О развитии физического мышления

А.С. Кондратьев, А.В. Ляпцев, Е.В. Ситнова

Санкт-Петербург, РГПУ им. А.И. Герцена

В работе рассматривается вопрос о развитии физического мышления на примере сопоставления качественного анализа уравнений и строгого численного расчета движения «качающейся» машины Атвуда. Проблема может быть проанализирована как в рамках курса классической механики в теоретической физике, так и в рамках общего курса физики.

Развитие мышления при изучении физики на современном этапе, характеризующемся широким внедрением компьютера с использованием информационных технологий, представляет собой одну из наиболее актуальных задач обучения. На фоне снижения интереса к качественному анализу уравнений, вызванного именно исключительно высокими возможностями компьютера, особенно злободневно начинают звучать слова Р. Фейнмана: «Грядущая великая эра пробуждения человеческого разума принесет с собой метод качественного анализа содержания уравнений. Сегодня мы еще не способны на это» [1]. Демонстрация эффективности качественного анализа свойств и поведения изучаемой физической системы может сыграть положительную роль в привитии вкуса к подобным действиям, стимулируя развитие творческих способностей обучаемых.

В данной работе предлагается пример комплексного подхода к исследованию физической системы, объединяющего качественных анализ описывающих систему уравнений и детальный численный расчет ее свойств. Этот пример может эффективно использоваться как при изучении курса классической механики в рамках теоретической физики, так и при изучении общего курса физики. Единственное отличие заключается в способе получения исходных уравнений. Задача формулируется следующим образом.

Тяжелое тело массы M подвешивается на прочной нерастяжимой струне непосредственно у блока, выполненного в виде горизонтальной оси, через которую перекинута струна таким образом, что она может оборачиваться вокруг этой оси. Легкое тело м а с $m\left(M/m\approx 50\right)$,е п л е н н о е к другому концу струны, отводится до горизонтального положения и отпускается. Длина струны составляет $r_0\approx 1$ м, как и высота горизонтальной оси над полом [2].

На Рис. 1 изображено начальное состояние системы (а) и состояние в некоторый момент времени, когда угол θ между горизонтом и отрезком нити, идущим к легкому грузу, принимает некоторое произвольное значение (Ь). Ось *O,* через которую перекинута нить, перпендикулярна плоскости рисунка. Как обычно, положительный угол отсчитывается против часовой стрелки, так что начальный угол равен $-\pi$.

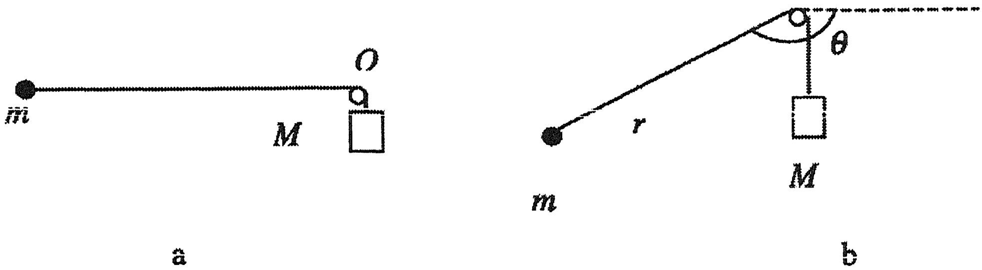

Рисунок 1.

При рассмотрении этой задачи в курсе классической механики приступать к ее решению следует с составления точных уравнений Л агранжа второго рода, выбирая в качестве обобщенных координат расстояние r вдоль струны от легкого груза до горизонтальной оси и угол θ. Уравнения Лагранжа получаются в виде:

$$(M+m)\ddot{r} - mr\dot{\theta}^2 + g(M + m\sin\theta) = 0, \qquad (1)$$

$$r^2\ddot{\theta} + 2r\dot{r}\dot{\theta} + gr\cos\theta = 0. \qquad (2)$$

При рассмотрении задачи в курсе общей физики следует с самого начала провести качественное исследование условий движения грузов. Из приведенных в задаче начальных условий следует, что тяжелый груз может двигаться только по вертикали, а легкий груз - в вертикальной плоскости, проходящей через оба груза. Скорость легкого груза можно разложить на две составляющие - вдоль струны и перпендикулярно ей. Вследствие нерастяжимости струны составляющая скорости легкого груза вдоль струны равна скорости тяжелого груза и равна производной $\dot{r}$. Составляющая скорости легкого груза, перпендикулярная струпе, соответствует его вращению вокруг точки О и равна $r\dot{\theta}$. Поэтому выражение для кинетической энергии системы в переменных гиб записывается в виде:

$$E_k = \frac{1}{2}\left[(M+m)\dot{r}^2 + mr^2\dot{\theta}^2\right].$$

В силу нерастяжимости струны в переменных r и θ потенциальная энергия записывается в виде: