

14. Из формулы (34) следует, что $M = I\omega\Omega$, т.е. график зависимости вращающего момента M от произведения $\omega\Omega$ является прямой с тангенсом угла наклона равным моменту инерции гироскопа. Постройте этот график и определите момент инерции гироскопа.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ К РАБОТЕ

1. Изучите приближенную теорию гироскопа.
2. Расскажите о применении гироскопов в технике.
3. В чем на ваш взгляд отличие прецессионного движения от других движений под действием внешних сил?
4. Расскажите о цели работы и полученных результатах.
5. Вы убедились (см. «Ход работы» пункт 7), что если вертикальная ось уравновешенного гироскопа свободна, его ось симметрии не меняет своего направления в пространстве при легких постукиваниях по штоку. Объясните причину такой устойчивости гироскопа. Почему, если вертикальная ось закреплена (пункт 8) гироскоп теряет устойчивость?
6. Объясните, почему с течением времени ось прецессирующего гироскопа выходит из горизонтальной плоскости?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА N 27.

МАЯТНИК МАКСВЕЛЛА

Цель работы – изучение вращательного движения и метода определения момента инерции металлических колец с помощью маятника Максвелла.

Маятник Максвелла – это массивный диск, насаженный на ось, на которую с двух сторон намотаны нити. Под действием сил тяжести и натяжения нитей маятник опускается, убыстряя вращение. Это длится до тех пор, пока нити не размотаются на полную длину. Сообщив “рывок” нитям, маятник продолжает вращаться в том же направлении и, наматывая нити на ось, поднимается вверх. Достигнув верхней точки, диск опять начнет опускаться вниз и т.д. Таким образом, имеет место колебательное движение диска маятника Максвелла вверх и вниз.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Приборы и принадлежности: маятник Максвелла, металлические кольца, штангенциркуль, весы.

Основание прибора 1 (см. рис. 9) оснащено регулируемыми ножками 2, которые позволяют произвести его горизонтальное выравнивание. В основании закреплена колонна 3, к которой прикреплен неподвижный верхний кронштейн 4 и подвижный нижний кронштейн 5. На верхнем кронштейне находится электромагнит 6, первый фотоэлектрический датчик 7 и вороток 8 для закрепления и регулирования бифилярной подвески маятника. Нижний кронштейн вместе с прикрепленным к нему вторым фотоэлектрическим датчиком 9 можно перемещать вдоль колонки и фиксировать в произвольно избранном положении. На диск маятника 10 надеваются сменные кольца 11. Маятник с одним из сменных колец удерживается в верхнем положении электромагнитом.

Длина маятника измеряется по миллиметровой шкале на колонне прибора. С целью облегчения этого измерения нижний кронштейн оснащен указателем, помещенным на высоте оптической оси нижнего фотоэлектрического датчика. Фотоэлектрический датчик соединен с электронным миллисекундомером 12.

Время падения диска маятника t связано с его массой m и моментом инерции I соотношением:

$$I = \frac{1}{4}md^2 \left(\frac{gt^2}{2L} - 1 \right). \quad (35)$$

где L – длина нитей d – диаметр оси. Момент инерции маятника равен сумме моментов инерции диска, оси и кольца $I=I_{\text{д}}+I_{\text{о}}+I_{\text{к}}$, а его масса, соответственно $m=m_{\text{д}}+m_{\text{о}}+m_{\text{к}}$ (массы указаны на самих деталях). Соотношение (35) легко получить, решая совместно уравнение движения центра масс:

$$ma = mg - T \quad (36)$$

и уравнение вращательной динамики относительно горизонтальной оси, проходящей через центр масс маятника:

$$I\beta = T \frac{d}{2} \quad (37)$$

где a – ускорение центра масс, β – угловое ускорение диска, T – сила натяжения нити. При этом надо иметь в виду, что для плотной намотки нерастяжимой нити ускорение a связано с угловым ускорением β соотношением $\beta d = 2a$, и что при равноускоренном падении путь s зависит от времени по закону:

$$s = \frac{at^2}{2}. \quad (38)$$

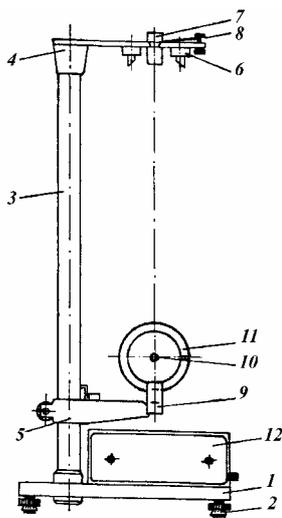


Рис. 9.

ХОД РАБОТЫ

1. Проведите необходимые измерения размеров оси и диска и вычислите их моменты инерции $I_{\text{о}}$, $I_{\text{д}}$ по соответствующим формулам из табл. 1.
2. Установите прибор горизонтально, регулируя длину ножек 2 (см. рис. 9).
3. Наденьте на диск 10 сменное кольцо 11.
4. Проверьте не упирается ли маятник в нижний кронштейн, между ними должен быть зазор не менее 1 см.
5. Включите установку в сеть переменного тока 220 В. Нажмите последовательно кнопки «Сеть» и «Сброс» на панели установки. Если установка исправна, на табло появятся нули.
6. Аккуратно намотайте нить на ось 10 так, чтобы диск с кольцом прижимался к щечкам электромагнита. Проверьте, удерживает ли электромагнит диск.
7. Нажмите кнопку «Пуск». Диск с кольцом начнет падать, и одновременно включится миллисекундомер. Когда диск прервет нижний световой луч отсчет времени прекратится. Запишите время падения t , отожмите кнопку «Пуск». Точность эксперимента существенно зависит от того, насколько аккуратно

прижат диск к щечкам электромагнита: если сильно повернуть ось с диском, то нить растянется и силы упругости нити вместе с силами трения удержат диск в верхнем положении даже при отключенном электромагните. Повторите измерения не менее 10 раз и найдите среднее значение t .

8. Вычислите момент инерции I маятника с кольцом по формуле (35), измерив d штангенциркулем.
9. Рассчитайте момент инерции кольца по формуле $I_k = I - I_o - I_d$.
10. Измерьте штангенциркулем внутренний R_1 и внешний R_2 радиусы кольца.
11. Рассчитайте момент инерции кольца по формуле

$$I = \frac{1}{2}m(R_2^2 + R_1^2). \quad (39)$$

Сравните этот результат со значением, полученным с помощью маятника Максвелла.

12. Прделайте эксперимент с двумя другими кольцами.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ К РАБОТЕ

1. Опишите устройство маятника Максвелла.
2. Получите соотношения (35) и (39).
3. Как зависит период колебаний маятника Максвелла от его момента инерции? От длины нитей?
4. Диаметр оси маятника Максвелла, на которую наматывается нить, много меньше диаметра диска, который определяет момент инерции маятника. Почему бы в качестве маятника Максвелла не использовать однородный цилиндр?
5. Изобразите графически зависимости координат центра масс, линейной и угловой скорости, линейного и углового ускорения диска маятника Максвелла от времени.
6. *Какое влияние оказывает атмосферный воздух на период колебаний маятника Максвелла?