ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ

КОЛЕБАТЕЛЬНОГО И ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

*Цель работы*: исследование динамики колебательного движения на примере крутильного маятника, определение момента инерции маятника, модуля сдвига материала его подвеса и характеристик колебательной системы с затуханием (логарифмического декремента затухания и добротности колебательной системы).

*Приборы и принадлежности*: крутильный маятник, секундомер, масштабная линейка, микрометр.

ОСНОВНЫЕ РАСЧЁТНЫЕ ФОРМУЛЫ

Момент инерции кольца:

, (1)

где , ‒ внешний и внутренний диаметры кольца,

*m* – его масса.

Момент инерции диска:

, (2)

где *I*к – момент инерции кольца,

*ω*0д  и *ω*0к – собственные частоты крутильных колебаний «диска» маятника без кольца и с кольцом.

Модуль сдвига:

 (3)

где *l* – длина подвеса,

*d* – его диаметр,

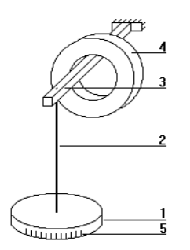
*k* – его коэффициент кручения.

Модуль Юнга:

 (4)

где *ν* = 0,3 (для металлов).

# ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Применяемый в работе крутильный маятник представляет собой диск 1, закрепленный на упругой стальной проволоке 2, свободный конец которой зажат в неподвижном кронштейне 3. На кронштейне расположено кольцо 4, масса которого известна. Кольцо 4 можно положить сверху на диск 1, изменив тем самым момент инерции маятника. Для отсчета значений угла поворота маятника служит градуированная шкала 5, помещенная на панели прибора снизу от диска 1.

ПРОТОКОЛ НАБЛЮДЕНИЙ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

« ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ

КОЛЕБАТЕЛЬНОГО И ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ»

Измерение времени колебаний маятника

Таблица 1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № | *t*д, с | *t*0д, с | *t*к, с | *t*0к, с |
| 1 | 11,47 | 48,93 | 16,28 | 55,50 |
| 2 | 11,40 | 52,75 | 16,22 | 53,75 |
| 3 | 11,41 | 51,44 | 16,22 | 55,41 |
| 4 | 11,44 | 50,28 | 16,25 | 52,25 |
| 5 | 11,40 | 54,87 | 16,28 | 53,97 |

Константы эксперимента

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *l*, мм | *d*, мм | , мм | , мм | , мм | , мм | *m*, г | , кг∙ |
| 638 | 2,5 | 248 | 58,6 | 248 | 37 | 1898 | 1,18∙103 |

Выполнил Шишкин Фёдор Сергеевич

Факультет КТИ

Группа 0336

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_

Преподаватель \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

***Обработаем данные прямых измерений времени колебаний.***

**1. Время десяти колебаний диска *t*д**

1) Упорядочим выборку в порядке возрастания ее элементов:



2) Проведем проверку выборки на наличие грубых погрешностей и ее связность по размаху выборки:



Размах выборки 

.

3) Вычислим выборочное среднее:





4) Вычислим выборочное среднеквадратичное отклонение (СКО) среднего:







5) Определим случайную погрешность:

, 



6) Определим оценочное значение случайной погрешности по размаху выборки:

, 





Видно, что .

7) Приборная погрешность секундомера **

8) Рассчитаем полную погрешность результата измерения:



9) Вычислим относительную погрешность:





10) Результат измерения:



**2. Время уменьшения амплитуды колебаний диска *t*0д в 2 раза**

1) Упорядочим выборку в порядке возрастания ее элементов:



2) Проведем проверку выборки на наличие грубых погрешностей и ее связность по размаху выборки:



Размах выборки 

.

Видим, что , т.е. грубых погрешностей нет.3) Вычислим выборочное среднее:





4) Вычислим выборочное среднеквадратичное отклонение (СКО) среднего:







5) Определим случайную погрешность:

, 



6) Определим оценочное значение случайной погрешности по размаху выборки:

, 



Видно, что .

7) Приборная погрешность секундомера ** значительно меньше, чем .

8) Полная погрешность результата измерения:



9) Вычислим относительную погрешность:





10) Результат измерения:



**3. Время десяти колебаний диска с кольцом *t*к**

1) 

2) 



.

Видим, что , т.е. грубых погрешностей нет.3) 



4) 





5) , 



6) , 



Видно, что .

7) **.

8) 

9) 



10) Результат измерения:



**4. Время уменьшения амплитуды колебаний диска с кольцом *t*0к в 2 раза.**

1) 

2) 

Размах выборки 

.

3) 









5) , 



6) , 



Видно, что .

7) Приборная погрешность секундомера ** значительно меньше, чем .

8) Полная погрешность результата измерения:



9) 



10) Результат измерения:



***Рассчитаем периоды и частоты колебаний диска без кольца и с кольцом.***



1) 















2) 















***Рассчитаем времена затухания колебаний диска без кольца и с кольцом.***



1) 







2) 







***Рассчитаем собственные частоты ω*0д *и ω*0к *колебаний маятника без кольца и с кольцом.***



1) 



2) 



***Вычислим погрешности величин ω*0д *и ω*0к *методом переноса погрешностей.***

1) 













2) 







***Рассчитаем момент инерции кольца по формуле* (1):**



***Рассчитаем момент инерции диска по формуле* (2):**



***Вычислим погрешность момента инерции диска методом переноса погрешностей.***



















***Рассчитаем значение момента инерции диска маятника I*д *исходя из его размеров и плотности материала.***





Экспериментальное и теоретическое значения момента инерции диска маятника отличаются, теоретическое значение не попадает в доверительный интервал экспериментального значения.

***Найдём коэффициент кручения k:***





***Найдём значение модуля сдвига G по формуле* (3):**



***Найдём значение модуля Юнга по формуле* (4):**



Согласно справочным данным, значения модуля Юнга:

для стали 2,2∙1011 Па,

для никеля 2,1∙1011 Па,

для меди 1,2∙1011 Па.

Полученное экспериментальным путем значение модуля Юнга не противоречит справочным данным.

***Найдём начальное значение полной энергии маятника:***

, где 



***Найдём значение мощности потерь:***



*t = T*д = 0,97725 с, *τ*д = 26,629 с



***Определим добротность маятника:***



***Определим логарифмический декремент затухания:***



***Уравнение затухающих колебаний маятника имеет вид***



Построим графики зависимости угла поворота маятника (диска без кольца) *φ*(*t*) и амплитуды *A*(*t*) его колебаний от времени *t*.



*τ*д = 74,520 с





Данные для построения графиков зависимости угла поворота

маятника *φ*(*t*) и амплитуды *A*(*t*) его колебаний от времени *t*

Таблица 3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ***t***, с | *t/τ* | ***A*(*t*)**, рад | cos*ωt* | ***φ*(*t*)**, рад |
| 0,00 | 0,000000 | 0,5230 | 1,000000 | 0,52300 |
| 0,05 | 0,001878 | 0,5220 | 0,948823 | 0,49530 |
| 0,10 | 0,003755 | 0,5210 | 0,800528 | 0,41711 |
| 0,15 | 0,005633 | 0,5201 | 0,570296 | 0,29659 |
| 0,20 | 0,007511 | 0,5191 | 0,281691 | 0,14622 |
| 0,25 | 0,009388 | 0,5181 | -0,035746 | -0,01852 |
| 0,30 | 0,011266 | 0,5171 | -0,349525 | -0,18075 |
| 0,35 | 0,013144 | 0,5162 | -0,627528 | -0,32391 |
| 0,40 | 0,015021 | 0,5152 | -0,841300 | -0,43344 |
| 0,45 | 0,016899 | 0,5142 | -0,968961 | -0,49827 |
| 0,50 | 0,018777 | 0,5133 | -0,997444 | -0,51196 |
| 0,55 | 0,020654 | 0,5123 | -0,923834 | -0,47329 |
| 0,60 | 0,022532 | 0,5113 | -0,755665 | -0,38641 |
| 0,65 | 0,024409 | 0,5104 | -0,510150 | -0,26037 |
| 0,70 | 0,026287 | 0,5094 | -0,212418 | -0,10821 |
| 0,75 | 0,028165 | 0,5085 | 0,107055 | 0,05444 |
| 0,80 | 0,030042 | 0,5075 | 0,415571 | 0,21091 |
| 0,85 | 0,031920 | 0,5066 | 0,681552 | 0,34525 |
| 0,90 | 0,033798 | 0,5056 | 0,877772 | 0,44382 |
| 0,95 | 0,035675 | 0,5047 | 0,984147 | 0,49667 |
| 1,00 | 0,037553 | 0,5037 | 0,989791 | 0,49858 |
| 1,05 | 0,039431 | 0,5028 | 0,894124 | 0,44955 |
| 1,10 | 0,041308 | 0,5018 | 0,706940 | 0,35477 |
| 1,15 | 0,043186 | 0,5009 | 0,447396 | 0,22410 |
| 1,20 | 0,045064 | 0,5000 | 0,142059 | 0,07102 |
| 1,25 | 0,046941 | 0,4990 | -0,177818 | -0,08873 |
| 1,30 | 0,048819 | 0,4981 | -0,479494 | -0,23883 |
| 1,35 | 0,050697 | 0,4971 | -0,732092 | -0,36396 |
| 1,40 | 0,052574 | 0,4962 | -0,909757 | -0,45143 |
| 1,45 | 0,054452 | 0,4953 | -0,994304 | -0,49246 |
| 1,50 | 0,056330 | 0,4944 | -0,977078 | -0,48302 |
| 1,55 | 0,058207 | 0,4934 | -0,859844 | -0,42427 |
| 1,60 | 0,060085 | 0,4925 | -0,654601 | -0,32239 |
| 1,65 | 0,061963 | 0,4916 | -0,382356 | -0,18796 |
| 1,70 | 0,063840 | 0,4907 | -0,070975 | -0,03482 |
| 1,75 | 0,065718 | 0,4897 | 0,247671 | 0,12129 |
| 1,80 | 0,067595 | 0,4888 | 0,540966 | 0,26443 |
| 1,85 | 0,069473 | 0,4879 | 0,778891 | 0,38002 |
| 1,90 | 0,071351 | 0,4870 | 0,937092 | 0,45635 |
| 1,95 | 0,073228 | 0,4861 | 0,999378 | 0,48577 |
| 2,00 | 0,075106 | 0,4852 | 0,959372 | 0,46545 |
| 2,05 | 0,076984 | 0,4842 | 0,821169 | 0,39765 |
| 2,10 | 0,078861 | 0,4833 | 0,598916 | 0,28948 |
| 2,15 | 0,080739 | 0,4824 | 0,315361 | 0,15214 |
| 2,20 | 0,082617 | 0,4815 | -0,000473 | -0,00023 |
| 2,25 | 0,084494 | 0,4806 | -0,316259 | -0,15200 |
| 2,30 | 0,086372 | 0,4797 | -0,599674 | -0,28768 |
| 2,35 | 0,088250 | 0,4788 | -0,821709 | -0,39345 |
| 2,40 | 0,090127 | 0,4779 | -0,959638 | -0,45864 |
| 2,45 | 0,092005 | 0,4770 | -0,999344 | -0,47672 |
| 2,50 | 0,093883 | 0,4761 | -0,936762 | -0,44602 |
| 2,55 | 0,095760 | 0,4752 | -0,778297 | -0,36988 |
| 2,60 | 0,097638 | 0,4743 | -0,540170 | -0,25623 |
| 2,65 | 0,099516 | 0,4735 | -0,246754 | -0,11683 |
| 2,70 | 0,101393 | 0,4726 | 0,071918 | 0,03399 |
| 2,75 | 0,103271 | 0,4717 | 0,383230 | 0,18076 |
| 2,80 | 0,105149 | 0,4708 | 0,655316 | 0,30852 |
| 2,85 | 0,107026 | 0,4699 | 0,860327 | 0,40428 |
| 2,90 | 0,108904 | 0,4690 | 0,977279 | 0,45838 |
| 2,95 | 0,110781 | 0,4682 | 0,994202 | 0,46544 |
| 3,00 | 0,112659 | 0,4673 | 0,909364 | 0,42492 |
| 3,05 | 0,114537 | 0,4664 | 0,731447 | 0,34115 |
| 3,10 | 0,116414 | 0,4655 | 0,478664 | 0,22283 |
| 3,15 | 0,118292 | 0,4647 | 0,176887 | 0,08219 |
| 3,20 | 0,120170 | 0,4638 | -0,142996 | -0,06632 |
| 3,25 | 0,122047 | 0,4629 | -0,448242 | -0,20750 |
| 3,30 | 0,123925 | 0,4620 | -0,707608 | -0,32694 |
| 3,35 | 0,125803 | 0,4612 | -0,894547 | -0,41254 |
| 3,40 | 0,127680 | 0,4603 | -0,989925 | -0,45567 |
| 3,45 | 0,129558 | 0,4594 | -0,983979 | -0,45209 |
| 3,50 | 0,131436 | 0,4586 | -0,877318 | -0,40232 |
| 3,55 | 0,133313 | 0,4577 | -0,680859 | -0,31165 |
| 3,60 | 0,135191 | 0,4569 | -0,414711 | -0,18947 |
| 3,65 | 0,137069 | 0,4560 | -0,106115 | -0,04839 |
| 3,70 | 0,138946 | 0,4552 | 0,213343 | 0,09710 |
| 3,75 | 0,140824 | 0,4543 | 0,510963 | 0,23213 |
| 3,80 | 0,142702 | 0,4534 | 0,756284 | 0,34294 |
| 3,85 | 0,144579 | 0,4526 | 0,924196 | 0,41829 |
| 3,90 | 0,146457 | 0,4517 | 0,997512 | 0,45062 |
| 3,95 | 0,148335 | 0,4509 | 0,968727 | 0,43680 |
| 4,00 | 0,150212 | 0,4501 | 0,840788 | 0,37840 |
| 4,05 | 0,152090 | 0,4492 | 0,626791 | 0,28156 |
| 4,10 | 0,153967 | 0,4484 | 0,348638 | 0,15632 |
| 4,15 | 0,155845 | 0,4475 | 0,034801 | 0,01557 |
| 4,20 | 0,157723 | 0,4467 | -0,282599 | -0,12623 |
| 4,25 | 0,159600 | 0,4458 | -0,571073 | -0,25461 |
| 4,30 | 0,161478 | 0,4450 | -0,801095 | -0,35650 |
| 4,35 | 0,163356 | 0,4442 | -0,949121 | -0,42158 |
| 4,40 | 0,165233 | 0,4433 | -1,000000 | -0,44334 |
| 4,45 | 0,167111 | 0,4425 | -0,948523 | -0,41973 |
| 4,50 | 0,168989 | 0,4417 | -0,799961 | -0,35333 |
| 4,55 | 0,170866 | 0,4409 | -0,569519 | -0,25107 |
| 4,60 | 0,172744 | 0,4400 | -0,280783 | -0,12355 |
| 4,65 | 0,174622 | 0,4392 | 0,036692 | 0,01612 |
| 4,70 | 0,176499 | 0,4384 | 0,350411 | 0,15361 |
| 4,75 | 0,178377 | 0,4376 | 0,628264 | 0,27490 |
| 4,80 | 0,180255 | 0,4367 | 0,841811 | 0,36765 |
| 4,85 | 0,182132 | 0,4359 | 0,969195 | 0,42249 |
| 4,90 | 0,184010 | 0,4351 | 0,997376 | 0,43396 |
| 4,95 | 0,185888 | 0,4343 | 0,923472 | 0,40105 |
| 5,00 | 0,187765 | 0,4335 | 0,755045 | 0,32729 |
| 5,05 | 0,189643 | 0,4327 | 0,509336 | 0,22037 |
| 5,10 | 0,191521 | 0,4318 | 0,211494 | 0,09133 |

График зависимости угла поворота маятника *φ*(*t*) от времени *t*



График зависимости амплитуды *A*(*t*) колебаний маятника от времени *t* 

ВЫВОД

1. В ходе выполнения лабораторной работы исследована динамика колебательного движения на примере крутильного маятника и определен момент инерции маятника (диска). Получено значение



Теоретическое значение момента инерции маятника:



2. Рассчитаны значения

1)модуля сдвига материала подвеса маятника

,

2) модуля Юнга

,

3) начальной полной энергии маятника

,

4) мощности потерь



5) добротности маятника

,

6) логарифмического декремента затухания

.

3. В соответствии с уравнением затухающих колебаний маятника

построены графики зависимости угла поворота маятника *φ*(*t*) и амплитуды *A*(*t*) его колебаний от времени *t*.