 48.97	+49 41 12.7	0.303	53.52	0.854	53.2	110.3	118	2.2	
Apr 5	03 07 18.49	+46 06 10.4	0.366	54.55	0.808	48.8	111.3	140	2.4	
Apr 7	03 05 18.43	+43 29 34.5	0.429	55.19	0.762	45.2	111.3	152	2.5	
Apr 9	03 03 28.20	+41 28 03.3	0.493	55.64	0.715	41.9	110.7	141	2.5	
Apr 11	03 01 37.43	+39 48 17.8	0.553	56.01	0.667	38.9	109.5	118	2.5	
Apr 13	02 59 39.73	+38 21 59.1	0.622	56.34	0.619	36.0	107.8	92	2.4	
Apr 15	02 57 30.44	+37 03 25.2	0.688	56.66	0.569	33.1	105.6	65	2.2	
Apr 17	02 55 05.57	+35 48 14.3	0.753	56.98	0.519	30.3	102.6	40	2.0	
Apr 19	02 52 21.35	+34 32 39.1	0.819	57.27	0.469	27.4	98.9	21	1.8	
Apr 21	02 49 14.10	+33 12 53.1	0.886	57.43	0.418	24.5	94.0	27	1.4	
Apr 23	02 45 40.35	+31 44 40.3	0.952	57.25	0.368	21.4	87.5	47	1.1	
Apr 25	02 41 37.89	+30 02 46.1	1.017	56.21	0.320	18.2	78.9	70	0.6	
Apr 27	02 37 08.41	+28 00 42.2	1.081	53.31	0.278	14.8	67.3	95	0.1	
Apr 29	02 32 23.84	+25 31 45.5	1.139	46.85	0.246	11.1	52.1	120	-0.3	
May 1	02 27 54.35	+22 33 11.8	1.187	35.66	0.231	7.6	35.2	147	-0.5	
May 3	02 24 23.65	+19 12 23.4	1.220	21.74	0.237	5.4	23.7	173	-0.3	
May 5	02 22 21.17	+15 44 31.7	1.238	9.47	0.263	6.5	26.0	153	0.2	
May 7	02 21 46.17	+12 21 36.9	1.244	0.95	0.301	9.7	34.3	124	0.8	
May 9	02 22 22.16	+09 08 10.0	1.242	-4.35	0.347	13.2	41.8	94	1.4	
May 11	02 23 52.24	+06 04 09.6	1.235	-7.51	0.396	16.8	47.5	66	1.9	
May 13	02 26 03.81	+03 08 01.6	1.225	-9.32	0.447	20.3	51.7	39	2.4	
May 15	02 28 48.32	+00 17 58.0	1.213	-10.28	0.497	23.7	54.7	16	2.9	
May 17	02 32 00.07	-02 27 36.8	1.201	-10.67	0.548	27.0	56.8	21	3.3	
May 19	02 35 35.32	-05 10 01.0	1.189	-10.67	0.598	30.2	58.3	43	3.6	
May 21	02 39 31.63	-07 50 16.6	1.177	-10.38	0.646	33.3	59.2	65	4.0	
May 23	02 43 47.45	-10 29 11.0	1.165	-9.85	0.695	36.4	59.8	87	4.2	
May 25	02 48 21.88	-13 07 19.3	1.154	-9.13	0.742	39.4	60.0	108	4.5	
May 27	02 53 14.50	-15 45 06.1	1.144	-8.24	0.788	42.3	59.9	127	4.8	
May 29	02 58 25.27	-18 22 46.8	1.135	-7.20	0.834	45.3	59.7	142	5.0	

R.A. J2000 Dec. = Прямое восхождение и склонение (эпоха 2000)  
 Поправки, связанные с временем прохождения света, учтены  
 Delta = Геоцентрическое расстояние до объекта в а.е.  
 Deldot = Геоцентрическая радиальная скорость объекта в км/с  
 R = Гелиоцентрическое расстояние до объекта в а.е.  
 Theta = Угол Солнце-Земля-Объект в градусах  
 Beta = Угол Солнце-Объект-Земля в градусах  
 Moon = Угол Объект-Земля-Луна в градусах  
 TMag = Ожидаемая звёздная величина

**III Российская олимпиада школьников  
по астрономии и космической физике.**

г. Калуга  
11-15-мая 1996 г.

Задачи теоретического тура,

**11 класс.**

1. На какой широте проходит южная граница территории, в пределах которой хотя бы одну ночь в году не прекращаются навигационные сумерки (центр Солнца не опускается под горизонт ниже, чем на 12 градусов)? Плоскость небесного экватора наклонена к эклиптике на  $\epsilon = 23^\circ 27'$ .

2. Вам даны данные о комете Hyakutake 1996 B2 (файл из сети internet). Вычислить по этим данным скорость кометы в перигелии.

3. В известном романе Г.Уэллса "Машина времени" первый в истории литературы путешественник во времени рассказывает: "Наконец, больше, чем через 30 миллионов лет, огромный красный купол Солнца заслонил собой десятую часть неба... Местами виднелись пятна снега, ужасный холод окружал меня". Какие ошибки (с астрономической и физической точек зрения) допустил автор.

4. Спутник наблюдается низко над горизонтом. Куда (выше, ниже, точно) надо нацелить оптический лазер, чтобы его луч "попал" в спутник? Учесть рефракцию.

5. Пульсар, излучающий радиоимпульсы с постоянной частотой в собственной системе отсчета, равномерно движется в пространстве относительно Земли. Как будет изменяться наблюдаемая на Земле частота импульсов со временем (из-за эффекта Доплера)? Направление движения пульсара произвольно.

6. Пульсар, находящийся вблизи полюса эклиптики и имеющий массу  $4 \cdot 10^{33}$  г (две массы Солнца) излучает импульсы с периодом 1 с. Точные измерения получаемых сигналов, показали, что их период не строго постоянен и меняется с периодичностью 1 год с амплитудой  $10^8$  с. Спутник какой массы, обращающийся вокруг пульсара по круговой орбите, может вызвать эти изменения?

Информация о эфемеридах и параметрах орбиты для кометы 1996 B2 Hyakutake  
Don Yeomans - JPL, 22.02.1996

Объект: Комета 1996 B2 Hyakutake  
Число наблюдений: 219  
Период наблюдений: 01.01.1996 - 18.02.1996  
Элементы орбиты, эпоха 2450206.50000 = 1996, Май, 3.00000  
Эксцентриситет: e 1.000019546  
Время прохождения перигелия Тр 1996, Май, 1.42385  
Период обращения вокруг Солнца  
(лет, очень приблизительно) 18400

Эфемериды для кометы 1996 B2 Hyakutake										
1996 Date (O hrs UT)	R.A J2000	Dec	Delta	Deldot	r	Theta	Beta	Moon	TMag	
Mar 12	14 55 14.82	-17 20 25.6	0.455	-56.53	1.310	125.3	38.2	26	5.0	
Mar 14	14 55 23.90	-15 11 34.0	0.390	-55.88	1.271	127.9	38.1	55	4.5	
Mar 16	14 55 15.54	-12 10 16.4	0.326	-54.88	1.232	130.6	37.8	84	4.0	
Mar 18	14 54 41.08	-07 40 28.4	0.263	-53.17	1.192	133.6	37.2	114	3.4	
Mar 20	14 53 22.63	-00 27 09.6	0.204	-49.82	1.152	136.4	36.6	142	2.7	
Mar 22	14 50 35.14	+12 18 24.5	0.150	-42.11	1.111	137.2	37.5	154	1.8	
Mar 24	14 43 40.09	+36 11 54.5	0.111	-22.61	1.070	128.7	46.7	125	1.0	
Mar 26	14 11 52.77	+71 34 19.3	0.104	12.22	1.028	104.0	70.3	84	0.7	
Mar 28	04 06 54.45	+78 57 39.1	0.135	37.35	0.985	80.6	91.6	66	1.1	
Mar 30	03 22 12.78	+63 37 12.9	0.185	47.51	0.942	67.0	102.6	75	1.6	
Apr 1	03 13 42.23	+54 59 43.7	0.242	51.60	0.898	58.8	107.8	95	2.0	
Apr 3	03 09 48.97	+49 41 12.7	0.303	53.52	0.854	53.2	110.3	118	2.2	
Apr 5	03 07 18.49	+46 06 10.4	0.366	54.55	0.808	48.8	111.3	140	2.4	
Apr 7	03 05 18.43	+43 29 34.5	0.429	55.19	0.762	45.2	111.3	152	2.5	
Apr 9	03 03 28.20	+41 28 03.3	0.493	55.64	0.715	41.9	110.7	141	2.5	
Apr 11	03 01 37.43	+39 48 17.8	0.553	56.01	0.667	38.9	109.5	118	2.5	
Apr 13	02 59 39.73	+38 21 59.1	0.622	56.34	0.619	36.0	107.8	92	2.4	
Apr 15	02 57 30.44	+37 03 25.2	0.688	56.66	0.569	33.1	105.6	65	2.2	
Apr 17	02 55 05.57	+35 48 14.3	0.753	56.98	0.519	30.3	102.6	40	2.0	
Apr 19	02 52 21.35	+34 32 39.1	0.819	57.27	0.469	27.4	98.9	21	1.8	
Apr 21	02 49 14.10	+33 12 53.1	0.886	57.43	0.418	24.5	94.0	27	1.4	
Apr 23	02 45 40.35	+31 44 40.3	0.952	57.25	0.368	21.4	87.5	47	1.1	
Apr 25	02 41 37.89	+30 02 46.1	1.017	56.21	0.320	18.2	78.9	70	0.6	
Apr 27	02 37 08.41	+28 00 42.2	1.081	53.31	0.278	14.8	67.3	95	0.1	
Apr 29	02 32 23.84	+25 31 45.5	1.139	46.85	0.246	11.1	52.1	120	-0.3	
May 1	02 27 54.35	+22 33 11.8	1.187	35.66	0.231	7.6	35.2	147	-0.5	
May 3	02 24 23.65	+19 12 23.4	1.220	21.74	0.237	5.4	23.7	173	-0.3	
May 5	02 22 21.17	+15 44 31.7	1.238	9.47	0.263	6.5	26.0	153	0.2	
May 7	02 21 46.17	+12 21 36.9	1.244	0.95	0.301	9.7	34.3	124	0.8	
May 9	02 22 22.16	+09 08 10.0	1.242	-4.35	0.347	13.2	41.8	94	1.4	
May 11	02 23 52.24	+06 04 09.6	1.235	-7.51	0.396	16.8	47.5	66	1.9	
May 13	02 26 03.81	+03 08 01.6	1.225	-9.32	0.447	20.3	51.7	39	2.4	
May 15	02 28 48.32	+00 17 58.0	1.213	-10.28	0.497	23.7	54.7	16	2.9	
May 17	02 32 00.07	-02 27 36.8	1.201	-10.67	0.548	27.0	56.8	21	3.3	
May 19	02 35 35.32	-05 10 01.0	1.189	-10.67	0.598	30.2	58.3	43	3.6	
May 21	02 39 31.63	-07 50 16.6	1.177	-10.38	0.646	33.3	59.2	65	4.0	
May 23	02 43 47.45	-10 29 11.0	1.165	-9.85	0.695	36.4	59.8	87	4.2	
May 25	02 48 21.88	-13 07 19.3	1.154	-9.13	0.742	39.4	60.0	108	4.5	
May 27	02 53 14.50	-15 45 06.1	1.144	-8.24	0.788	42.3	59.9	127	4.8	
May 29	02 58 25.27	-18 22 46.8	1.135	-7.20	0.834	45.3	59.7	142	5.0	

R.A. J2000 Dec. = Прямое восхождение и склонение (эпоха 2000)  
 Поправки, связанные с временем прохождения света, учтены  
 Delta = Геоцентрическое расстояние до объекта в а.е.  
 Deldot = Геоцентрическая радиальная скорость объекта в км/с  
 R = Гелиоцентрическое расстояние до объекта в а.е.  
 Theta = Угол Солнце-Земля-Объект в градусах  
 Beta = Угол Солнце-Объект-Земля в градусах  
 Moon = Угол Объект-Земля-Луна в градусах  
 TMag = Ожидаемая звёздная величина

### III Российская олимпиада школьников по астрономии и космической физике.

г. Калуга  
11-15-мая 1996 г.

#### ЗАДАНИЕ НА ПРАКТИЧЕСКИЙ ТУР

У Вас на руках фотография околополярной области неба с кометой Хиякутаки (автор - Данила Чичмарь) и звездная карта. Фотография представляет собой полное увеличенное изображение, полученное с негатива 24x36 мм при неподвижной камере. Используя эти материалы, а также линейку, бумагу (кальку), транспортир и карандаш, попробуйте выполнить следующие задания:

1. Оцените, с какой экспозицией был сделан снимок.
2. Отметьте на звездной карте две самые яркие звезды, получившиеся на фотографии, а также положение кометы.
3. Определите угловой размер снимка (в градусах) и размер видимого хвоста кометы.
4. Определите фокусное расстояние камеры, с помощью которой сделан снимок.

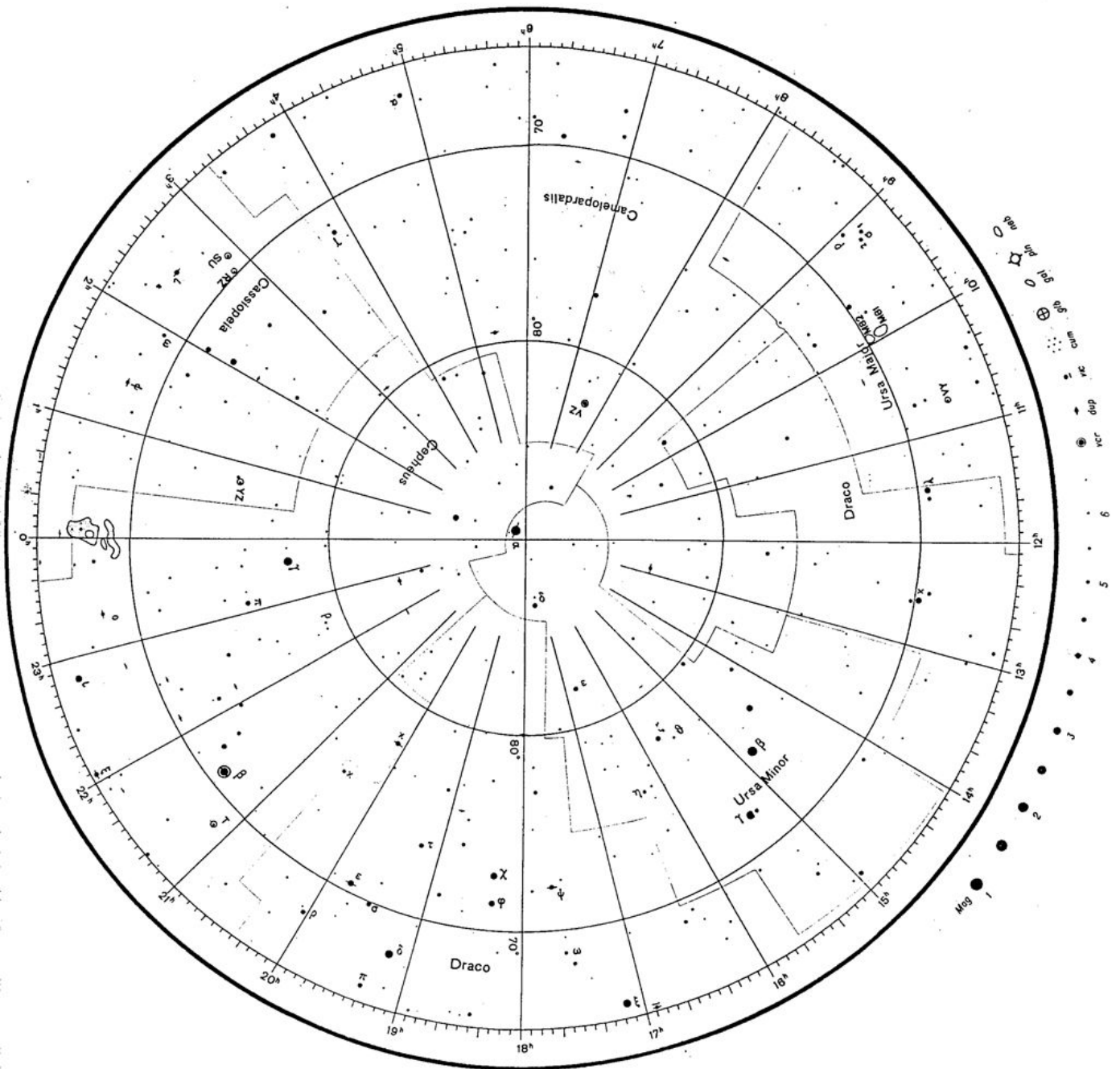
#### ЗАДАНИЕ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Перед Вами находятся:

Линза - 1 шт.;  
Ватманская бумага;  
Ножницы;  
Линейка;  
Циркуль;  
Клей и кисточка;  
Иголка с ниткой;  
Карандаш

Можно ли, используя Вашу смекалку и умение, сделать зрительную трубу. Если да, то каким увеличением зрительная труба будет обладать? Определите и другие характеристики сделанного Вами инструмента.

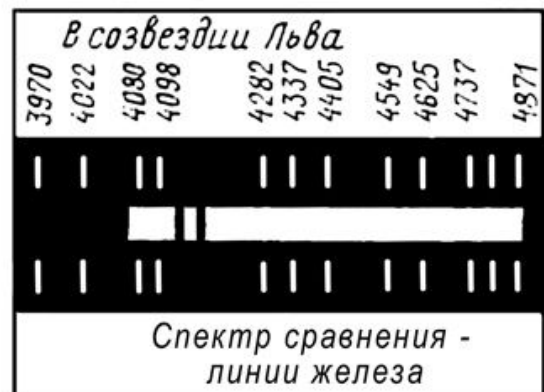
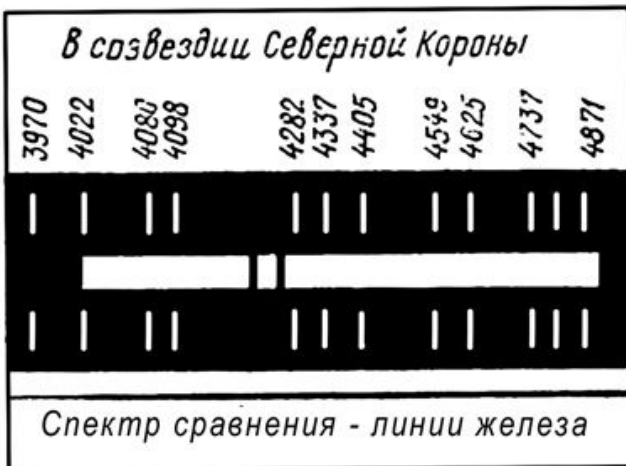
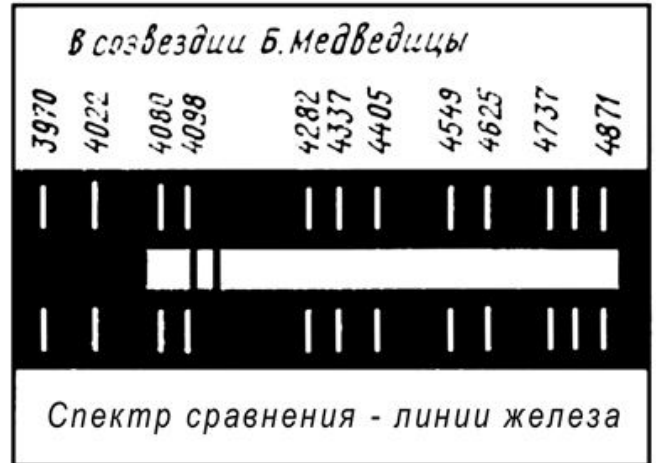
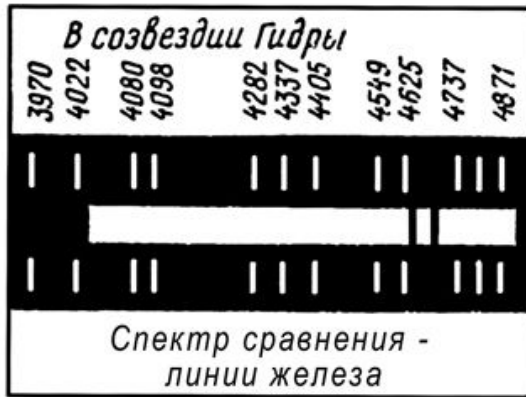
Какие небесные объекты можно пронаблюдать с помощью такого визуального любительского телескопа?



III Российская олимпиада школьников  
по астрономии и космической физике.

г. Калуга  
11-15-мая 1996 г.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ



В Ваше распоряжение представлены фотографии (ксерокопии) спектров далеких звездных систем (галактик), на которых показаны линии поглощения **H** и **K** ионизированного кальция по отношению к ярким линиям паров железа в спектре земного источника.

Известно, что спектры сделаны на разных телескопах с использованием дифракционных, спектрографов. Технические характеристики инструментов (телескопов и спектрографов) отправлены почтой в Калугу, но по причине праздников информация к данному моменту отсутствует.

Указание: длины волн (в ангстремах) в спектре сравнения надписаны около самих линий. Длина волны линий **H** и **K** в земных условиях соответственно равна  $3968 \text{ \AA}$  и  $3964 \text{ \AA}$  (ангстрем).

Какую информацию об этих звездных системах (галактиках) Вы могли бы получить по положению линий в спектрах?

### III Российская олимпиада школьников по астрономии и космической физике.

г. Калуга  
11-15-мая 1996 г.

#### Решения задач теоретического тура

##### 8-9 класс.

1. Первый минимум звёздной величины (т.е. максимум яркости) соответствует наименьшему расстоянию от кометы до Земли - чем ближе к нам небесное тело, тем больше света (при прочих одинаковых условиях) от него до нас доходит. Второй же объясняется близостью кометы к Солнцу: во-первых, комета отражает тем больше солнечного света, чем больше его на неё попадает; а во-вторых, чем ближе комета к Солнцу, тем больше вещества "испаряется" с её ядра - голова и хвост становятся более "насыщенными".

2. Противоречия здесь нет: если в районе перигелия орбита кометы гиперболическая, то это не значит, что комета обязательно улетит за пределы Солнечной системы. Возмущения, вызываемые планетами, могут сделать орбиту замкнутой, особенно, если её эксцентриситет очень близок к единице. У нас реализовался как раз такой случай

3. Во-первых, заметим, что Солнце в полдень на высоте  $h = 72^\circ$  может находиться как к Северу от зенита, так и к Югу. Первый случай соответствует более южной местности, второй - более северной. То есть, угловое расстояние от точки Юга, которое определяется формулой

$$h = 90^\circ - \varphi + \delta,$$

может быть  $h_2 = 90^\circ - 72^\circ = 108^\circ$  и  $h_1 = 72^\circ$ .  $\delta$  - склонение Солнца, которое 19 июня (почти день летнего солнцестояния) практически  $23,5^\circ$ . Получаем два значения широты:  $\varphi_{12} = 90^\circ - h_{12} + \delta$ ,

$$\varphi_1 = 41,5^\circ, \varphi_2 = 5,5^\circ$$

Полдень в местности Вашего приземления наступил в 8 часов 42 минуты Московского летнего времени, то есть, - в 4 часа 42 минуты по Гринвичу. Это говорит о том, что Вы находитесь к востоку от Гринвича, где наступление среднего астрономического полдня наступает (по Гринвичу) во время  $\tau = 12^h - \lambda \cdot (1^h/15^\circ)$ , где  $\lambda$  - восточная долгота местности.

$$\lambda = (12^h - \tau) \cdot 15^\circ/1^h \approx 109^\circ 30' \text{ в.д.}$$

Поправка, связанная с уравнением времени в середине июня незначительна, около  $+1'$ . С этой поправкой средний астрономический полдень наступает на 1 минуту раньше истинного, в  $8^h 41^m$ . Уточнённая долгота местности  $\lambda \approx 109^\circ 45' \text{ в.д.}$

Таким образом, возможны две точки Вашего приземления:

$$41,5^\circ \text{ с.ш.}, 109^\circ 45' \text{ в.д.}$$

$$5,5^\circ \text{ с.ш.}, 109^\circ 45' \text{ в.д.}$$

Посмотрев на карту, обнаруживаем, что второй вариант отпадает - там просторы Южно-Китайского моря и "приземлиться" невозможно. Первый вариант - территория центральной части автономного района "Внутренняя Монголия" Китая, до посольства в Пекине около 550 км и

### III Российская олимпиада школьников по астрономии и космической физике.

г. Калуга  
11-15-мая 1996 г.

дорогу надо спрашивать по-китайски (ну а если Вы им не владеете - попробуйте спросить по-английски, надеемся, им Вы владеть будете).

4. Из третьего закона Кеплера:

$$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3},$$

следовательно, чем меньше радиус орбиты космического корабля, тем меньше период его обращения вокруг Солнца, и минимальному периоду обращения соответствует минимальный радиус орбиты. А минимальный радиус орбиты корабля, если он нестораем, есть просто радиус Солнца:

$$a_{\min} = R_{\text{Солнца}} = \frac{\alpha}{2} R_{\text{Солнце-Земля}};$$

$$\frac{T_{\min}^2}{a_{\min}^3} = \frac{T_{\text{Земли}}^2}{R_{\text{Земли}}^3};$$

$$T_{\min}^2 = T_{\text{Земли}}^2 \left( \frac{\alpha}{2} \right)^3;$$

$$T_{\min} = T_{\text{Земли}} \left( \frac{\alpha}{2} \right)^{3/2};$$

$$T_{\min} = 365.25 \cdot (4.65 \cdot 10^{-3}) \approx 0.116 \text{ сут} \approx 2 \text{ часа } 47 \text{ минут}$$

5. Разность упомянутых в условии звёздных величин

$$\Delta m = m_f - m_m = 17 - (-13) = 30 \quad (=5 + 5 + 5 + 5 + 5 + 5)$$

говорит о том, что поток света от фонаря на расстоянии 250 м в

$$100 \cdot 100 \cdot 100 \cdot 100 \cdot 100 \cdot 100 = 1\,000\,000\,000\,000$$

раз больше, чем поток света от всех фонарей Калуги на расстоянии от Земли до Марса в противостоянии ( $0,38 \text{ а.е.} = 57\,000\,000 \text{ км}$ ). Поток света от одного фонаря при приближении с  $57\,000\,000 \text{ км}$  до  $250 \text{ м}$  увеличивается в

$$(57\,000\,000 \text{ км} / 250 \text{ м})^2 \approx 52\,000\,000\,000\,000\,000 \text{ раз.}$$

Следовательно, в Калуге ночью горит около  $52\,000\,000\,000\,000\,000 / 1\,000\,000\,000\,000 = 52\,000$  фонарей.

6. Скорости космонавтов будут не одинаковы только потому, что Луна вращается вокруг оси. Луна обращена к Земле одной стороной, поэтому период осевого вращения Луны равен периоду ее обращения вокруг Земли ( $T$ ). Относительная скорость будет равна удвоенной экваториальной скорости осевого вращения:

$$V = \frac{2 \cdot 2\pi \cdot R}{T},$$

где  $R$  - радиус Луны. Подставляя  $T = 27,3 \text{ сут} = 2,36 \cdot 10^6 \text{ с}$ ,  
 $R = 1740 \text{ км} = 1,74 \cdot 10^6 \text{ м}$ , получаем:

$$V = 9.3 \text{ м/с.}$$



III Российская олимпиада школьников  
по астрономии и космической физике.

г. Калуга  
11-15-мая 1996 г.

Решения задач теоретического тура

10 класс.

1. Ниже всего Солнце опускается в полночь, в Северном полушарии его "полуночная" высота находится по формуле

$$h = \varphi - 90^\circ + \delta,$$

где  $\delta$  – склонение Солнца. Если  $h$  имеет отрицательное значение, – это означает, что Солнце под горизонтом. Наибольшее склонение Солнце имеет 22 июня,  $\delta = \varepsilon = 23^\circ 27'$ . Граница территории, на которой хотя бы одну ночь в году не прекращаются навигационные сумерки, находится из этого уравнения при  $h = -12^\circ$  и  $\delta = \varepsilon$ :

$$\varphi = -12^\circ + 90^\circ - 23^\circ 27', \quad \varphi = 54^\circ 33'.$$

Заметим, что эта параллель проходит по северной части Калуги (для центра Калуги  $\varphi = 54^\circ 31'$ ).

2. Противоречия здесь нет: если в районе перигелия орбита кометы гиперболическая, то это не значит, что комета обязательно улетит за пределы Солнечной системы. Возмущения, вызываемые планетами, могут сделать орбиту замкнутой, особенно, если её эксцентриситет очень близок к единице. У нас реализовался как раз такой случай.

3. Из таблицы видим, что эксцентриситет орбиты кометы очень близок к единице, то есть орбита является практически параболической. Следовательно, скорость в перигелии в  $2^{1/2}$  больше круговой с тем же радиусом. Из таблицы находим, что он равен  $0,230$  а.е., то есть  $a_1/a_2 = 0,230$ .

Обозначив эту величину через  $\alpha$ , из третьего закона Кеплера, сравнивая с орбитой Земли:

$$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_{\text{Земли}}^2}{a_{\text{Земли}}^3}$$

получаем

$$a_1 = \alpha \cdot a_{\text{Земли}} \quad \text{и} \quad T_1 = \alpha^{3/2} \cdot T_{\text{Земли}}.$$

$$V_I = \frac{2\pi a_1}{T_1} = \frac{2\pi \alpha a_3}{\alpha^{3/2} T_3} = \frac{2\pi a_3}{\alpha^{1/2} T_3}.$$

$$V_{II} = 2^{3/2} \frac{\pi a_3}{\alpha^{1/2} T_3}.$$

Численный ответ:  $V_{II} = 87,8$  км/с.

4. Из третьего закона Кеплера:

$$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3}$$

следовательно, чем меньше радиус орбиты космического корабля, тем меньше период его обращения вокруг Солнца, и минимальному периоду

### III Российская олимпиада школьников по астрономии и космической физике.

г. Калуга  
11-15-мая 1996 г.

обращения соответствует минимальный радиус орбиты. А минимальный радиус орбиты корабля, если он нестораем, есть просто радиус Солнца:

$$a_{\min} = R_{\text{Солнца}} = \frac{\alpha}{2} R_{\text{Солнце-Земля}} ;$$

$$\frac{T_{\min}^2}{a_{\min}^3} = \frac{T_{\text{Земли}}^2}{R_{\text{Земли}}^3} ;$$

$$T_{\min}^2 = T_{\text{Земли}}^2 \left( \frac{\alpha}{2} \right)^3 ;$$

$$T_{\min} = T_{\text{Земли}} \left( \frac{\alpha}{2} \right)^{3/2} ;$$

$$T_{\min} = 365.25 \cdot (4.65 \cdot 10^{-3}) \approx 0.116 \text{ сут} \approx 2 \text{ часа } 47 \text{ минут}$$

5. За 4000 лет длина суток фактически увеличится на 0,068 секунды. Следовательно, при расчётах всего периода предыдущих 4000 лет нужно использовать среднюю длину суток, которая на 0,034 секунды короче нынешних. Земля сделала не 1460976,8 оборотов (что получается из расчета по современной продолжительности суток), а на 0,57 оборота больше. То есть, если мы пренебрегаем замедлением вращения Земли, то расчеты солнечного затмения дадут, например, точку в Тихом океане, вместо Атлантического.

6. Рассмотрим по отдельности три возможных случая:

1. Лучевая скорость пульсара направлена от наблюдателя,
2. Лучевая скорость пульсара направлена к наблюдателю,
3. Лучевая скорость пульсара в момент наблюдения равна нулю.

В первом случае пульсар удаляется от Земли, и с ростом расстояния до наблюдателя угол между вектором его лучевой скорости и вектором полной скорости уменьшается. Следовательно, скорость удаления пульсара от наблюдателя медленно возрастает, поэтому частота импульсов, согласно эффекту Доплера, должна падать.

Во втором случае пульсар приближается к Земле, и с уменьшением расстояния до наблюдателя угол между вектором его лучевой скорости и вектором полной скорости возрастает. Следовательно, скорость приближения пульсара к наблюдателю медленно уменьшается, поэтому частота импульсов, согласно эффекту Доплера, должна падать.

В третьем случае пульсар начинает медленно удаляться от Земли, его лучевая скорость возрастает от нулевого значения. Поэтому частота импульсов, согласно эффекту Доплера, должна падать.

Таким образом, во всех случаях должно наблюдаться медленное уменьшение частоты импульсов пульсара. Кстати, по своей ожидаемой величине оно вполне доступно измерениям для не очень далеких пульсаров и лишь медленное торможение вращения радиопульсаров, также приводящее, к уменьшению частоты импульсов, затрудняет наблюдательное обнаружение рассматриваемого здесь эффекта.

### III Российская олимпиада школьников по астрономии и космической физике.

г. Калуга  
11-15-мая 1996 г.

#### Решения задач теоретического тура

##### 11 класс.

1. Ниже всего Солнце опускается в полночь, в Северном полушарии его "полуночная" высота находится по формуле

$$h = \varphi - 90^\circ + \delta,$$

где  $\delta$  – склонение Солнца. Если  $h$  имеет отрицательное значение, – это означает, что Солнце под горизонтом. Наибольшее склонение Солнце имеет 22 июня,  $\delta = \varepsilon = 23^\circ 27'$ . Граница территории, на которой хотя бы одну ночь в году не прекращаются навигационные сумерки, находится из этого уравнения при  $h = -12^\circ$  и  $\delta = \varepsilon$ :

$$\varphi = -12^\circ + 90^\circ - 23^\circ 27', \quad \varphi = 54^\circ 33'.$$

Заметим, что эта параллель проходит по северной части Калуги (для центра Калуги  $\varphi = 54^\circ 31'$ ).

2. Из таблицы видим, что эксцентриситет орбиты кометы очень близок к единице, то есть орбита является практически параболической. Следовательно, скорость в перигелии в  $2^{1/2}$  больше круговой с тем же радиусом. Из таблицы находим, что он равен  $0,230$  а.е., то есть  $a_1/a_2 = 0,230$ .

Обозначив эту величину через  $\alpha$ , из третьего закона Кеплера, сравнивая с орбитой Земли:

$$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_{\text{Земли}}^2}{a_{\text{Земли}}^3}$$

получаем

$$a_1 = \alpha \cdot a_{\text{Земли}} \quad \text{и} \quad T_1 = \alpha^{3/2} \cdot T_{\text{Земли}}.$$

$$V_I = \frac{2\pi a_1}{T_1} = \frac{2\pi \alpha a_3}{\alpha^{3/2} T_3} = \frac{2\pi a_3}{\alpha^{1/2} T_3}.$$

$$V_{II} = 2^{3/2} \frac{\pi a_3}{\alpha^{1/2} T_3}.$$

Численный ответ:  $V_{II} = 87,8$  км/с.

3. Видимо, автор предполагал, что в результате эволюции Солнце станет остывать. Но 30 миллионов лет, – это очень мало даже для того, чтобы почувствовать какую-нибудь разницу в излучении Солнца по сравнению с нынешней. Это первая и главная ошибка.

Далее, в результате эволюции (конечно, гораздо позже, чем через 30 миллионов лет) Солнце должно превратиться в красный гигант с температурой 3–4 тысячи градусов. Конечно, удалённые звёзды с такой температурой кажутся нам красными; но если такое освещение (абсолютное чёрное тело с температурой  $3-4 \cdot 10^3$  К) доминирует, то человеческий глаз будет воспринимать его почти белым (вспомните, что температура спиралей лампочек накаливания ещё меньше, а освещение в комнате кажется белым, чуть желтоватым).

### III Российская олимпиада школьников по астрономии и космической физике.

г. Калуга  
11-15-мая 1996 г.

Ну и давайте посчитаем, какая температура будет на земле, обращающейся вокруг красного гиганта. Десятая часть неба – это, по видимому, 9 (или 18) градусов, то есть диаметр Солнца увеличился в 18 (а может быть – и более) раз, а его площадь – по крайней мере, в 324 раза. Излучение с единицы площади пропорционально четвёртой степени температуры, следовательно, по сравнению с нынешним Солнцем оно уменьшится не более чем в 16 раз. То есть, даже по самым оптимистическим оценкам, падающее на Землю излучение увеличилось в  $324/16 \approx 20$  раз. При этом температура Земли поднимется более чем в два раза, то есть по шкале Цельсия превысит  $300^\circ$ . Ничего себе "ужасный холод"!

4. Поскольку лазер оптический, можно считать, что он работает в том же спектральном диапазоне, в котором наблюдается спутник. Следовательно, траектория лазерного луча повторит траекторию луча света, соединяющего спутник с наблюдателем. Поэтому нацеливать лазер надо на видимое направление на спутник

5. Рассмотрим по отдельности три возможных случая:

4. Лучевая скорость пульсара направлена от наблюдателя,
5. Лучевая скорость пульсара направлена к наблюдателю,
6. Лучевая скорость пульсара в момент наблюдения равна нулю.

В первом случае пульсар удаляется от Земли, и с ростом расстояния до наблюдателя угол между вектором его лучевой скорости и вектором полной скорости уменьшается. Следовательно, скорость удаления пульсара от наблюдателя медленно возрастает, поэтому частота импульсов, согласно эффекту Доплера, должна падать.

Во втором случае пульсар приближается к Земле, и с уменьшением расстояния до наблюдателя угол между вектором его лучевой скорости и вектором полной скорости возрастает. Следовательно, скорость приближения пульсара к наблюдателю медленно уменьшается, поэтому частота импульсов, согласно эффекту Доплера, должна падать.

В третьем случае пульсар начинает медленно удаляться от Земли, его лучевая скорость возрастает от нулевого значения. Поэтому частота импульсов, согласно эффекту Доплера, должна падать.

Таким образом, во всех случаях должно наблюдаться медленное уменьшение частоты импульсов пульсара. Кстати, по своей ожидаемой величине оно вполне доступно измерениям для не очень далеких пульсаров и лишь медленное торможение вращения радиопульсаров, также приводящее, к уменьшению частоты импульсов, затрудняет наблюдательное обнаружение рассматриваемого здесь эффекта.

6. Пульсар и его спутник обращаются с периодом  $T$  вокруг общего центра масс, расположенного вблизи центра пульсара. Обозначим массу пульсара через  $M$ , массу спутника – через  $m$ . Принимаем, что  $m \ll M$ . Пусть  $V$  – скорость пульсара,  $V_c$  – скорость спутника, а  $R$  и  $R_c$  – радиусы их круговых орбит вокруг центра масс. Тогда, орбитальная скорость пульсара, определенная по эффекту Доплера, составит:

III Российская олимпиада школьников  
по астрономии и космической физике.

г. Калуга  
11-15-мая 1996 г.

$$V = \frac{c \cdot dP}{P} = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot 10^{-8} = 3 \text{ м/с} .$$

В системе отсчета, связанной с центром масс, суммарный вектор импульса спутника и пульсара равен нулю, поэтому

$$V_c \cdot m = V \cdot M, \quad \text{или} \quad m = M \cdot V_c / V$$

(тот же вывод следует и из определения положения центра масс и равенства периодов:  $R/R_c = M/m$ ,  $R_c/V_c = R/V$ ). Скорость спутника на круговой орбите всегда равна

$$V_c = \left( \frac{GM}{R_c} \right)^{1/2} ,$$

где G - гравитационная постоянная. Отсюда

$$T = \frac{2\pi R_c}{V_c} = 2\pi \frac{GM}{V_c^3} ,$$

или

$$V_c = \left( 2\pi \frac{GM}{T} \right)^{1/3} .$$

Подставляя последнее уравнение в первое, получаем:

$$m = M \cdot V \cdot \left( \frac{T}{2\pi \cdot GM} \right)^{1/3} .$$

Подставляя численные значения  $M = 4 \cdot 10^{33} \text{ кг}$ ,  $V = 3 \text{ м/с}$ ,  
 $T = 1 \text{ год} = 3,16 \cdot 10^7 \text{ с}$  и  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$ , получаем:  
 $m = 3,2 \cdot 10^{26} \text{ кг}$ , или 53 массы Земли.