DOI: 10.17117/na.2015.09.466

Поступила (Received): 27.09.2015

<http://ucom.ru/doc/na.2015.09.466.pdf>**Илюшин Д.В.****Учебное исследование явления сухого трения
на интерактивной компьютерной модели****Ilyushin D.V.****The academic study of dry friction phenomenon
using the interactive computer model**

Описаны возможности использования интерактивных компьютерных моделей для проведения учебного исследования на уроках физики. Построена иерархия содержательных физических задач, решение которых возможно на основе разработанной модели. Простые задачи иерархии служат тестовыми при проверке корректности моделей и базовых знаний учащихся

Ключевые слова: компьютерное моделирование, интерактивность, учебное исследование

Илюшин Данил Владимирович

Студент

Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет

г. Пермь, ул. Сибирская, 24

The article describes the possibilities of using interactive computer models in academic research at school physics lessons. It presents a hierarchy of physics problems which could be solved on a basis of such a model. Simple problems in this hierarchy could be used in testing the model and checking the basic knowledge of students

Key words: computer simulation, human-computer interaction, academic study

Ilyushin Danil Vladimirovich

Student

Perm state humanitarian-pedagogical university
Perm, Sibirskaya st., 24

Среди интерактивных компьютерных моделей, в значительной степени формирующих современную виртуальную среду обучения физике [1], большая часть представляет собой демонстрации, обладающие качествами управляемой динамической иллюстрации. Однако для повышения уровня образования требуется также использовать при обучении модели, не просто демонстрирующие физическое явление, но ставящие перед учащимся проблему, в ходе решения которой нужно выполнить учебное исследование. Эти возможности обеспечиваются применением специальных элементов интерфейса и технологических приемов в процессе разработки моделей [3]. Методика их использования на занятиях сложна и требует в каждом случае тщательной проработки, основой которой может служить обобщенный план работы с компьютерной моделью [4].

Модель, предназначенная для проведения на ее основе исследования, должна соответствовать ряду условий [2]. Она не должна быть слишком простой, а результаты моделирования – очевидными. В противном случае "исследование" (например, закона Гука или закона Ома) представляет собой простую

табуляцию аналитической зависимости. Это может быть оправдано, если модель позволяет освоить применяемый в реальном эксперименте подход, метод измерений. Но вообще достойная учебного исследования компьютерная модель имеет своим ядром достаточно сложную математическую модель [2, 3], которая содержит дифференциальные уравнения и имеет более чем один управляющий параметр. Ценность компьютерной модели тем выше, чем сложнее реализовать соответствующую ситуацию в традиционном физическом эксперименте. В частности, речь может идти об изучении законов, выполняющихся приближенно и представляющих собой упрощенные модели реальных явлений.

Примером физического явления, которое принято считать несложным, но которое учащиеся плохо усваивают, служит сухое трение. Даже для простейшего случая горизонтальной опоры и горизонтальной приложенной внешней силы не все понимают разницу между трением покоя и трением скольжения, условия смены этих режимов. Еще хуже дело обстоит, если внешняя сила не параллельна опоре, особенно если опора наклонная, когда становятся нетривиальными условия покоя, равномерного, ускоренного и замедленного движения.

Разработанная автором компьютерная модель позволяет учащемуся рассмотреть в виртуальном эксперименте целый класс такого рода задач. Интерфейс позволяет управлять коэффициентом μ трения скольжения, модулем F вектора внешней силы и углом α этой силы с горизонталью, а также углом β наклона опоры к горизонтали. Таким образом, модель содержит четыре изменяемых параметра, обеспечивающих множество сценариев поведения системы. Движение тела описывается системой дифференциальных уравнений.

Учебное исследование на многопараметрической модели будет эффективным при условии специальной организации работы школьника средствами пошаговой инструкции, либо вводной беседы учителя, либо использования обобщенного плана работы с компьютерной моделью [4]. Последний вариант отличается наибольшей технологичностью и универсальностью, поэтому ниже обсуждается возможность использования именно этого инструмента.

Один из ключевых пунктов обобщенного плана – формулировка цели работы с моделью. В нашем случае целей может быть несколько. Более простая – получение конкретного знания о силе сухого трения: наличии порогового значения внешней силы для начала движения, зависимости силы трения от угла наклона опоры и направления внешней силы. Более сложная – выяснение условий реализации того или иного вида движения (или покоя) в заданных условиях, выдвижение гипотез о закономерностях и их причинах. В работах [2, 4] к целям относят тестирование модели, оценку достоверности результатов моделирования. Это важно, когда учащийся имеет представление о поведении системы в простых ситуациях, но не обладает опытом решения сложных задач.

При первой поставленной цели следует выполнить для случая горизонтальной плоскости ($\beta=0$) следующие упражнения (опыты):

а) возникновение движения при увеличении горизонтально направленной ($\alpha=0$) внешней силы F , с обнаружением порога начала движения при раз-

личных значениях коэффициента трения μ ; затухание движения при плавном уменьшении F ; формулировка гипотезы об особенностях сухого трения;

б) возникновение движения при плавном уменьшении коэффициента трения μ для различных значений горизонтального вектора внешней силы; затухание движения при плавном увеличении F ; сопоставление результатов с опытом a ; проверка гипотезы по опыту a ; промежуточный вывод для опытов a и б;

в) возникновение движения при уменьшении угла α и неизменном модуле внешней силы (необходимо задать $F > \mu mg$); обнаружение порога и анализ его отличия от найденного в опытах a и б; выдвижение обобщенной гипотезы;

г) для отрицательного (ниже горизонта) начальном значении угла α возникновение движения при плавном увеличении (уменьшении модуля α) и неизменном модуле внешней силы (необходимо задать $F > \mu mg$); обнаружение порога и анализ отличий от найденного в опыте a (при одинаковых F движение возникает при разных $|\alpha|$); выдвижение обобщенной гипотезы, ее проверка и окончательный вывод по всей серии упражнений.

Во всех случаях требуется определять варианты значений фиксируемых параметров, пределы и шаг изменения варьируемых параметров, способы фиксации результатов и их обработки.

При второй поставленной цели нужно отдельно рассмотреть случаи горизонтальной ($\beta=0$) и наклонной ($\beta \neq 0$) опоры, а для последнего – ситуации, когда вектор силы F направлен: 1) параллельно опоре ($\alpha=\beta$ или $\alpha=\beta+180^\circ$); 2) горизонтально ($\alpha=0$ или 180°); 3) под произвольным углом.

Посмотрим, какие исследования можно выполнить для достаточно простого случая горизонтальной плоскости ($\beta=0$) при произвольно направленной внешней силе ($\alpha \neq 0$).

Во-первых, это выяснение условий покоя, ускоренного или замедленного движения. В принципе, на эти вопросы несложно ответить путем аналитического решения задачи: записав проекции 2-го закона Ньютона на горизонтальную и вертикальную оси и исключив силу нормальной реакции опоры, для внешней силы, обеспечивающей равномерное движение (далее – критическое значение внешней силы), можно получить:

$$F_{\text{кр}} = \frac{\mu mg}{\cos \alpha + \mu \sin \alpha}$$

Однако представляется полезным освоение методики проведения подобного исследования, которое может оказаться востребованным при анализе более сложных ситуаций. В частности, в рамках модельного эксперимента можно убедиться, что зависимость критического значения силы от угла α имеется, и что она немонотонна.

Во-вторых, можно поставить задачу поиска оптимального направления силы, то есть нахождения значения α , при котором критическое значение силы минимально. Аналитическое решение этой задачи требует знания основ дифференциального исчисления.

Из приведенной выше формулы видно, что $F_{\text{кр}}$ минимально, если максимален знаменатель дроби. Следует убедиться, что экстремум существует и что это максимум. Действительно, функция $f(\alpha) = \cos \alpha + \mu \sin \alpha$ на всем интервале

$\alpha \in [0; \pi/2]$ имеет отрицательную вторую производную, а первая производная положительна при $\alpha=0$ и отрицательна при $\alpha=\pi/2$. Максимум $f(\alpha)$ достигается при $\operatorname{tg} \alpha = \mu$, а минимум критического значения силы

$$F_{\text{кр}}^{\min} = \frac{\mu mg}{(1 + \mu^2)^{3/2}}$$

При этом обнаружение минимума на модели требует лишь применения уже освоенной методики исследования поведения системы: при фиксированном значении μ следует задать значение F , чуть меньшее μmg (которое имеет смысл $F_{\text{кр}}$ при $\alpha=0$), и изменять α , наблюдая, когда возникнет движение и когда оно начнет затухать. Затем повторить эксперимент с уменьшенным F , при этом интервал α , в котором возможно движение, сужается; и далее повторять процедуру, пока интервал не превратится в точку α .

Недостатком такого исследования является невозможность получения формул, но качественные зависимости видны достаточно ясно. Сопоставление $\operatorname{tg} \alpha$ и μ несложно, но на их совпадение нужно обратить внимание учащихся.

Случай наклонной опоры и непараллельного ей вектора силы значительно богаче в смысле возможностей исследования, чем рассмотренный выше. При горизонтально направленной внешней силе F ($\alpha=0$ или 180°) условия равномерного движения и движения с ускорением оказываются неочевидными. Движение вверх вдоль наклонной плоскости возможно при условии $\operatorname{tg} \beta < (1/\mu)$, а вниз вдоль плоскости – при условии $\mu < \operatorname{tg} \beta$. Движение в диапазоне $\mu < \operatorname{tg} \beta < (1/\mu)$ невозможно ни при каких значениях F . Произвольное направление силы порождает еще большее разнообразие ситуаций, причем аналитическое решение не дает более наглядного результата, чем решение на модели.

Таким образом, моделирование даже таких относительно простых явлений как сила сухого трения позволяет обнаружить интересные эффекты, достойные исследования. Это повышает привлекательность компьютерных моделей для учащихся, пробуждает их интерес к обучению. Успешное достижение цели исследования закрепляет позитивный результат.

Список используемых источников:

1. Баяндин Д.В. Виртуальная среда обучения: состав и функции // Высшее образование в России. 2011. № 7. С. 113–118.
2. Баяндин Д.В. Классификация интерактивных компьютерных моделей и структура процесса познания в физике // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2.
3. Баяндин Д. В. Мультиплетная структура виртуальной среды обучения и технологизация учебного процесса // Образовательные технологии и общество (Educational Technology & Society). 2013. Т. 16. № 3. С. 465–488.
4. Оспенников Н.А., Оспенникова Е.В. Формирование у учащихся обобщенных подходов к работе с компьютерными моделями // Известия Южного федерального университета. Педагогические науки. 2009. № 12. С. 206–214.