

Условие

Задание 11-1. Подбери зависимость!

Физика – наука экспериментальная! Развитие практически любого раздела физики начинается с накопления наблюдений, качественных, а затем количественных экспериментов. Очень часто экспериментальные исследования проводятся без строгой теории – накапливаются экспериментальные данные, появляются эмпирические (на основе опыта) зависимости.

В данном задании Вам предстоит продемонстрировать свои умения в количественном описании экспериментально полученных зависимостей.

Предмет исследования – вращение воды в банке.

Оборудование: стеклянная банка 0,5 л; ложечка для размешивания, секундомер электронный с памятью этапов, деревянные зубочистки, клейкая лента.

Для измерения законов вращения воды в банке, разметьте ее: прикрепите 4 кусочка клейкой ленты на боковую поверхность банки на равном расстоянии друг от друга, на несите на них метки, тем самым Вы сможете измерять углы поворота (с точностью до четверти оборота). Углы поворота φ следует измерять в оборотах, угловые скорости ω в «оборотах в секунду». Для наблюдения вращения и измерения его характеристик удобно использовать зубочистку, которую следует аккуратно опускать в центр банки, после раскручивания воды. Вода должна заполнять $\frac{3}{4}$ банки.

Для описания законов движения Вы должны использовать 3 модели:

1) равномерное вращение

$$\varphi = \omega_0 t; \quad (1)$$

2) вращение с постоянным ускорением

$$\varphi = \omega_0 t - \frac{\beta t^2}{2}; \quad (2)$$

3) экспоненциальное затухание

$$\omega = \omega_0 \exp(-\gamma t). \quad (3)$$

Будем считать, что модель применима, если она описывает закон движения с погрешностью, не превышающей 10%. Модель равномерного движения рассматривается только на начальном этапе вращения (время от нуля и до...)

Все измерения проведите в двух случаях:

А) «быстрое» вращение, когда начальная угловая скорость превышает 0,5 оборота/с:

Б) «медленное» вращение, когда начальная угловая скорость меньше 0,2 оборота/с.

Рекомендуем в случае А) проводить измерен времен каждого оборота; в случае Б) можно засекают времена через каждые четверть оборота.

1. Проведите измерения угла поворота воды в банке от времени: для случаев «быстрого» и «медленного» вращений. Постройте графики полученных зависимостей.

Предложите для каждой описанной модели движения такой график, который позволяет выделить область применимости этой модели.

11 класс. Экспериментальный тур. 2

2. Постройте графики, позволяющие выделить области применимости каждой из трех оговоренных моделей. Выделите диапазоны угловых скоростей, в которых данная модель применима. Определите параметры формул, описывающих движение воды.

3. Укажите, какая модель описывает движение в наибольшем диапазоне углов поворота.

4. Оцените погрешность определения параметра γ в модели (3) в диапазоне применимости этой модели. Укажите физический смысл этого параметра.

11 класс. Экспериментальный тур. 3

Решение

Задание 11-1. Подбери зависимость!

1. Результаты измерений зависимостей угла поворота жидкости от времени приведены в таблицах и соответствующих графиках.

Таблица 1. «Быстрое» вращение.

$t, \text{с}$	$\varphi,$	φ/t	ω	$\ln \omega$
0	0			
2,33	1	0,43	0,458	-0,782
4,37	2	0,46	0,481	-0,732
6,49	3	0,46	0,409	-0,894
9,26	4	0,43	0,376	-0,978
11,81	5	0,42	0,326	-1,120
15,39	6	0,39	0,270	-1,308
19,21	7	0,36	0,239	-1,432
23,76	8	0,34	0,202	-1,597
29,09	9	0,31	0,156	-1,856
36,55	10	0,27	0,116	-2,154
46,32	11	0,24	0,274	

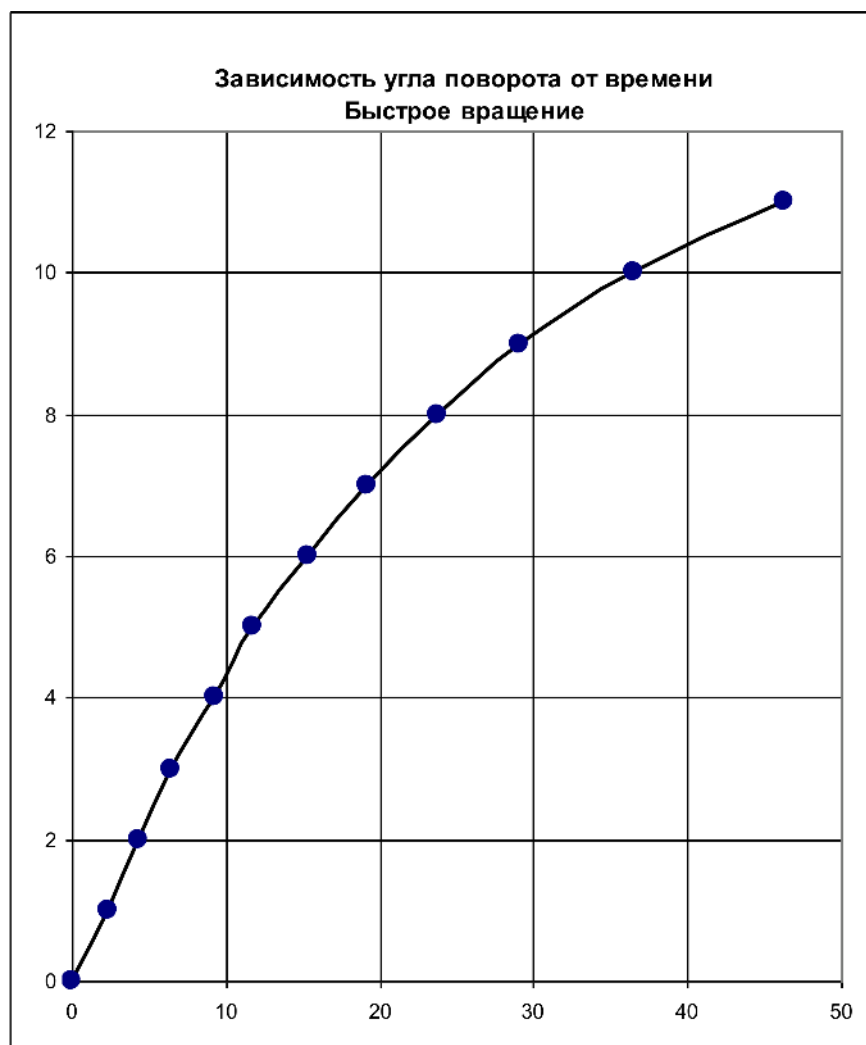


Таблица 2. «Медленное» вращение.

t , с	φ , кол. об.	φ/t	ω	$\ln \omega$
0	0			
1,06	0,25	0,24	0,242	-1,421
2,07	0,5	0,24	0,281	-1,270
2,84	0,75	0,26	0,303	-1,194
3,72	1,00	0,27	0,281	-1,270
4,62	1,25	0,27	0,250	-1,386
5,72	1,5	0,26	0,221	-1,509
6,88	1,75	0,25	0,226	-1,486
7,93	2,00	0,25	0,200	-1,609
9,38	2,25	0,24	0,186	-1,683
10,62	2,50	0,24	0,193	-1,645
11,97	2,75	0,23	0,235	

t, с	φ,	φ/t	ω	ln ω
	кол. об.			
0	0			
1,06	0,25	0,24	0,242	-1,421
2,07	0,5	0,24	0,281	-1,270
2,84	0,75	0,26	0,303	-1,194
3,72	1,00	0,27	0,281	-1,270
4,62	1,25	0,27	0,250	-1,386
5,72	1,5	0,26	0,221	-1,509
6,88	1,75	0,25	0,226	-1,486
7,93	2,00	0,25	0,200	-1,609
9,38	2,25	0,24	0,186	-1,683
10,62	2,50	0,24	0,193	-1,645
11,97	2,75	0,23	0,235	



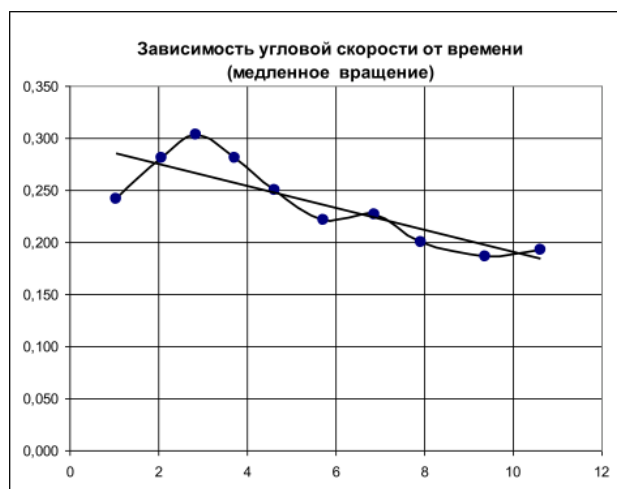
В таблицах также посчитаны угловые скорости вращения воды в сосуде ω . Расчеты этой величины проведены по симметрично схеме:

$$\omega(t_k) = \frac{\varphi_{k+1} - \varphi_{k-1}}{t_{k+1} - t_{k-1}}$$

2. Чтобы выделить области применимости модели, полученные зависимости необходимо линеаризовать.

Так область применимости модели равномерного движения определяется видом построенных графиков: им соответствуют диапазоны, где эти зависимости можно считать линейными и проходящими через начало координат. С этой точки зрения для быстрого вращения является область первых 10 с. Для медленного вращения в пределах погрешности измерения такой областью можно считать весь временной диапазон.

Для проверки модели равноускоренного движения можно построить зависимость угловой скорости от времени, которая теоретически описывается линейной функцией $\omega = \omega_0 - \beta t$. Ниже приведены графики этих зависимостей.



Из этих графиков следует, что: При быстром вращении модель не применима потому, что четка видна нелинейность зависимости; При медленном вращении малость изменения угловой скорости (вспомните, движение почти равномерное) не позволяет на фоне неизбежных ошибок измерения выделить линейный участок. Для проверки модели экспоненциального затухания надо построить полученную зависимость в полупологарифмическом масштабе. Что сделано на следующем рисунке.

Этот график свидетельствует, что эта модель хорошо описывает быстрое движение жидкости практически во всем диапазоне.



3. Таким образом, быстрое вращение лучше всего описывается моделью экспоненциально затухания. Медленное вращение – моделью равномерного движения.

4. Параметр этой модели $\gamma = -0,042\text{с}^{-1}$ есть постоянная затухания. Погрешность найденного значения 8%. Наиболее наглядный смысл имеет обратная величина – имеющая смысл характерного времени затухания.

