

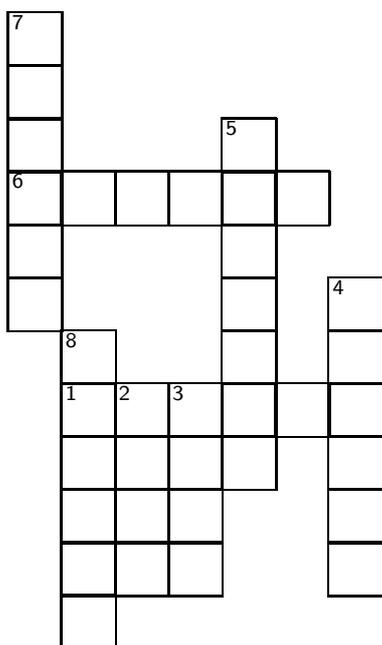
**Всероссийская олимпиада школьников по астрономии**  
**Муниципальный этап, теоретический тур**  
**2022/2023 учебный год**  
**8 класс**

**Решения задач и критерии их оценивания**

**№ 1. «Кроссворд-ревью для 8-го класса»**

**Условие.** Ответьте на следующие вопросы, заполнив ниже представленный кроссворд:

1. Как называется вторая по яркости звезда ночного небосвода Самарской области?
2. Как называется созвездие (по вертикали), в котором расположена точка весеннего равноденствия?
3. Как называется известный астеризм (по вертикали) в созвездии Большая Медведица?
4. Какая единица измерения наиболее удобна в астрономии при определении расстояний до галактик?
5. Как называется географическая координата, которая для г. Самары составляет (с точностью до целых)  $50^\circ$ ?
6. Как называется крупнейший спутник планеты Нептун?
7. У какой планеты Солнечной системы самое быстрое осевое вращение?
8. Назовите фамилию ученого, который впервые рассчитал дату следующего сближения кометы с Солнцем? *Максимальный балл – 8.*



**Решение.**

Ю						
П						
И				Д		
Т	Р	И	Т	О	Н	
Е				Л		
Р				Г		П
	Г			О		А
	А	Р	К	Т	У	Р
	Л	Ы	О	А		С
	Л	Б	В			Е
	Е	Ы	Ш			К
	Й					

**Рекомендации для жюри.**

<b>Выполненная часть решения задачи</b>	<b>Балл</b>
За каждое правильное понятие/ название	1(8)

**№ 2. «Некоторые космические объекты и значения их масс»**

**Условие.** Вашему вниманию в представленных ниже таблицах 1 и 2 даны некоторые космические объекты и характерные значения их масс. Установите соответствие между данными объектами и характерными значениями их масс. К каждой позиции первой таблицы подберите соответствующую позицию второй. Ответ представьте парами «цифра-буква», т.е. например, (1,Н), (7,Г) и т.д.

№	Масштаб	№	Масштаб	№	Масштаб	№	Масштаб
1	Мельчайшие метеороиды, порождающие явление болида	3	Марс	5	Крупнейшие метеориты, обнаруженные человеком	7	Крупнейшие космические пылинки
2	Самые крупные астероиды	4	Сатурн	6	Млечный Путь	8	Звезда Вега

Таблица 1. Некоторые объекты космоса.

№	Масса	№	Масса	№	Масса	№	Масса
А	$10^{-15}$ кг	С	$10^4$ кг	Е	$0.1 \cdot M_{\oplus}$	Г	$2.13 \cdot M_{\odot}$
В	$10^{-1}$ кг	Д	$10^{20}$ кг	Ф	$0.3 \cdot M_J$	Н	$1.5 \cdot 10^{12} M_{\odot}$

Примечание: здесь  $M_{\oplus}$ ,  $M_J$ ,  $M_{\odot}$  – массы Земли, Юпитера и Солнца соответственно.

Таблица 2. К определению приближенных или точных значений масс некоторых космических объектов.

**Решение.** Очевидно испытываемым известны значения масс далеко не для всех объектов, представленных в табл. 1. Поэтому будем решать задачу методом последовательных исключений.

1. Как известно, Марс является планетой земной группы. Согласно справочным данным масса Марса составляет 0.10745 от массы Земли. В итоге имеем пару – (3,Е).

2. Сатурн является представителем группы планет-гигантов. Его масса не должна сильно отличаться от массы Юпитера, однако она меньше последней. Из всех представленных значений в табл. 2 лишь значение Ф является подходящим. В итоге имеем пару – (4,Ф). В этом можно также убедиться, пересчитав массу Сатурна в массах Юпитера с использованием справочных данных.

3. Как известно, значения масс для большинства известных звезд (в том числе и для Веги) отличается от массы Солнца лишь в несколько раз, редко – в десятки раз. В табл. 2 есть лишь

одно значение массы, близкое к массе Солнца. Значит получаем пару – (8,G).

4. Очевидно, Млечный путь является самой крупной физической системой из представленных в табл. 2. Эта галактика содержит сотни миллиардов звезд, а значит и масса этой системы должна быть сопоставима с таким же количеством масс Солнца. Наиболее близкое значение к указанному представлено под буквой Н. Следовательно имеем пару – (6,Н).

5. Самые крупные астероиды близки по размерам и массе к карликовым планетам. Последние близки по значениям масс и радиусов к крупнейшим спутникам больших (классических) планет, например, к Луне. Согласно справочным данным, масса Луны составляет  $7.348 \cdot 10^{22}$  кг. Ближайшее значение в табл. 1 представлено под буквой D. Таким образом, имеем пару – (2,D).

6. Как известно, крупнейшие метеориты, найденные на поверхности Земли, представляют собой тяжелые камни, имеющие поперечник порядка метра. Поскольку эти камни прошли атмосферу Земли, значит они состоят из плотных и тугоплавких материалов, плотность которых является высокой (существенно больше плотности воды). Значит тела, размеры которых порядка метра, и плотность которых больше плотности воды, должны иметь массу не менее  $10^3$  кг или тонны. Ближайшее значение в табл. 2 представлено под буквой С. В итоге имеем пару – (5,С).

7. Самые мельчайшие частицы в космосе традиционно называют *космической пылью*, диаметр самых крупных из которых не превосходит 1 мкм или  $10^{-6}$  м. Оценим массу таких частиц из водяного льда:  $m = \rho \cdot V \approx 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot (10^{-6})^3 = 10^{-15}$  кг. В итоге получается пара (7,A).

8. Остается пара (1,B).

**Ответ:** в итоге получаем следующие пары: (1,B); (2,D); (3,E); (4,F); (5,C); (6,Н); (7,A); (8,G).

**Рекомендации для жюри.**

Выполненная часть решения задачи	Балл
За каждую правильно определенную пару	1(8)

### № 3. «Плотность населения Самарской области и среднее расстояние между ее жителями»

**Условие.** Как известно, в настоящее время население Самарской области составляет 3.132 млн человек. При этом площадь области равна  $53565 \text{ км}^2$ . Определите: а) поверхностную плотность населения области (как количество ее жителей, приходящихся на один квадратный км), б) величину площадки (в  $\text{м}^2$ ), приходящуюся на одного жителя области? Оцените в) среднее расстояние между жителями области (по поверхности Земли), если полагать, что форма каждой такой площадки – квадрат, и каждый житель области расположен в геометрическом центре этого квадрата?

**Решение. 1.** Определим поверхностную плотность  $\sigma$  населения области:

$$\sigma = \frac{N}{S_{SR}} = \frac{3.132 \cdot 10^6 \text{ чел}}{53565 \text{ км}^2} = 58.5 \text{ чел/км}^2. \quad (1)$$

2. Вычислим величину площадки (в  $\text{м}^2$ ), приходящуюся на одного жителя области:

$$S_1 = \frac{S_{SR}}{N} = \frac{53565 \text{ км}^2}{3.132 \cdot 10^6 \text{ чел}} = 17102 \text{ м}^2/\text{чел}. \quad (2)$$

3. Учитывая, что площадка, приходящаяся на одного человека, имеет форму квадрата, сторона которого  $a$  (см. рис. 1), тогда последняя величина связана с  $S_1$  выражением вида:

$$S_1 = a^2, \Rightarrow a = \sqrt{S_1} = 130.8 \text{ м}. \quad (3)$$

4. Полагая далее, что каждый житель города расположен в геометрическом центре такого квадрата, тогда среднее расстояние  $r$  между жителями равно стороне этого квадрата (см. рис. 1). Значит искомая величина  $r = a = 130.8 \text{ м}$ .

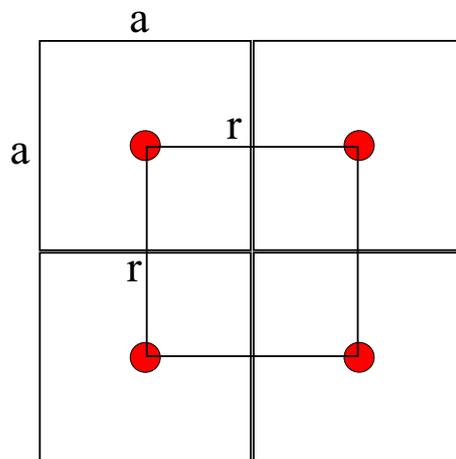


Рис. 1. К определению среднего расстояния между жителями г. Самары.

**Ответ:** к задаче представляется результатами (1)-(2);  $r = 130.8$  м.

**Рекомендации для жюри.**

Выполненная часть решения задачи	Балл
За правильно полученные результаты (1)-(3)	2(6)
Правильно установлена связь между $r$ и $a$ + дано численное значение $r$	1+1

**№ 4. «Загадочное астрономическое явление-2»**

**Условие.** С поверхности какой планеты земной группы можно наблюдать явление, представленное на рис. 2 (на фото светлый круг – видимый диск Солнца)? Как называется это явление? К какому классу объектов Солнечной системы относится "темное" тело, спроецировавшееся на диск Солнца? Как именно называется это тело? Ответ на последний вопрос обоснуйте строго математически. *Максимальный балл – 8.*

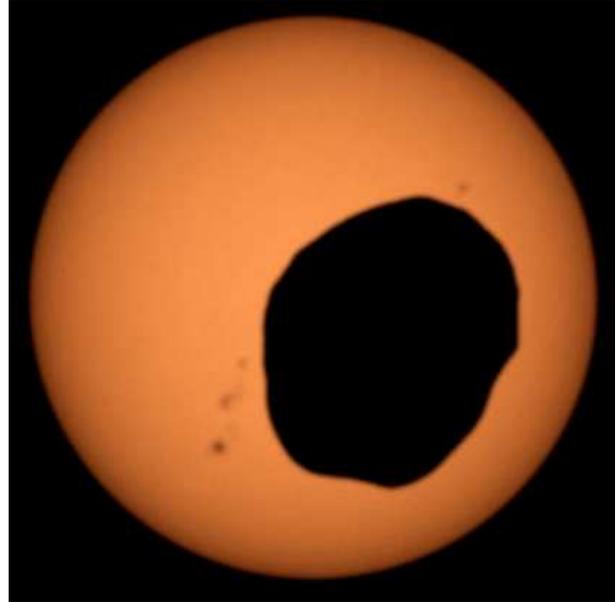


Рис. 2. К задаче №4.

**Решение. 1.** Прежде всего, необходимо четко понимать: какое астрономическое явление запечатлено на данной фотографии. Поскольку светлый круглый диск – это Солнце, то на его поверхность спроецировалось *тело неправильной формы*, расположенное между Солнцем и наблюдателем. Неправильной формой обладают в Солнечной системе лишь астероиды, кометы и некоторые небольшие спутники больших планет. Очевидно, угловые размеры темного тела сопоставимы с угловыми размерами Солнца, но все же меньше указанных. Значит темное тело, располагалось относительно близко к планете земной группы, с поверхности которой велась съемка. Значит, вероятнее всего, это спутник этой планеты.

Как известно у Меркурия и Венеры спутников нет. Кроме того, с поверхности Венеры невозможно, в принципе, увидеть Солнце из-за плотной и непрозрачной атмосферы. У Земли имеется лишь один крупный естественный спутник – Луна. Она имеет правильную сферическую форму. Значит данное явление свершилось с участием одного из спутников *Марса (Фобоса или Деймоса)*, с поверхности которого велась съемка.

**2.** Поскольку темное тело (спутник) лишь частично закрывает более далекое от наблюдателя тело – Солнце, то запечатленное явление – *транзит*, явление проецирования диска небесного тела меньших угловых размеров на диск более далекого тела с большими угловыми размерами. Если угловые размеры более близкого тела не меньше угловых размеров более далекого тела, то более близкое тело может полностью закрыть более далекое от наблюдателя и породить явление *затмения*.

**3.** Далее необходимо определить какой именно спутник (*Фобос* или *Деймос*) запечатлен на фотографии. Для этого определим линейный масштаб фотографии. Заметим, что угловой диаметр Солнца на среднем расстоянии Марса от Солнца равен

$$D''_{\odot} = \frac{2\mathfrak{R}_{\oplus}}{a_{\text{M}}} \times 3438' = \frac{2 \cdot 695500 \text{ км}}{1.5237 \cdot 149597870 \text{ км}} \times 3438' = 21.0'. \quad (4)$$

Определим с помощью линейки по фотографии линейные размеры Солнца –  $d_{\odot} = 115$  мм, и наибольший  $\times$  наименьший размеры темного тела –  $b_{\text{max}} \times b_{\text{min}} = 63 \times 49$  мм. Составим пропорцию для угловых и линейных размеров данных тел:

$$\left\{ \begin{array}{l} D''_{\odot} \rightarrow d_{\odot}, \\ D''_{\text{max}} \times D''_{\text{min}} \rightarrow b_{\text{max}} \times b_{\text{min}} \end{array} \right\}, \Rightarrow D''_{\text{max}} \times D''_{\text{min}} = D''_{\odot} \left( \frac{b_{\text{max}} \times b_{\text{min}}}{d_{\odot}} \right) = 11.5' \times 8.9'. \quad (5)$$

Оценим максимальные угловые размеры Фобоса и Деймоса при наблюдении их из подсолнечной точки. С использованием справочных данных имеем

$$D''_{\text{Phobos}} = \frac{2\mathfrak{R}_{\text{Phobos}}}{r_{\text{Phobos}} - \mathfrak{R}_{\oplus}} \times 3438' = \frac{2 \cdot 10 \text{ км}}{(9380 - 3397.2) \text{ км}} \times 3438' = 11.5', \quad (6)$$

$$D''_{\text{Deimos}} = \frac{2\mathfrak{R}_{\text{Deimos}}}{r_{\text{Deimos}} - \mathfrak{R}_{\oplus}} \times 3438' = \frac{2 \cdot 6 \text{ км}}{(23460 - 3397.2) \text{ км}} \times 3438' = 2.1'. \quad (7)$$

Из сравнения значений (4), (6)-(7) следует, что на картинке запечатлен именно Фобос.

**Ответ:** с поверхности Марса; транзит; спутник большой планеты, Фобос.

**Рекомендации для жюри.**

Выполненная часть решения задачи	Балл
С использованием логических рассуждений явно назван Марс, с поверхности которого была получена эта фотография	2
Явно указано, что темное тело является естественным спутником Марса. Названы кандидаты: Фобос и Деймос	1
Правильно названо запечатленное явление – транзит / указано близкое по смыслу, но все же неверное понятие затмения	2/ 1
Дано правильное математическое обоснование, что на снимке запечатлен именно Фобос	3

*На решение задач муниципального этапа олимпиады по астрономии школьникам отводится 3 часа.*

## Основные справочные данные

### §1. Основные физические и астрономические постоянные

- Гравитационная постоянная –  $G = 6.674 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$
- Скорость света в вакууме –  $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
- Универсальная газовая постоянная –  $R = 8.31 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$
- Постоянная Стефана-Больцмана –  $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{К}^{-4}$
- Масса протона –  $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
- Масса электрона –  $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
- Астрономическая единица –  $1 \text{ а.е.} = 1.496 \cdot 10^{11} \text{ м}$
- Парсек –  $1 \text{ пк} = 3.261 \text{ св. лет} = 206265 \text{ а.е.} = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ м}$
- Постоянная Хаббла –  $H = 72 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$

### §2. Данные о Солнце

- Радиус –  $6.955 \cdot 10^5 \text{ км}$
- Масса –  $1.989 \cdot 10^{30} \text{ кг}$
- Светимость –  $3.827 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$
- Спектральный класс – G2
- Видимая звездная величина –  $-26.74^m$
- Абсолютная болометрическая звездная величина –  $+4.83^m$
- Показатель цвета (B-V) –  $+0.67^m$
- Эффективная температура –  $5778 \text{ К}$
- Средний горизонтальный параллакс –  $8.794''$
- Интегральный поток энергии на расстоянии Земли –  $1360 \text{ Вт/м}^2$
- Поток энергии в видимых лучах на расстоянии Земли –  $600 \text{ Вт/м}^2$

### §3. Данные о Земле

- Эксцентриситет орбиты –  $0.017$
- Тропический год –  $365.24219 \text{ сут}$
- Средняя орбитальная скорость –  $29.8 \text{ км/с}$
- Период вращения –  $23 \text{ часа } 56 \text{ минут } 04 \text{ секунды}$
- Наклон экватора к эклиптике на эпоху 2000.0 –  $23^\circ 26' 21.45''$
- Экваториальный радиус –  $6378.14 \text{ км}$
- Полярный радиус –  $6356.77 \text{ км}$
- Масса –  $5.974 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
- Средняя плотность –  $5.52 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$
- Объемный состав атмосферы –  $\text{N}_2$  (78%),  $\text{O}_2$  (21%),  $\text{Ar}$  ( $\sim 1\%$ )

### §4. Данные о Луне

- Среднее расстояние от Земли –  $384400 \text{ км}$
- Минимальное расстояние от Земли –  $356410 \text{ км}$
- Максимальное расстояние от Земли –  $406700 \text{ км}$
- Эксцентриситет орбиты –  $0.055$
- Наклон плоскости орбиты к эклиптике –  $5^\circ 09'$
- Сидерический (звездный) период обращения –  $27.321662 \text{ сут}$
- Синодический период обращения –  $29.530589 \text{ сут}$

- Радиус – 1738 км
- Масса –  $7.348 \cdot 10^{22}$  кг или 1/81.3 массы Земли
- Средняя плотность –  $3.34 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$
- Визуальное геометрическое альbedo – 0.12
- Видимая звездная величина в полнолуние –  $-12.7^m$

### §5. Физические характеристики Солнца и планет

Планета	Масса		Радиус		Плотность г·см <sup>-3</sup>	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты градусы	Геометрич. альbedo	Вид. звездная величина*
	кг	массы Земли	км	радиусы Земли					
Солнце	$1.989 \cdot 10^{30}$	332946	695500	108.97	1.41	25.380 сут	7.25	–	$-26.8^m$
Меркурий	$3.302 \cdot 10^{23}$	0.05271	2439.7	0.3825	5.42	58.646 сут	0.00	0.10	$-0.1$
Венера	$4.869 \cdot 10^{24}$	0.81476	6051.8	0.9488	5.20	243.019 сут <sup>†</sup>	177.36	0.65	$-4.4^m$
Земля	$5.974 \cdot 10^{24}$	1.00000	6378.1	1.0000	5.52	23.934 час	23.45	0.37	–
Марс	$6.419 \cdot 10^{23}$	0.10745	3397.2	0.5326	3.93	24.623 час	25.19	0.15	$-2.0^m$
Юпитер	$1.899 \cdot 10^{27}$	317.94	71492	11.209	1.33	9.924 час	3.13	0.52	$-2.7^m$
Сатурн	$5.685 \cdot 10^{26}$	95.181	60268	9.4494	0.69	10.656 час	25.33	0.47	$0.4^m$
Уран	$8.683 \cdot 10^{25}$	14.535	25559	4.0073	1.32	17.24 час <sup>†</sup>	97.86	0.51	$5.7^m$
Нептун	$1.024 \cdot 10^{26}$	17.135	24746	3.8799	1.64	16.11 час	28.31	0.41	$7.8^m$

\* для наибольшей элонгации Меркурия и Венеры и среднего противостояния внешних планет;

† – обратное вращение.

### §6. Характеристики орбит планет

Планета	Большая полуось		Эксцентриситет	Наклон к плоскости эклиптики градусы	Период обращения	Синодический период сут
	млн. км	а.е.				
Меркурий	57.9	0.3871	0.2056	7.004	87.97 сут	115.9
Венера	108.2	0.7233	0.0068	3.394	224.70 сут	583.9
Земля	149.6	1.0000	0.0167	0.000	365.26 сут	–
Марс	227.9	1.5237	0.0934	1.850	686.98 сут	780.0
Юпитер	778.3	5.2028	0.0483	1.308	11.862 лет	398.9
Сатурн	1429.4	9.5388	0.0560	2.488	29.458 лет	378.1
Уран	2871.0	19.1914	0.0461	0.774	84.01 лет	369.7
Нептун	4504.3	30.0611	0.0097	1.774	164.79 лет	367.5

## §7. Характеристики некоторых спутников планет

Спутник	Масса	Радиус	Плотность	Радиус орбиты	Период обращения	Геометрич. альбе-до	Вид. звездная величина*
	кг	км	г·см <sup>-3</sup>	км	сут		
<b>Земля</b>							
Луна	$7.348 \cdot 10^{22}$	1738	3.34	384400	27.32166	0.12	-12.7
<b>Марс</b>							
Фобос	$1.08 \cdot 10^{16}$	~ 10	2.0	9380	0.31910	0.06	11.3
Деймос	$1.8 \cdot 10^{15}$	~ 6	1.7	23460	1.26244	0.07	12.4
<b>Юпитер</b>							
Ио	$8.94 \cdot 10^{22}$	1815	3.55	421800	1.769138	0.61	5.0
Европа	$4.8 \cdot 10^{22}$	1569	3.01	671100	3.551181	0.64	5.3
Ганимед	$1.48 \cdot 10^{23}$	2631	1.94	1070400	7.154553	0.42	4.6
Каллисто	$1.08 \cdot 10^{23}$	2400	1.86	1882800	16.68902	0.20	5.7
<b>Сатурн</b>							
Тефия	$7.55 \cdot 10^{20}$	530	1.21	294660	1.887802	0.9	10.2
Диона	$1.05 \cdot 10^{21}$	560	1.43	377400	2.736915	0.7	10.4
Рея	$2.49 \cdot 10^{21}$	765	1.33	527040	4.517500	0.7	9.7
Титан	$1.35 \cdot 10^{23}$	2575	1.88	1221850	15.94542	0.21	8.2
Япет	$1.88 \cdot 10^{21}$	730	1.21	3560800	79.33018	0.20	~ 11.0
<b>Уран</b>							
Миранда	$6.33 \cdot 10^{19}$	235.8	1.15	129900	1.413479	0.27	16.3
Ариэль	$1.7 \cdot 10^{21}$	578.9	1.56	190900	2.520379	0.34	14.2
Умбриэль	$1.27 \cdot 10^{21}$	584.7	1.52	266000	4.144177	0.18	14.8
Титания	$3.49 \cdot 10^{21}$	788.9	1.70	436300	8.705872	0.27	13.7
Оберон	$3.03 \cdot 10^{21}$	761.4	1.64	583500	13.46324	0.24	13.9
<b>Нептун</b>							
Тритон	$2.14 \cdot 10^{22}$	1350	2.07	354800	5.87685 <sup>†</sup>	0.7	13.5

\* – для полнолуния или среднего противостояния внешних планет;

† – обратное вращение.

## §8. Формулы приближенного вычисления

$$\sin x \approx \operatorname{tg} x \approx x;$$

$$\sin(x \pm \alpha) \approx \sin \alpha \pm x \cos \alpha;$$

$$\cos(x \pm \alpha) \approx \cos \alpha \mp x \sin \alpha;$$

$$\operatorname{tg}(x \pm \alpha) \approx \operatorname{tg} \alpha \pm \frac{x}{\cos^2 \alpha};$$

$$(1 + x)^n \approx 1 + nx;$$

здесь  $x \ll 1$ , все углы выражаются в радианах.