

Условие

Задание 9-1. «Влияние вращения Земли?»

1. Во всех пунктах задания (кроме п. 2.3) повторные измерения не требуются. Однако при необходимости Вы можете провести эти измерения. Для записи их результатов в Таблицах предусмотрены дополнительные столбцы.

2. В данном задании погрешности необходимо рассчитывать только в тех пунктах, где это требуется по условию.

3. Вам выдана Инструкция по использованию секундомера с памятью этапов. Тщательно ознакомьтесь с ней. Потренируйтесь проводить измерения с запоминанием промежуточных значений времен. Если возникнут вопросы по работе с секундомером, немедленно обращайтесь за помощью к членам оргкомитета.

4. Не будьте многословными, все требуемые обоснования могут быть сформулированы в виде одного, двух предложений!

Приборы и оборудование: штатив, металлический стержень, подвешенный на двух нитях, линейка, секундомер с памятью этапов.

Известно, что вращение Земли влияет на некоторые процессы, протекающие на ее поверхности. Например, вращение Земли приводит к тому, что правые берега рек на территории Беларуси в среднем более крутые, чем левые. Хорошо известен опыт Фуко с маятником, который наглядно демонстрирует вращение Земли вокруг своей оси.

В данной работе исследуется вращение стержня, подвешенного на двух нитях. Оказывается, что закон раскручивания стержня зависит от направления вращения.

В школьном курсе физики вы изучаете только два вида движения: равномерное и равноускоренное. Однако многие движения описываются другими более сложными законами, как, например, в данном задании.

Проверьте: в вашей установке длины нитей должны быть равны $l = (40 \pm 1)$ см, расстояние между нитями $l = (10 \pm 1)$ см, изменять их не следует!

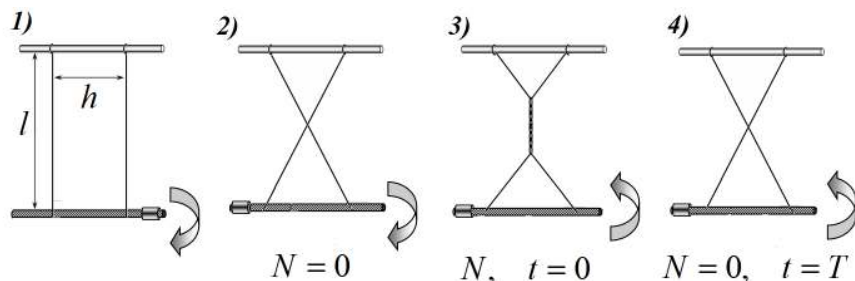


Рис.1

Для проведения измерений используйте следующую методику. Из начального положения, когда нити вертикальны (1), поверните стержень на половину оборота (2), при этом нити соприкоснутся. Далее поворачивайте стержень, так чтобы нити скручивались, сделайте требуемое количество оборотов N (3). После доверните стержень еще на половину оборота и

отпустите его. Запустите секундомер, когда стержень при раскручивании (в сторону противоположную направлению закручивания) повернется на половину оборота и займет положение, показанное на (3). После этого измеряйте времена требуемых оборотов вращения.

В данной задаче используются две связанные между собой координаты (см. рис.2):

N - число оборотов при закручивании нитей (отсчитывается от нижнего положения стержня (см. рис. 1.2) снизу-вверх);

k - число оборотов, сделанных стержнем в ходе раскручивания нитей, отсчитываемое от положения $N = 30$ (рис. 1.3) (отсчитывается сверху вниз).

Часть 1. Изучение закона движения.

В данной части вам необходимо исследовать закон движения стержня при 30 оборотах свободного вращения. Начальное положение стержня соответствует $N_0 = 30$ и нулевой начальной скорости. Измерения проведите с шагом $\Delta k = 3$. Используйте секундомер с памятью этапов, засекайте времена через каждые три оборота.

1.1 Измерьте времена t_k , за которые стержень делает k оборотов из начального положения при вращении стержня против часовой и по часовой стрелке.

1.2 Постройте графики законов движения $k(t)$ при вращении стержня против часовой и по часовой стрелке.

Далее Вам необходимо выбрать одну из двух моделей движения стержня.

Модель 1. Равноускоренное движение, при котором закон движения описывается функцией

$$k = At^2 \quad (1)$$

Модель 2. Закон «трех вторых», при котором закон движения описывается функцией

$$k = Bt^{3/2} \quad (2)$$

1.3 Постройте графики зависимостей времени числа оборотов t_k от числа оборотов для некоторых функций $f(k)$, позволяющей наглядно определить, какая из функций (1) или (2), точнее описывает вращение стержня при его вращении против часовой и по часовой стрелке. Укажите, какие функции $f(k)$ Вы использовали. Значения этих функций занесите в соответствующие столбцы Таблицы 1.

1.4 Укажите, какой из законов точнее описывает изучаемое движение. Укажите диапазоны значений числа оборотов N , где полученные экспериментальные данные могут быть описаны выбранным Вами законом движения.

1.5 Для выбранного закона движения оцените графически численные значения коэффициентов A или B (для вращений в каждую сторону), оцените погрешности найденных значений.

1.6 Укажите, можно ли считать, что законы вращения в разные стороны различаются. Ответ кратко обоснуйте.

Сделайте основной вывод на основе проведенных измерений

1.7 Рассчитайте средние угловые скорости вращения стержня в каждом направлении в Части 1 вашей работы. Рассчитайте угловую скорость вращения Земли вокруг своей оси.

1.8 Укажите, можно ли считать вращение Земли причиной различных законов вращения против часов и по часовой стрелке.

1.9 Укажите основную причину различных характеристик вращения стержня в противоположных направлениях.

Часть 2. Время раскручивания.

В данной части Вам необходимо исследовать зависимость времени полного раскручивания T_N стержня от начального значения N (без начальной скорости) до нижнего положения $N = 0$. Измерения проведите только при раскручивании против часовой стрелки.

2.1 Измерьте зависимости времени $T(N)$ полного раскручивания стержня от числа оборотов N для значений $N = 5, 10, 15, 20, 25$.

2.2 Оцените погрешность измерения времени раскручивания для $N = 10$. Для этого проведите не менее 5 измерений этого времени.

Зависимость времени раскручивания от начального числа оборотов приближенно может быть описана степенной функцией

$$T(N) = AN^\gamma \quad (3)$$

где γ - некоторый показатель степени (не обязательно целое число).

2.3 Используя результаты измерений зависимости определите показатель степени γ в формуле (3), при котором функция (3) наиболее точно описывает ваши экспериментальные данные.

Подсказка. В листах ответов приведены графики функций $y = x^\gamma$ на интервале $x \in [0, 1]$ при значениях показателя степени γ от $\gamma = 0,1$ (верхняя кривая) до $\gamma = 1$ (нижняя прямая) с шагом $0,1$. Воспользуйтесь этими графиками для ответа на поставленный вопрос. Можете произвести некоторые дополнительные расчеты и построения на этом бланке. Кратко опишите Ваш метод определения показателя степени.

Решение

Задача 9-1 «Влияние вращения Земли?» Решение.

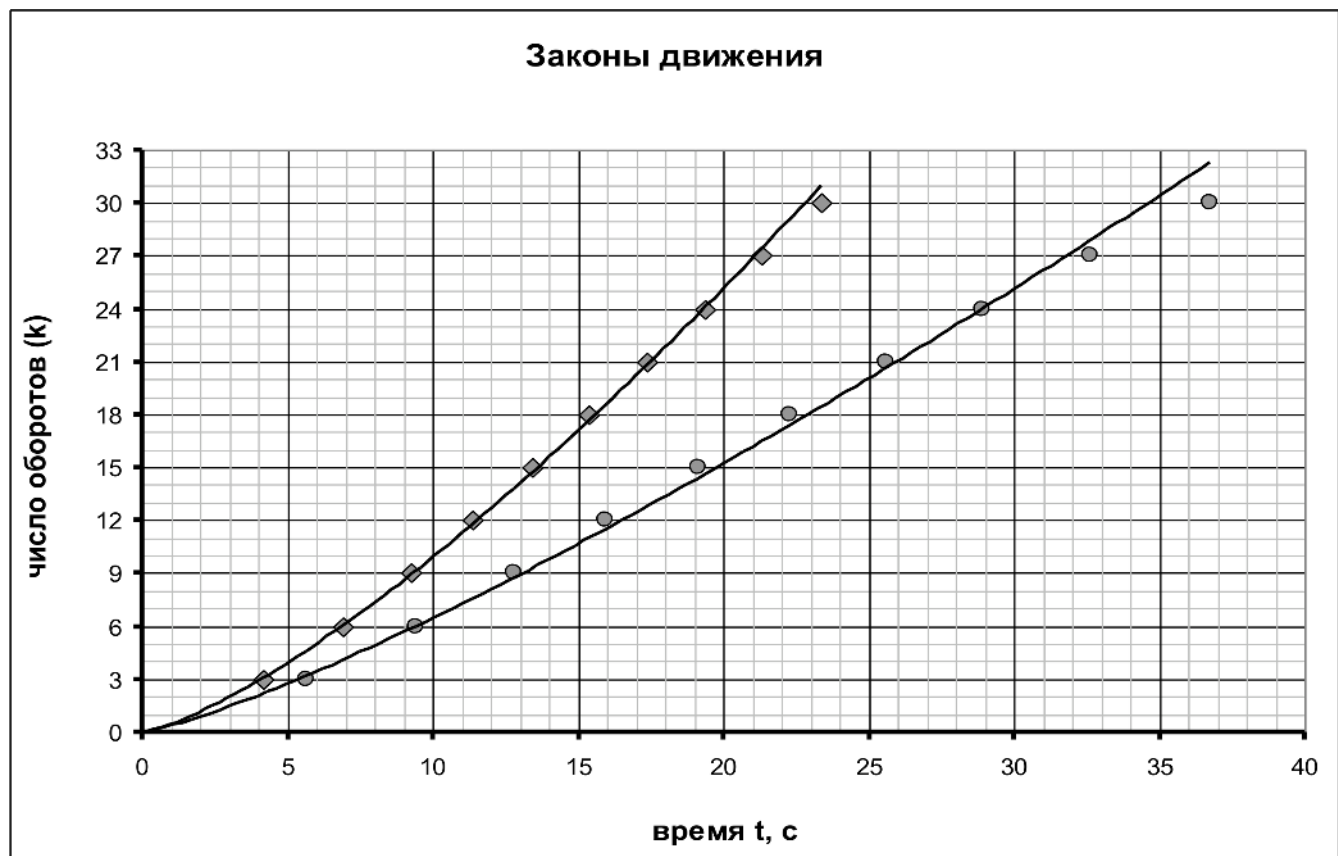
Часть 1. Изучение закона движения.

1. Таблица 1. Результаты измерений законов движения.

Проведено 2 измерения в каждую сторону, графики и обработка проведены по средним значениям.

			против часовой стрелки	по часовой стрелке					
k	$f_1(k)$	$f_2(k)$	t, с		$\langle t \rangle$	t, с			$\langle t \rangle$
0	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0		0,00
3	1,732	2,080	5,69	5,63	5,66	4,16	4,18		4,17
6	2,449	3,302	9,42	9,48	9,45	6,99	6,88		6,94
9	3,000	4,327	12,81	12,80	12,81	9,36	9,19		9,28
12	3,464	5,241	16,00	15,94	15,97	11,46	11,28		11,37
15	3,873	6,082	19,18	19,06	19,12	13,52	13,33		13,43
18	4,243	6,868	22,37	22,18	22,28	15,47	15,26		15,37
21	4,583	7,612	25,66	25,53	25,60	17,44	17,28		17,36
24	4,899	8,320	29,01	28,83	28,92	19,50	19,27		19,39
27	5,196	9,000	32,68	32,63	32,66	21,50	21,17		21,34
30	5,477	9,655	36,75	36,77	36,76	23,51	23,27		23,39

1.2 Графики законов движения.



1.3 Проверка законов движения

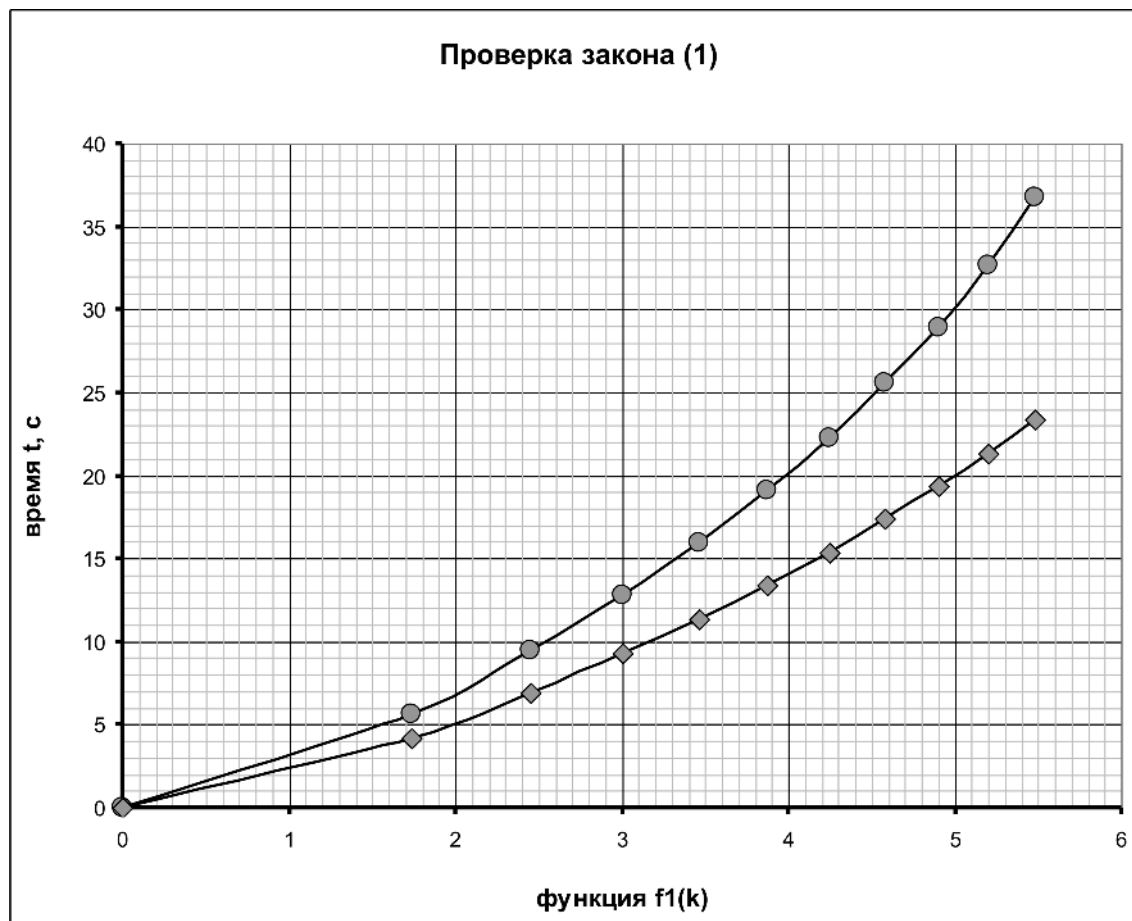
Проверка закона (1): $k = At^2$.

Из формулы (1) следует, что $t = \frac{1}{\sqrt{A}} \sqrt{k}$

Поэтому следует взять $f_1(k) = \sqrt{k}$

$$t = \frac{1}{\sqrt{A}} \sqrt{k}$$

График для проверки закона

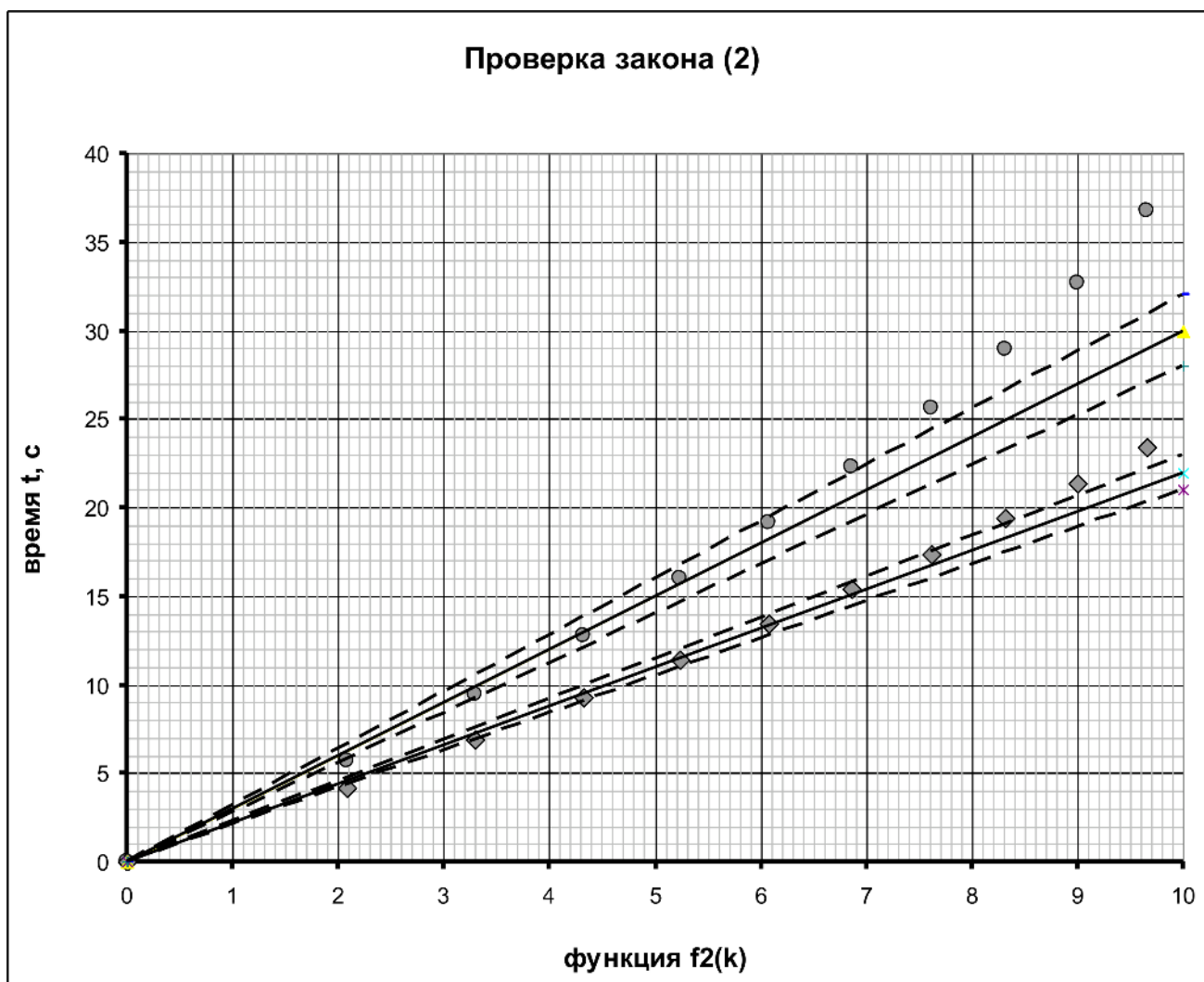


Проверка закона (2): $k = Bt^{3/2}$.

В данном случае $t = \left(\frac{k}{B}\right)^{2/3} = \sqrt[3]{\left(\frac{k}{B}\right)^2}$, поэтому следует взять функцию

$$f_2(k) = \sqrt[3]{k^2}$$

График для проверки закона



1.4 Какой из законов точнее описывает явление?

Точнее описывает закон (2) – так как экспериментальные точки лежат ближе к приближенным прямым, проходящим через начало координат.

Для вращения по часовой стрелке (нижний график) этот закон можно использовать для интервала N от 0 до $N \approx 20$

Для вращения против часовой стрелки диапазон до $N \approx 15$

1.5 Расчет коэффициента пропорциональности.

Метод расчета, расчетная формула для коэффициента, метод расчета погрешности, формула для погрешности

По графику можно найти коэффициенты наклона приближенных линейных зависимостей.

Из формулы $t = \left(\frac{k}{B}\right)^{23} = \sqrt[3]{\left(\frac{k}{B}\right)^2}$, следует, что коэффициент наклона линейной зависимости $a = \frac{1}{\sqrt[3]{B^2}}$. «основной» прямой, и двух прямых, определяющих верхнюю и нижнюю границы.

Следовательно, $B = \frac{1}{\sqrt[3]{a^3}}$.

Из правил вычисления погрешности степенной функции следует, что $\Delta B = \frac{3}{2} \langle B \rangle \frac{\Delta a}{\langle a \rangle}$.

Численные значения коэффициентов и их погрешности

Для вращения против часовой стрелки $a \approx 2,2 \pm 0,1$, тогда $B = 0,31 \pm 0,2$

для вращения по часовой стрелки $a \approx 3,0 \pm 0,2$ тогда $B = 0,19 \pm 0,2$

1.6 Различаются ли законы вращения в разные стороны? Обоснование.

Законы различаются, так различия в коэффициентах пропорциональности превышают погрешности их определения.

1.7 Угловые скорости вращения

Для стержня угловая скорость рассчитывается по формуле $\omega = \frac{2\pi k}{t_k}$

Для Земли $\omega = \frac{2\pi}{T}$, где T - период вращения Земли, сутки.

по часовой стрелке	против часовой стрелки	Вращения Земли
$\omega \approx 5,1 \text{ c}^{-1}$	$\omega \approx 8,2 \text{ c}^{-1}$	$\omega \approx 5,0 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$

1.8 Влияет ли вращение Земли на вращение стержня в вашем эксперименте? Почему?

Конечно, не влияет, так как угловая скорость ее вращения в сто тысяч раз меньше угловых скоростей вращения стержней.

1.9 Основная причина в различии законов вращения в разные стороны

Основная причина – изначальная скрученность нитей!

Часть 2. Время раскручивания.

2.1 Таблица 2. Результаты измерений времен раскручивания.

N	$T, \text{ c}$		$T >$	$\frac{N}{25}$	$\frac{T}{T_{\max}}$
5	21,42	21,32	21,37	0,20	0,62
10	26,59	26,56	26,57	0,40	0,77
15	30,13	30,08	30,11	0,60	0,87
20	32,62	32,52	32,57	0,80	0,94
25	34,71	34,71	34,71	1,00	1,00

2.2 Оценка погрешности измерения времени раскручивания.

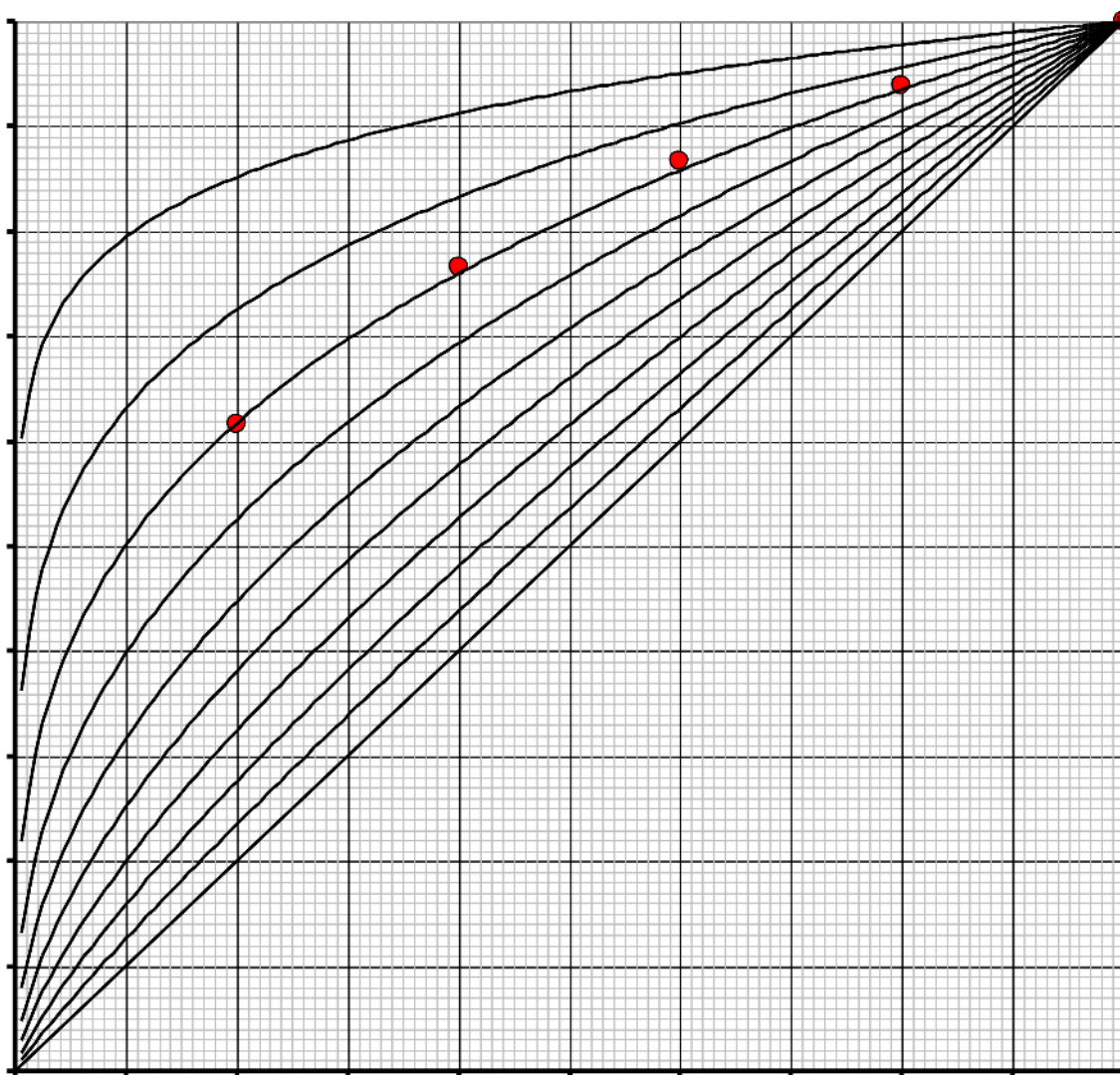
Измерения	формулы для расчета погрешности	
номер n	время T	Расчет может быть проведен по любому принятому методу. В данном случае по формуле $\Delta T = \sqrt{\frac{(T - \langle T \rangle)^2}{n(n-1)}}$
1	26,59	
2	26,47	
3	26,61	
4	26,56	
5	26,53	
6	26,42	
		Численное значение погрешности измерения
		$T = (26,53 \pm 0,01) \text{ c}$

2.3 Как определить показатель степени? Краткое описание метода.

Нужно провести «нормировку» степенной зависимости $T(N) = AN^\gamma$, представив ее в виде $\frac{T}{T_{\max}} = \left(\frac{N}{N_{\max}}\right)^\gamma$, рассчитать нормированные величины (в последних столбцах Таблицы 2), нанести точки на бланк с графиками степенных зависимостей и посмотреть к какой кривой они ближе всего.

Результат по нашим измерениям однозначен: значение показателя степени $\gamma \approx 0,3$

Графики степенных функций.



Найденное значение показателя степени γ .

$$\gamma \approx 0,3$$