3. Блохинцев, Д. И. Основы квантовой механики : учебное пособие / Д. И. Блохинцев. – Москва. : Наука, 1976. – 664 с.

А. С. Василевич
(БрГТУ, Брест)
Науч. рук. **Л. А. Величко**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ПРИБЛИЗИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ НИТИ ВО ВРЕМЯ РЫВКА

В решении большинства задач об ускоренном движении системы «груз–нить» делают предположение о том, что нить не растяжима. Из этого предположения следует, что падающий с ускорением груз растягивает нить с такой же силой, как и при равномерном опускании груза, т.е. вес груза проявляется только статически. Если признать это положение, то, как объяснить такой факт, что при свободном падении ($\vec{a} = \vec{g}$) нить нерастянута, т.е. груз не действует на нить [1].

Проводимый эксперимент осуществлялся на установке, подобной маятнику Обербека, к которой подключался электронный блок и компьютер. На нити был подвешен груз массой m = 0,1 кг. Длину нити l в статическом состоянии приняли равной 95 см. Результаты эксперимента обрабатывались в специальной программе, содержащей координатную систему. В ней отображались графики пройденного грузом пути, его скорости и ускорения в зависимости от времени движения. Аппроксимирующая функция полученной зависимости $v(t)$ имеет вид:

$$v(t) = 7{,}9122t + 1{,}0077, \text{см/с}.$$

Массу нити в расчетах не учитывали, поскольку силы натяжения нити на обоих концах одинаковы. Согласно третьему закону Ньютона, сила, действующая на груз со стороны нити, по величине равна силе, действующей на нить со стороны груза, висящего на ней.

В ходе эксперимента груз опускается с высоты h до нижнего положения, а затем поднимается вверх. Между этими двумя разнонаправленными, следующими один за другим движениями груза, именно в момент рывка, нить дополнительно быстро растягивается и действует на груз с возросшей силой, гораздо большей, чем до рывка [2].

Таким образом, движение системы «груз–нить» можно разделить на две стадии: непосредственно перед рывком и сам рывок.

Перед рывком сила натяжения нити сохраняет свое значение, поскольку ускорение груза постоянно, что зафиксировано на графике $a = f(t)$. К этому моменту система характеризуется растяжением нити y_0 и скоростью груза v_0, равной 0,366 м/с.

Для определения величины y_0 запишем закон сохранения энергии. Полная энергия системы перед падением с высоты h равна потенциальной энергии mgh, а полная энергия системы перед рывком равна сумме кинетической и потенциальной энергий груза, а также потенциальной энергии упруго деформированной нити:

$$mgh = mg(h - l - y_0) + \frac{mv_0^2}{2} + \frac{ky_0^2}{2} \tag{1}$$

$$y_0^2 - \frac{2mg}{k} y_0 - \frac{m}{k}(v_0^2 - 2gl) = 0 \tag{2}$$

где k – коэффициент жесткости нити, определяемый как среднее значение серии десяти нагружений ($m_i g$) для данной нити ($l = const$), и в нашем случае равный $k = 50$ Н/м.

При движении груза вниз в момент рывка происходит резкое возрастание силы натяжения нити, что приводит к росту ускорения груза до значения a_{max}. В этот момент скорость достигнет максимального значения $v_{max} = v_0 + a_{max} t$, а через некоторое время станет равной нулю. Груз останавливается, и система оказывается в нижней точке траектории. В этот момент происходит изменения знака деформации нити (растяжение на сжатие). Удлинение нити достигает максимального значения y_{max}. Сила натяжения нити во время рывка обеспечивает движение груза вверх, которое тоже сложное. Сначала скорость груза возрастает от нулевого значения до v_{max}, а затем уменьшается до значения v_0.

Максимальное натяжение нити y_{max} определим из закона сохранения энергии, учитывая, что кинетическая энергия груза равна нулю:

$$mgh = mg(h - l - y_{max}) + \frac{ky_{max}^2}{2} \tag{3}$$

$$y_{max}^2 - \frac{2mg}{k} y_{max} - \frac{2mg}{k} l = 0. \tag{4}$$

Оценить растяжение нити Δy за время рывка можно по формуле $\Delta y = y_{max} - y_0$, предварительно решив уравнения (2) и (4). В нашем случае растяжение нити Δy равно $4{,}23 \cdot 10^{-2}$ м.

Согласно второму закону Ньютона, запишем выражение для результирующей силы $F_{рез}$, действующей в системе [3]:

$$F_{рез} = ky_{max} - mg = ma_{max} \tag{5}$$

Согласно формуле (5), максимальное ускорение груза a_{max} равно 11,35 м/с^2. Теперь, зная ускорение a_{max}, рассчитаем силу натяжения нити T_p во время рывка ($T_p = ma_{max}$ = 1,14 Н) и сравним полученное значение с силой натяжения нити в статическом состоянии: $T_p/mg = 1{,}16$.

С другой стороны, сущность явления рывка (как и удара) состоит в том, что за очень малое время происходит конечное изменение импульса груза mv_0. При рывке импульс силы равен изменению импульса груза:

$$T_p \cdot t_p = 2mv_0, \tag{6}$$

где t_p – время рывка.

Предположим, что рывок заканчивается, когда растяжение нити $\Delta y = 0$, т.е. за время рывка t_p груз опускается и поднимается вверх на Δy с постоянным ускорением a_{max}. Уравнение движения груза вниз запишем в следующем виде:

$$\Delta y = v_0 t_p + \frac{a_{max} t_p^2}{2} \tag{7}$$

$$t_p^2 + \frac{2v_0}{a_{max}} t_p - 2\frac{\Delta y}{a_{max}} = 0 \tag{8}$$

Решив уравнение (8), вычислим время рывка при движении груза вниз $t_p = 6 \cdot 10^{-2}$ с. При этом, на груз действовала сила, равная только половине силы рывка T_p, а изменение импульса груза равно mv_0.

$$\frac{1}{2} T_p \cdot t_p = mv_0, \tag{9}$$

Согласно формуле (9), сила натяжения нити при рывке T_p составляет 1,22 Н. Сравнивая полученное значение с силой натяжения нити в статическом состоянии, получаем: $T_p/mg = 1{,}24$.

Таким образом, значение силы натяжения нити во время рывка T_p превышает значение силы тяготения mg на 15–25 %. Этот факт существен и должен учитываться при решении задач на ускоренное движение системы «груз–нить», даже если она состоит из груза малой массы и короткой нити.

Литература

1. Путилов, К. А. Курс физики : в 3 т. / К. А. Путилов. – М. : ГИ ФМЛ, 1963. – Т. 1 : Механика. Акустика. Молекулярная физика. Термодинамика. – 560 с.
2. Сивухин, Д. В. Общий курс физики : в 3-х т. / Д. В. Сивухин. – М. : Издательство Наука, 1979. – Т. 1 : Механика. – 520 с.
3. Орир, Дж. Физика : в 2 т. / Дж. Орир. – М.: Мир, 1981. – Т. 1. – 366 с.

Д. Ч. Гвоздовский
(БГУИР, Минск)
Науч. рук. **В. Р. Стемпицкий**, канд. техн. наук, доцент

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДВУМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ: *AB INITIO* МОДЕЛИРОВАНИЕ

Растущий интерес к применению 2D-материалов в фотонике и оптоэлектронике вызван многочисленными применениями подобных монослойных материалов, начиная от солнечных элементов и светоизлучающих устройств и заканчивая сенсорными экранами, фотодетекторами и сверхбыстрыми лазерами. Это стало возможным благодаря исследованию двумерных материалов с использованием спектроскопических методов совместно с теоретическими расчетами.

Отклик материала на воздействие электрического поля световой волны можно определить его комплексной диэлектрической проницаемостью.

На примере графена показан механизм расчета оптических свойств с применением *ab initio* методов моделирования. Расчеты оптических свойств исследуемых материалов проведены с использованием методов теории функционала плотности (DFT), реализованных в