**Работа № 7н. Скатывание тела с наклонной плоскости**

**Цель работы**: проверка выполнимости основного уравнения динамики вращательного движения (уравнения моментов) и закона сохранения механической энергии в опыте по скатыванию круглых тел с наклонной плоскости.

**Приборы и принадлежности.**

Установка представляет собой наклонную плоскость 1, которую с помощью винта 2 можно устанавливать под разными углами α к горизонту (рис. 7.1). Угол α измеряется с помощью шкалы 3. На плоскость может быть помещен цилиндр 4. В комплект работы входят два цилиндра (полый и сплошной) разной массы. Для удержания цилиндра в верхней точке используется электромагнит 5, управление которым осуществляется с помощью электронного секундомера СЭ-1 (при нажатии на СЭ-1 кнопки «Пуск» магнит отключается и включается секундомер, а при нажатии кнопки «Стоп» магнит включается).

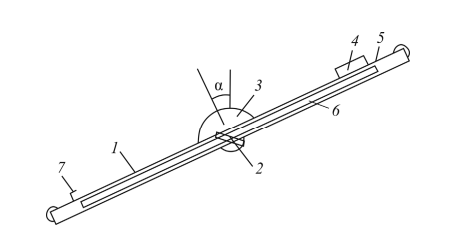


Рис. 7.1

Пройденное цилиндром расстояние измеряется по линейке 6, закрепленной вдоль плоскости. Время скатывания цилиндра измеряется автоматически с помощью датчика 7, выключающего секундомер в момент касания цилиндром финишной точки. Установка имеет два режима работы, регулируемых тумблером «плоскость»/«удар», находящимся в ее нижней части слева. .

**Исследуемые закономерности**

Основной закон динамики вращательного движения, или уравнение моментов, может быть записан в разных формах: в терминах углового ускорения ε вращения тела, в дифференциальной и интегральной форме:

(7.1)

Где – результирующий момент всех внешних сил, действующих на него; **L** – момент импульса тела; **I** – момент инерции тела, являющийся аналогом массы или мерой инертности тела при его вращательном движении. Момент импульса тела может быть представлен в виде **L = Iω**, где **ω** – угловая скорость его вращения. Моменты силы и импульса определяются как векторные произведения и где **r** – положение точек приложения силы **F** и импульса тела **p** относительно произвольной точки О (полюса). **М** и **L** направлены перпендикулярно плоскости перемножаемых векторов и ориентированы по правилу правовинтовой системы. Все моменты (силы, импульса и инерции) зависят от того, относительно какой произвольной точки (полюса) или оси вращения они рассчитываются. Однако равенство правых и левых частей уравнений (7.1) при этом не нарушается. В справочниках приводятся только моменты инерции IC тела относительно осей вращения, проходящих через его центр масс (ЦМ) C.

В данной работе изучается качение круглых тел по наклонной плоскости, для чего используются сплошной и полый цилиндры с внутренним и внешним радиусами цилиндрической полости, равными **R0** и **R**. Момент инерции такого цилиндра относительно его центра масс **,** где **–** коэффициент инерции тела. Для тонкостенного цилиндра , а для сплошного .

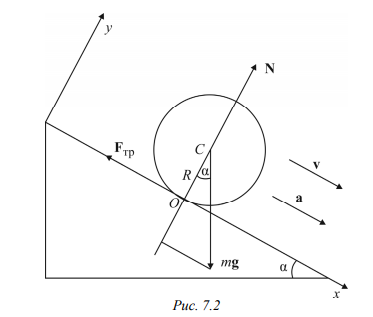
Если другая ось вращения тела параллельна оси, проходящей через ЦМ тела, и смещена от нее на расстояние , то момент инерции тела относительно новой оси вращения рассчитывают по *теореме Штейнера*: , где m – масса тела. В частности, если тело катится по поверхности, то его момент инерции относительно точки О касания тела и поверхности по теореме Штейнера равен.

Существует аналогия между параметрами, описывающими поступательное и вращательное движение тела, которая приведена в таблице:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| S | V | a | m | **P** | **F** |
|  |  |  | I | **L** | **M** |

Смысл входящих в таблицу параметров понятен по их обозначениям. Эта аналогия позволяет переходить от уравнений поступательного движения к уравнениям вращательного движения. Так, уравнения и переходят в уравнения M = Iε и .

Рассмотрим скатывание тела круглой формы с наклонной плоскости. Для описания движения используем первое уравнение (7.1). Считаем, что в точке О касания тела и плоскости нет проскальзывания. Мгновенная скорость точки О в этом случае относительно плоскости в любой момент времени равна нулю . Ось вращения, проходящую через такую точку, называют мгновенной осью вращения.



Для описания движения тела возьмем полюс в точке О – точка касания тела и плоскости (рис. 7.2), через которую проходит мгновенная ось вращения тела (проскальзывание тела относительно плоскости отсутствует). Относительно этой точки моменты сил **N** и **Fтр** равны нулю: , 0 , а момент силы тяжести равен . Момент инерции круглого тела относительно оси О по теореме Штейнера , угловое ускорение вращения тела . Тогда уравнение вращательного движения тела относительно оси, проходящей через точку О, , примет вид: . Отсюда ускорение скатывания тела .

Если выбрать полюс в точке С (ЦМ тела), то моменты сил **N** и **mg** относительно оси, проходящей через точку С, будут равны нулю: , а момент *силы трения сцепления* будет равен. Момент инерции тела относительно оси С равен , а угловое ускорение его вращения ε = a/R . Тогда уравнение вращательного движения тела относительно оси С примет вид . Отсюда

.

Силу трения сцепления можно также найти из второго закона Ньютона для ЦМ тела: . Результат будет таким же.

Найденная сила трения сцепления аналогична силе трения покоя. Как известно, максимальная сила трения покоя . В данной задаче . Следовательно, . Отсюда коэффициент трения между телом и наклонной плоскостью .

Для описания скатывания тела с наклонной плоскости можно также использовать энергетический подход. Кинетическая энергия катящегося тела, совершающего поступательно-вращательное движение, с учетом ω = v/R, а также , равна

Работа силы нормальной реакции опоры N, а также работа силы трения сцепления Fтр (нет проскальзывания, и тепло в точке касания тела и плоскости не выделяется) равны нулю ( ), поэтому в системе имеет место закон сохранения механической энергии: . Отсюда скорость тела, скатившегося с высоты h , в основании наклонной плоскости равна , где S – путь, который тело проходит вдоль наклонной плоскости.

В данной работе по измеренному времени t скатывания тела с наклонной плоскости определяются его ускорение скатывания и скорость в конце наклонной плоскости , которые сопоставляются с их теоретическими значениями, рассчитываемыми по формулам

Затем делается заключение о выполнимости уравнения вращательного движения и закона сохранения механической энергии.

Если параметрам полого (k1 = 0.76) и сплошного (k2 = 0.5) цилиндров (см. табл. 7.4) присвоить индексы 1 и 2 соответственно, а отношение отрезков времени скатывания тел c наклонной плоскости обозначить как , то, учитывая, что при скатывании тела проходят одинаковый путь , получим отношения их ускорений и скоростей для одного и того же угла наклона плоскости:

Эти соотношения также можно использовать для экспериментальной проверки правильности основного уравнения динамики вращательного движения.

**Протокол наблюдений к лабораторной работе №6**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| mст, г | M, г | mк, г | r, мм | R, мм | R0, мм | h0, см | h1, см | h2, см |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | h0i, см | t1, с | t2, с | t3, с | t4, с | t5, с |
| 1 |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |  |

Выполнил Нурбеков Б.

Факультет РТ

Группа №7182

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

Минобрнауки России Санкт-Петербургский государственный

электротехнический университет «ЛЭТИ»

им. В.И. Ульянова (Ленина)

Кафедра физики

**ОТЧЕТ**

**по лабораторной работе № 7н**

**Тема: «Скатывание тела с наклонной плоскости»**

Выполнила: Долгих К. А.

Группа № 3181

Преподаватель:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вопросы | | Дата представления отчета | Коллоквиум | | Итоговая оценка |
| **№** | **№** | Дата | Оценка |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

Санкт-Петербург

2023