

N. V. Dyachenko, I. A. Potapova, E. N. Bodunov

Application of the Analogy Method in Teaching Physics to Students of Technical Specialties

Natalia V. Dyachenko¹ — Dr. Sci. in Engineering, Associate Professor, Professor of the Department “Physic”

Irina A. Potapova² — Dr. Sci. in Physics and Mathematics, Associate Professor, Professor of the Department of Higher Mathematics and Physics

Evgeny N. Bodunov¹ — Dr. Sci. in Physics and Mathematics, Associate Professor, Head of the Department “Physic”

¹*Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russia*

²*Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia*

Abstract. The article shows the expediency of using the method of electromechanical analogy in teaching the course of general physics to students of technical specialties. The application of this method allows students of different fields and specialties to master the material from two sections of physics at once — mechanics and electromagnetism — and to deepen their understanding of the processes they will deal with in their professional activities.

Keywords: oscillatory processes, electromechanical analogy, pendulum, oscillatory circuit

УДК 37.091.3+ 53.01

Н. В. Дьяченко, И. А. Потапова, Г. Г. Хохлов

Экспериментальное определение сил трения при изучении законов вращательного движения

Дьяченко Наталия Владимировна¹ — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Физика»

Потапова Ирина Александровна² — доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры высшей математики и физики

Хохлов Григорий Григорьевич¹ — кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Физика»

¹*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия*

²*Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация. В статье обсуждается методика экспериментального определения силы трения скольжения при выполнении лабораторной работы

с применением крестообразного маятника. Авторы предлагают разнообразить лабораторный практикум по физике студентов технических вузов путем включения данной методики в процесс обучения.

Ключевые слова: маятник, момент сил, сила трения скольжения, сила вязкого трения

Преподавание курса общей физики в большинстве технических вузов сочетает теоретическое изучение законов вращательного движения с выполнением лабораторных работ, при этом часто используется лабораторная установка с крестообразным маятником или маятником Обербека (см. рисунок). Маятник представляет собой устройство, состоящее из четырех тонких стержней (1), укрепленных на втулке (3) под прямым углом друг к другу. Втулка насажена на шкив, вращающийся на подшипниках вокруг горизонтальной оси. На шкив наматывается тонкая нить, перекинута через неподвижный блок (4), к концу которой прикрепляется грузик (5). Падая под действием силы тяжести, он производит натяжение нити, которая, в свою очередь, сообщает вращательный момент всему маятнику. В установках предусмотрена возможность изменять момент инерции маятника с помощью размещения цилиндрических грузов (2) на стержнях на разном расстоянии от оси вращения.

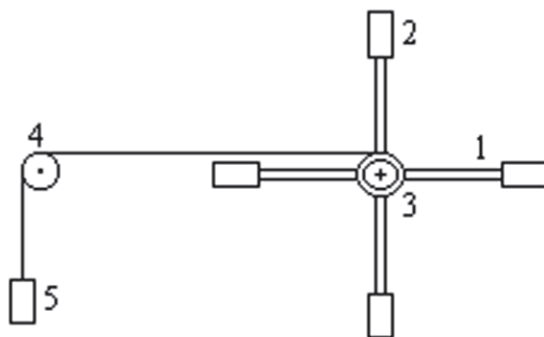


Рис. Крестообразный маятник (маятник Обербека)

Традиционно при выполнении этой работы акцент делается на проверку основного уравнения динамики вращательного движения [1]:

$$I\vec{\beta} = \vec{M}, \quad (1)$$

где I — момент инерции маятника, β — его угловое ускорение, а M — вращающий момент.

Студентам предлагается выполнить измерения в двух конфигурациях расположения цилиндрических грузов и рассчитать угловые ускорения маятника. При этом масса грузика, создающего вращающий момент, остается неизменной, т. е.

вращающий момент M считается постоянным, а момент инерции I и угловое ускорение β оказываются связаны обратно пропорциональной зависимостью.

В таком упрощенном подходе скрыто довольно много нюансов, реально сопровождающих физическую картину происходящего. В частности, полностью пренебрегают как силами трения между вращающимся шкивом и осью, так и силами вязкого трения маятника о воздух, возникающими при его вращении. Несмотря на то что пренебрежение учетом сил трения позволяет в большинстве случаев получить вполне приемлемые результаты, можно попытаться измерить хотя бы какую-то часть этих действующих сил, так как студентам, выбравшим своей профессией обеспечение функционирования железнодорожного транспорта, необходимо углубленное понимание роли сил трения в движении объектов.

Действительно, сила сухого трения действует в месте трения шкива (или подшипников) об ось и равна произведению силы реакции оси N на коэффициент трения μ . Сила реакции оси, очевидно, равна силе тяжести маятника:

$$N = m_i g. \quad (2)$$

Сила сухого трения не зависит от скорости вращения маятника, но направлена в противоположную сторону. При наличии в данном сочленении смазки возможно возникновение сил вязкого трения о нее вращающихся частей маятника.

Сила вязкого трения всегда зависит от скорости движения, причем при малых скоростях — линейно, а при больших — квадратично. Вычислить ее в большинстве случаев оказывается весьма проблематично. Для тел «простой» формы, например, шара, цилиндра, диска, подобраны аналитические выражения для коэффициентов вязкого трения, которые разнятся в зависимости от диапазона скоростей движения и свойств среды [2, 3]. Для тел «сложной» формы проводятся лабораторные испытания их макетов, и результаты измерений пересчитываются на натурные объекты в соответствии с теорией подобия.

В связи с трудностями определения силы вязкого трения для данного маятника пренебрежем ею на основании того, что скорости движения маятника и коэффициент вязкости воздуха малы, и сосредоточимся на определении силы сухого трения в районе оси.

Как уже было упомянуто, основным узлом маятника Обербека является втулка, насаженная на шкив, вращающийся на подшипниках вокруг горизонтальной оси. Различают два основных вида подшипников — подшипники скольжения и подшипники качения. В подшипниках скольжения действует сила трения скольжения между поверхностью подшипника и вращающегося элемента. В подшипниках качения связь между вращающимися поверхностями осуществляется за счет шариков, движущихся внутри кольцевых канавок. Таким образом, в подшипниках качения нужно учитывать силу трения качения, возникающую в месте

соприкосновения шарика с трущейся поверхностью. В лабораторной установке для изучения вращательного движения с помощью маятника Обербека используются обычно подшипники качения.

Итак, вращение маятника происходит под действием конкурирующих моментов силы натяжения нити грузиком $M_{гр}$ и момента силы трения качения $M_{тр}$:

$$M_{гр} - M_{тр} = I \beta, \quad (3)$$

$$M_{тр} = M_{гр} + I \beta. \quad (4)$$

Считая вертикальное падение грузика без начальной скорости равноускоренным, угловое ускорение β можно выразить через высоту падения H , время падения с этой высоты t и диаметр шкива D [4]:

$$\beta = \frac{4H}{Dt^2}. \quad (5)$$

Момент силы натяжения нити может быть рассчитан по формуле:

$$M_{сп} = m_{сп} D \left(\frac{g}{2} - \frac{H}{t^2} \right). \quad (6)$$

Выражение (4) показывает линейную зависимость момента $M_{тр}$ от углового ускорения β , причем $M_{тр}$ в этой зависимости является точкой пересечения графика прямой с осью ординат ($M_{тр}$), а момент инерции маятника I является угловым коэффициентом прямой к оси абсцисс (β), который можно вычислить по формуле:

$$I = \frac{M_{сп1} - M_{сп2}}{\beta_1 - \beta_2}, \quad (7)$$

используя для этого две точки, хорошо лежащие на прямой. Необходимо отметить, что определяемый таким образом момент силы трения постоянен только при данной загруженности маятника. При размещении на нем большего количества грузов момент сил трения, естественно, изменится, так как возрастет сила давления на ось и, соответственно, сила ее реакции. Таким образом, нагружая маятник разными грузами на маховике, можно изучить также и зависимость силы трения от массы этих грузов. Для этого надо просто повторить все нижеперечисленные пункты с разной нагрузкой маховика. В результате должна получиться серия параллельных прямых, пересекающих ось ординат в разных местах.

Учитывая все вышесказанное, предлагается следующая методика определения момента силы трения:

1. Освободить стержни маятника от цилиндров (грузов) для уменьшения силы сопротивления.

2. Произвести измерения диаметра шкива D 3–4 раза для получения его наилучшего значения и доверительного интервала случайной погрешности.

3. Произвести отсчеты времени t падения грузика с высоты H при одном значении массы грузика $m_{\text{гр}}$ (измерения произвести 3–4 раза также для получения его наилучшего значения и доверительного интервала случайной погрешности).

4. Заменить массу грузика и снова выполнить измерения п. 3 (выполнить эти измерения при нескольких разных массах грузика $m_{\text{гр}}$).

5. По формулам (5) и (6) рассчитать угловые ускорения и вращающие моменты, полученные при разных массах подвешенных грузиков.

6. По формулам для вычисления погрешностей косвенных измерений вычислить погрешности углового ускорения $\Delta\beta$ и вращающего момента $\Delta M_{\text{гр}}$ для каждого варианта подвешенного грузика.

7. На миллиметровой бумаге построить график зависимости $M_{\text{гр}} = f(\beta)$. У каждой точки указать сосчитанную в п. 6 погрешность. Построить прямую линию. Проведя экстраполяцию прямой к пересечению с осью ординат, определить из графика значение $M_{\text{тр}}$, а также значение момента инерции по формуле (7). Погрешности этих величин рассчитать как погрешности параметров прямолинейной зависимости [5].

Определяемый таким образом момент сил трения в оси является самым начальным моментом сил трения, т. е. определяется в момент перехода от состояния покоя к состоянию движения. Фактически это переход от максимального значения силы трения покоя к силе трения качения. Кроме того, на результаты эксперимента может повлиять и сила вязкого трения (хотя мы ею пренебрегли), связанная с угловой скоростью вращения и приводящая к тому, что угловое ускорение не будет постоянной величиной.

Список источников

1. Интенсивный курс физики: механика, молекулярная физика: учеб. пособие / Е. Н. Бодунов [и др.]. СПб.: ПГУПС, 2015. 142 с.
2. Стернин Л. Е. Основы газодинамики двухфазных течений в соплах. М.: Машиностроение, 1974.
3. Дьяченко Н. В. Структура брызгового облака, образующегося при взаимодействии воздушной струи с возмущенной поверхностью склона впадины воздушной подушки (ВП) // Материалы XI Международной конференции по неравновесным процессам в соплах и струях (NPNJ 2016) (25–31 мая 2016 г., Алушта, Крым). М.: Изд-во МАИ, 2016. С. 84–86.
4. Лабораторный практикум по дисциплине «Физика». Разделы: Механика и молекулярная физика / А. П. Бобровский [и др.]. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2020. 62 с.
5. Фокин С. А., Бармасова А. М., Мамаев М. А. Обработка результатов измерений физических величин: учеб. пособие для лабораторного практикума по физике. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2009. 62 с.

N. V. Dyachenko, I. A. Potapova, G. G. Khokhlov

Experimental Determination of Friction Forces in the Study of the Laws of Rotational Motion

Natalia V. Dyachenko¹ — Dr. Sci. in Engineering, Associate Professor, Professor of the Department “Physic”

Irina A. Potapova² — Dr. Sci. in Physics and Mathematics, Associate Professor, Professor of the Department of Higher Mathematics and Physics

Grigory G. Khokhlov¹ — PhD in Engineering, Associate Professor, Professor of the Department “Physic”

¹*Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russia*

²*Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia*

Abstract. The article discusses a method for experimentally determining the sliding friction force when performing laboratory work using a cruciform pendulum. The authors propose to diversify the laboratory practice in physics for students of technical universities by including this technique in the learning process.

Keywords: pendulum, moment of forces, sliding friction force, viscous friction force

УДК 656:004.946:37

О. Г. Евдокимова, Н. А. Ручьев, А. Ю. Францева

Иммерсивные технологии (VR/AR) в обучении специалистов транспортной отрасли

Евдокимова Ольга Геннадьевна — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электрическая связь»

Ручьев Никита Александрович — студент 5-го курса кафедры «Электрическая связь»

Францева Анна Юрьевна — студент 5-го курса кафедры «Электрическая связь»

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В данной статье рассмотрены отдельные вопросы применения иммерсивных технологий, таких как виртуальная (VR) и дополненная (AR) реальность, в процессе профессиональной подготовки (повышения квалификации) специалистов транспортной отрасли. Анализ указанных технологий касается точек ключевых преимуществ: безопасности учебного процесса, отработки