

➤ умение грамотно, четко и ясно излагать свои мысли, представлять образовательный продукт.

С помощью входной диагностики производится актуализация имеющихся у студентов знаний. Физический диктант включает в себя вопросы, рассмотренные на лекции, которые разбиты на 2 варианта (задания раздаются каждому студенту).

Далее студентам предлагаются 2 задачи (их условия представлены на карточках), решение которых преподаватель подробно объясняет и показывает на доске.

После чего из студентов создаются группы по 4-5 человек, каждая из которых получает задания на карточках. Группы могут быть сформированы либо по желанию студентов, тогда задания на карточках нужно дифференцировать по уровню сложности, либо по усмотрению преподавателя (примерно равными по силам), тогда задания для всех групп могут быть одинаково сложными.

Во время проведения данного этапа занятия преподаватель должен оказывать дозированную помощь группам, если в этом возникает необходимость.

На самостоятельное решение задач отводится 15-20 минут, после чего один человек из группы (по выбору преподавателя) выходит к доске и объясняет решение задач, делая записи на доске. Остальные студенты в это время фиксируют ход решения, кроме того, они могут предложить свое решение, если предложенное окажется нерациональным или неверным.

Таким образом, на занятии разбираются 8-12 задач.

Далее предлагается самостоятельная работа, рассчитанная на 20 минут, включающая задачи, подобные тем, решение которых были рассмотрены на занятии.

Как показывает практика, проведение подобного рода практических занятий позволяет активизировать познавательную деятельность студентов при изучении общего курса физики, а также способствует формированию общих и предметных компетенций будущих инженеров.

#### *Литература:*

1. Ваганова, В.И. Теория и методика обучения физике. Системно-структурный подход [Текст]/ В.И. Ваганова – Улан-Удэ: Изд-во БИПКИПРО, 2008. – 72с.
2. Павлуцкая, Н.М. Организация продуктивной познавательной деятельности учащихся (при обучении физике) [Текст]/ Н.М. Павлуцкая – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2008. – 224 с.

\*\*\*

### **МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ РАБОТЫ ДИССИПАТИВНЫХ СИЛ НА ПРИМЕРЕ РАБОТЫ СИЛЫ ТРЕНИЯ В ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ**

**Ревинская О.Г., Кравченко Н.С.**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

Понятие консервативной и неконсервативной силы относится к числу фундаментальных понятий курса общей физики, которое вводится в

механике. Принципиальное отличие консервативных и неконсервативных сил состоит в характере работы, совершаемой ими при движении тела по некоторому участку траектории. В отличие от консервативных сил, работа которых зависит только от начального и конечного положения тела, работа неконсервативных сил зависит также от длины и формы траектории, по которой движется тело. Одним из типовых примеров неконсервативных сил является сила трения. Рассчитав работу силы трения при движении тела по плоскости (наклонной или горизонтальной), традиционно делают вывод, что работа силы трения прямо пропорциональна длине пути, пройденного телом. Данный частный случай не позволяет показать зависимость работы силы трения от формы траектории. Это объясняется тем, что при движении по плоскости в любом направлении сила реакции опоры, а, следовательно, и сила трения скольжения является константой.

Чтобы показать, что работа силы трения зависит не только от длины, но и от формы траектории, необходимо изучать движение тела в таких условиях, когда сила реакции опоры в различных точках траектории будет различной. Этим требованиям соответствует, например, движение тела по окружности в вертикальной плоскости.

Пусть тело шарообразной формы массой  $m$  имеет сквозное отверстие, проходящее через диаметр. Через это отверстие пропущена стальная направляющая, по которой тело может скользить с трением. Направляющая закреплена на вертикальной опоре и состоит из двух участков: прямолинейного и кругового радиусом  $R$  (рис. 1). Направляющая обеспечивает движение тела по фиксированной траектории в вертикальной плоскости.

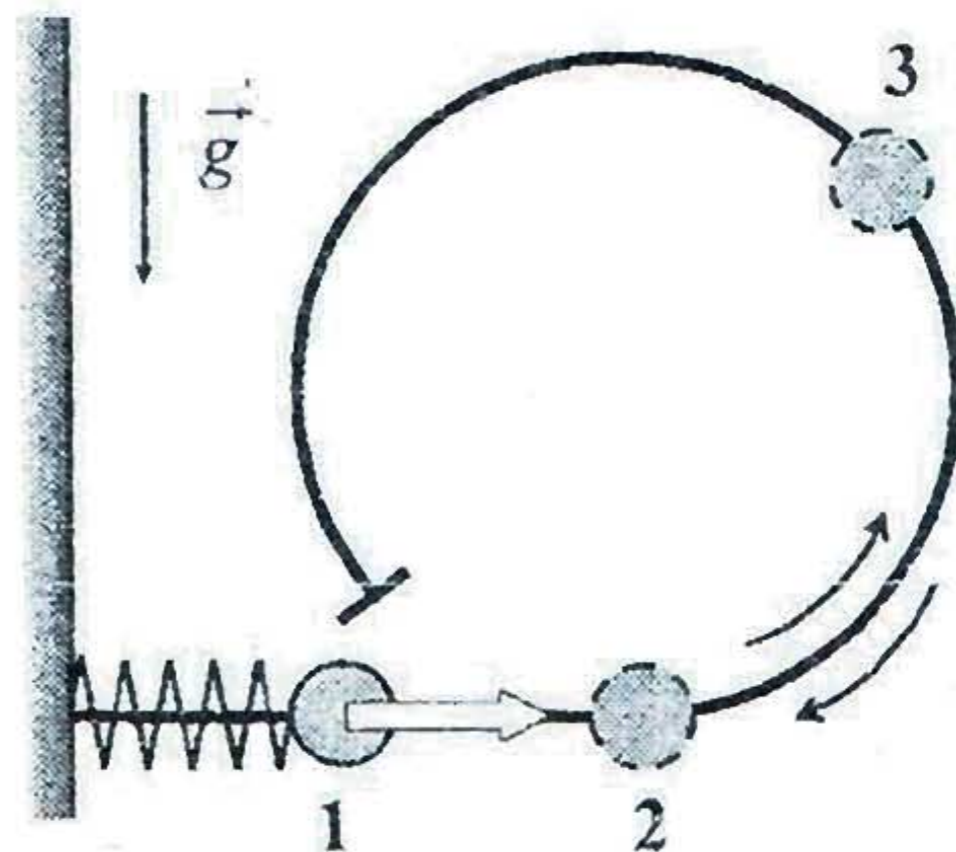


Рис. 1

На одном конце прямолинейного участка направляющей расположена пружина жесткостью  $k$ . В начальный момент тело располагается вплотную к пружине. Сжимая пружину на некоторую величину  $\Delta x$ , и удерживая возле нее тело, можно сообщить системе начальную энергию. Когда тело и пружину перестают удерживать, тело под действием силы упругости начинает двигаться. Когда пружина полностью распрямится, сила упругости перестает действовать на тело. Так как тело не соединено с пружиной, оно продолжает двигаться по инерции вдоль направляющей.

В зависимости от того, какой энергией обладала система в начальный момент времени, движение тела по направляющей может быть различным. Пусть энергии сжатой пружины достаточно, чтобы тело поднялось по круговому участку направляющей на некоторую высоту (меньше наивысшей точки направляющей) и скатилось вниз по той же стороне кругового участка направляющей, по которой оно поднималось. Рассмотрим движение тела (рис. 1) из точки 1 (начальное положение тела) до точки 3 (точка наивысшего

подъема  $h_{\max}$ ). Работу силы трения  $A$  на участке траектории между точками 1 и 3 можно определить из закона сохранения энергии.

Однако, направляющая, по которой движется тело, имеет два участка: прямолинейный, на котором сила реакции опоры, а, следовательно, и сила трения постоянна, и круговой, в каждой точке которого сила реакции опоры будет разной. Следовательно, необходимо рассмотреть работу силы трения на каждом участке.

Сила трения  $F = \mu|N|$  всегда направлена в сторону, противоположную движению, и пропорциональна модулю силы нормального давления  $\vec{N}$  тела на опору, который по третьему закону Ньютона равен модулю силы реакции опоры  $\vec{R}_{on}$ :  $\vec{N} = -\vec{R}_{on}$  или  $|N| = |R_{on}|$  ( $\mu$  – коэффициент трения).

При движении по *горизонтальному прямолинейному участку направляющей* длиной  $L$  сила реакции опоры  $\vec{R}_{on}$  направлена вертикально вверх и одинакова во всех точках. Следовательно,  $|N| = mg$ . Тогда работу силы трения на этом участке между точками 1 и 2 можно записать как

$$A_{np} = \int_1^2 (\vec{F} \cdot d\vec{r}) = -\mu \int_1^2 |N| \cdot dr = -\mu \int_0^L mg \cdot dl = -\mu mgL.$$

То есть работа силы трения при движении по прямолинейному участку направляющей прямо пропорциональна длине пути, пройденного телом.

При движении по *круговому участку направляющей* сила реакции опоры  $\vec{R}_{on}$  направлена вдоль радиуса окружности (к центру или от нее). Положение тела на окружности удобно задавать в полярных координатах  $R$  и  $\varphi$ . Из второго закона Ньютона в проекции на радиальное направление (в полярных координатах) получим силу реакции опоры в виде:  $R_{on} = m(R\omega^2 + g \cos \varphi)$ . Тогда работа силы трения на круговом участке направляющей между точками 2 ( $\varphi = 0$ ) и 3 ( $\varphi = \varphi_{\max}$ ) равна

$$A_{кр} = -\mu \int_2^3 |N| \cdot dr = -\mu m \int_2^3 |R\omega^2 + g \cos \varphi| \cdot dr = -\mu m R \int_0^{\varphi_{\max}} |R\omega^2 + g \cos \varphi| \cdot d\varphi.$$

Обозначив интеграл  $I = \int_0^{\varphi_{\max}} |R\omega^2 + g \cos \varphi| \cdot d\varphi = \int_0^{\varphi_{\max}} |R_{on} / m| \cdot d\varphi$ , работу силы трения можно записать в виде  $A_{кр} = -\mu m R I$ .

Чтобы рассчитать интеграл  $I$ , необходимо знать зависимость угловой скорости от полярного угла  $\omega = \omega(\varphi)$ . Эту зависимость можно получить либо из второго закона Ньютона в проекции на орт полярного угла, либо из экспериментальных данных. И в том и в другом случае задача сводится к численному интегрированию.

Рассмотрим, как можно определить работу силы трения на круговом участке из экспериментальных данных.

### Методика экспериментального изучения работы силы трения

**Определение коэффициента трения.** Итак, если в эксперименте подобраны условия так, что тело, поднявшись по круговому участку на максимальную высоту (ниже наивысшей точки), начинает скатываться вниз, то из закона сохранения энергии модуль работы силы трения на всем пути от точки 1 до точки максимального подъема 3 равен

$$|A| = U_1 - U_3,$$

где  $U_1 = k \frac{\Delta x^2}{2}$  – потенциальная энергия сжатой пружины в начальный момент времени,  $U_3 = mgh_{\max}$  – потенциальная энергия тела в поле силы тяжести в точке максимального подъема.

До точки максимального подъема тело движется сначала по линейному участку направляющей, а затем по круговому, поэтому

$$A = A_{np} + A_{кр}, \text{ где } A_{np} = -\mu mgL, \quad A_{кр} = -\mu mRl.$$

Тогда 
$$|A| = \mu(mgL + mRl) \Rightarrow \mu = \frac{|A|}{mgL + mRl}.$$

Для численного расчета интеграла  $I$  воспользуемся экспериментальной зависимостью полярной угловой координаты тела от времени  $\varphi = \varphi(t)$  при подъеме тела по круговому участку траектории, записанной в виде совокупности значений  $\varphi_i$  в различные моменты времени  $t_i$ . На основе этой зависимости можно определить угловую скорость тела  $\omega_i$  и силу реакции опоры, отнесенную к массе тела, в разных точках траектории

$$R_{on} / m = R\omega_i^2 + g \cos \varphi_{cp}, \text{ где } \varphi_{cp} = \frac{1}{2}(\varphi_i + \varphi_{i+1}).$$

Тогда согласно методам вычислительной математики интеграл  $I$  можно приближенно (численно) рассчитать как

$$I \equiv \int_0^{\varphi_{\max}} |R_{on} / m| d\varphi \approx \sum_i |R_{on} / m| \cdot \Delta\varphi_i.$$

Таким образом, экспериментально измерив зависимость  $\varphi = \varphi(t)$ , можно определить коэффициент трения  $\mu$  между телом и направляющей.

**Определение работы силы трения на круговом участке направляющей.** Если коэффициент трения  $\mu$  известен (например, определен из предыдущего опыта), то модуль работы силы трения на круговом участке траектории можно определить из закона сохранения энергии

$$U_1 - U_3 = |A| = |A_{np}| + |A_{кр}| = \mu mgL + |A_{кр}| \Rightarrow |A_{кр}| = U_1 - U_3 - \mu mgL.$$

Таким образом, на основе экспериментальных данных и расчета работы силы трения на линейном участке траектории можно определить работу силы трения на круговом участке. Сопоставив работу силы трения на круговом участке направляющей с длиной пути  $L_\varphi = R\varphi_{\max}$ , пройденного телом при подъеме на разные высоты, можно проанализировать, будет ли эта

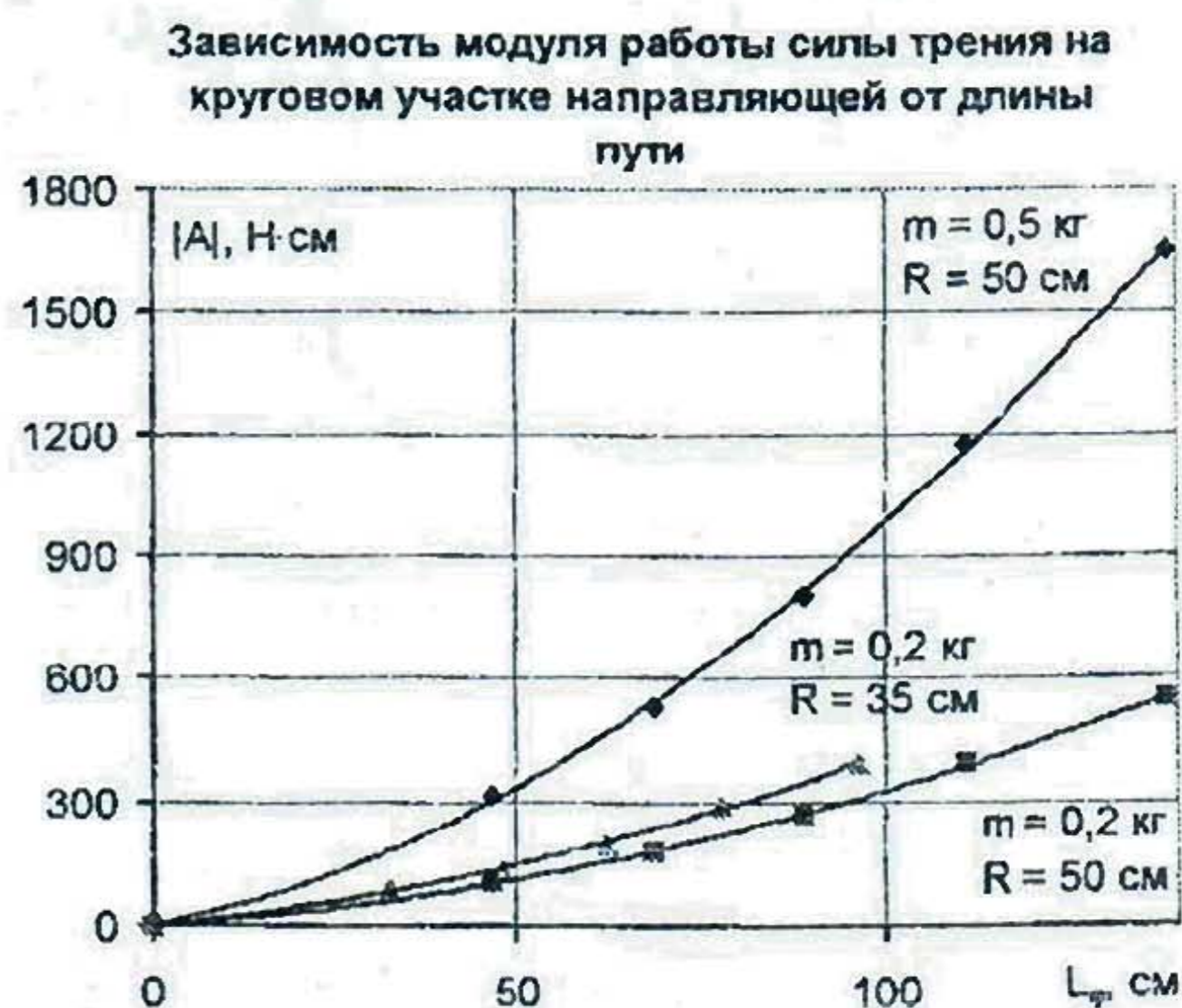
зависимость линейной также как при движении по прямолинейному участку направляющей или нет.

### Компьютерная модель экспериментальной установки и результаты исследования

Предложенная методика исследования работы силы трения реализована авторами в виде компьютерной лабораторной работы «Работа и энергия». Работа выполняется в два этапа. На первом этапе получают экспериментальную зависимость угловой координаты тела на круговом участке направляющей от времени  $\varphi = \varphi(t)$ . Чтобы получить экспериментальную зависимость  $\varphi = \varphi(t)$ , в работе в области эксперимента расположен датчик высоты, синхронизированный с секундомером. Секундомер включается автоматически, когда убирают механизм удерживающий тело и сжатую в начальном состоянии пружину. Когда тело пересекает уровень, на котором установлен датчик высоты, секундомер выключается. Располагая датчик на разных высотах, можно получить зависимость высоты подъема тела по направляющей от времени, а также зависимость угловой скорости тела от полярного угла  $\omega = \omega(\varphi)$  и соответствующую зависимость для силы реакции опоры.



а



б

Рис. 2

Из приведенной на рисунке 2а экспериментальной зависимости проекции силы реакции опоры  $R_{on}/m$ , отнесенной к массе, при движении по круговому участку направляющей видно, что сила реакции опоры меняет направление при приближении к наивысшей точке направляющей ( $\varphi \rightarrow 180^\circ$ ). Эта зависимость используется для численного расчета интеграла  $I$  и определения коэффициента трения, который в опытах с телом, сделанным из алюминия, получается равным 0,183.

На втором этапе изучают, как работа силы трения на круговом участке направляющей зависит от длины траектории и ее формы (радиуса) для тел различной массы. На рисунке 2б приведены результаты исследования

зависимости модуля работы силы трения от длины пути, пройденного телом вверх до остановки по круговому участку направляющей. Исследования проводились для тел разной массы, сделанных из полиуретана. Графики наглядно демонстрируют нелинейный характер исследуемой зависимости, в то время как на прямолинейном участке направляющей зависимость работы силы трения от пути, пройденного телом, является линейной. Таким образом, выполнение данной работы позволяет студенту убедиться, что работа неконсервативных сил зависит как от длины, так и от формы траектории, по которой движется тело.

Данная работа выполняется студентами в рамках лабораторного практикума по курсу общей физики, содержательно и методологически дополняя имеющийся на кафедре теоретической и экспериментальной физики Томского политехнического университета набор натуральных лабораторных работ. Данная работа входит в комплекс лабораторных работ по изучению моделей физических процессов и явлений на компьютере, который разрабатывается на кафедре с 2002 г. В настоящее время комплекс включает 24 лабораторные работы.

\*\*\*

## **ФИЗИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ – ОСНОВА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ**

**Масленникова Л.В., Родиошкина Ю.Г.**

*Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева*

Национальная доктрина образования в Российской Федерации акцентирует внимание на необходимости подготовки высококвалифицированных специалистов, способных к самообразованию, профессиональному росту в условиях развития новых наукоемких технологий. Усовершенствование традиционных форм вузовского образования и поиск новых подходов, идей и методов обучения, способных улучшить качество образования и уровень подготовки выпускников, в частности, по физике (которая является фундаментальной основой дисциплин технического направления), является актуальной проблемой современного инженерного образования.

Для эффективной подготовки студентов инженерных специальностей необходимо формирование системы фундаментальных физических знаний в совокупности с умениями применять их в конкретной производственной деятельности, а также органическое включение студентов в активную творческую деятельность, обеспечение их массового участия в научно-исследовательской работе.

Научно-исследовательская работа студентов технического вуза выступает органической частью целостной системы подготовки специалистов инженерного профиля и осуществляется как система усложняющихся задач, решение которых приводит к обогащению