DOI: 10.17117/na.2016.01.02.231

Поступила (Received): 20.01.2016

<http://ucom.ru/doc/na.2016.01.02.231.pdf>

**Майер Р.В., Вахрушева А.М.,
Данилова И.И., Ключкина С.С.
Об использовании электронных таблиц Excel
при решении физических задач на компьютере**

**Mayer R.V., Vakhrusheva A.M., Danilova I.I., Klyukina S.S.
About use of Excel spreadsheets for solving
physical problems on the computer**

Рассмотрены следующие задачи, которые могут быть решены в электронных таблицах Excel: 1) движение точки в результате сложения колебаний во взаимно перпендикулярных направлениях; 2) движение автоколебательной системы Ван-дер-Поля; 3) расчет хода световых лучей при преломлении на искривленной границе двух сред. Показано, что табличный процессор позволяет промоделировать различные физические явления

Ключевые слова: компьютерное моделирование, методика преподавания, численные методы, электронные таблицы, физические задачи

Майер Роберт Валерьевич

*Доктор педагогических наук, профессор
Глазовский государственный педагогический институт им. В.Г. Короленко
г. Глазов, ул. Первомайская, 25*

Вахрушева Ася Михайловна

*Студент
Глазовский государственный педагогический институт им. В.Г. Короленко
г. Глазов, ул. Первомайская, 25*

Данилова Ирина Ивановна

*Студент
Глазовский государственный педагогический институт им. В.Г. Короленко
г. Глазов, ул. Первомайская, 25*

The following tasks which can be solved in Excel spreadsheets are considered: 1) the motion of a point as a result of the addition of oscillations in mutually perpendicular directions; 2) the movement of self-oscillating systems Van der Pol; 3) the calculation of the course of light beams at refraction on the curved boundary of two environments. It is shown that the tabular processor allows to simulate various physical phenomena

Key words: computer modeling, teaching methods, numerical methods, spreadsheets, physical problems

Mayer Robert Valerievich

*Doctor of Pedagogic Sciences, Professor
Glazov state pedagogical institute named V.G. Korolenko
Glazov, Pervomayskya st., 25*

Vakhrusheva Asya Michailovna

*Student
Glazov state pedagogical institute named V.G. Korolenko
Glazov, Pervomayskya st., 25*

Danilova Irina Ivanovna

*Student
Glazov state pedagogical institute named V.G. Korolenko
Glazov, Pervomayskya st., 25*

Клюкина Светлана Сергеевна

Студент

Глазовский государственный педагогический институт им. В.Г. Короленко

г. Глазов, ул. Первомайская, 25

Klukina Svetlana Sergeevna

Student

Glazov state pedagogical institute named V.G.

Korolenko

Glazov, Pervomayskaya st., 25

Один из методов решения физических задач на компьютере заключается в использование табличного процессора MS Excel, который изучается в школьном и вузовском курсах информатики [1]. Он является мощным программным продуктом, который объединяет в себе электронные таблицы, средства визуального программирования и графический модуль, позволяющий построить различные диаграммы, графики и поверхности. Решение многих физических задач сводится к нахождению некоторой функции, соответствующей алгебраическому или дифференциальному уравнению [2]. Это может быть сделано двумя способами: 1) табулирование функций и построение соответствующих графиков без использования макросов; 2) написание небольшой программы (макроса) на языке Visual Basic, которая может содержать цикл по времени или координате и использоваться для решения диффуравнения, нахождения интеграла, производной, многократном пересчете элементов массива и т.д. С помощью программ VBA можно рассчитать координаты движущихся частиц, решить задачу о теплопроводности, промоделировать распространение волны, построить сечение Пуанкаре [3]. Рассмотрим решение нескольких задач в Excel.

1. Точка одновременно участвует в двух гармонических колебаниях, происходящих вдоль осей Ox и Oy . Амплитуды колебаний A_x и A_y , их частоты ω_x , ω_y и сдвиг фаз $\Delta\varphi$ заданы. Необходимо определить траекторию движения точки и ее координаты x , y в произвольный момент τ' .

Используемая программа 1 содержит цикл по времени; в нем вычисляются координаты точки $x(\tau) = A_x \sin(\omega_x \cdot \tau)$, $y(\tau) = A_y \sin(\omega_y \cdot \tau + \Delta\varphi)$, а результаты записываются в ячейки таблицы Excel. Значения амплитуд, частот колебаний и сдвига фаз считываются из ячеек Н1 – Н5. Получающаяся таблица и графики представлены на рис. 1.

Программа позволяет промоделировать движение точки при различных амплитудах, частотах и сдвиге фаз. В случае, когда частоты кратны целым числам (то есть $\omega_x / \omega_y = n / m$, где $n, m \in \mathbb{Z}$), точка движется по замкнутой кривой, называемой фигурой Лиссажу.

Программа 1.

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
Ax = Cells(1, 8) : Ay = Cells(2, 8) : wx = Cells(3, 8)  
wy = Cells(4, 8) : fi = Cells(5, 8) : dt = 0.2  
While t < 60  
t = t + dt : i = i + 1 : x = Ax * Cos(wx * t)  
y = Ay * Cos(wy * t + fi) : Cells(i, 1) = x : Cells(i, 2) = y  
Wend  
End Sub
```

Рис. 1. Фигуры Лиссажу при различных отношениях ω_x / ω_y

2. Про моделируйте автоколебательную систему, описывающуюся уравнением Ван-дер-Поля: $m\ddot{x} + kx = b(1 - x^2)\dot{x}$.

Автоколебательная система состоит из колебательной системы, источника энергии, клапана и цепи обратной связи. Колебательная система воздействует посредством положительной обратной связи на ключевой элемент, регулируя поступление энергии от источника. Амплитуда колебаний растет до тех пор, пока энергия потерь за период не будет равна энергии поступающей от источника за то же время. Из дифференциального уравнения Ван-дер-Поля следует:

$$a_x^{t+1} = (b(1 - (x_x^t)^2)v_x^t - kx_x^t) / m, v_x^{t+1} = v_x^t + a_x^{t+1}\Delta\tau, x^{t+1} = x^t + v_x^{t+1}\Delta\tau.$$

С помощью программы 2 можно получить график колебаний и фазовую кривую (рис. 2). При $\tau \rightarrow \infty$ фазовая кривая стремится к аттрактору.

Программа 2.

```
Private Sub CommandButton1_Click()
dt = 0.005: m = 0.8: k = 0.5: b = 0.2: x = 0.01
While t < 150
t = t + dt: i = i + 1
a = (b * (1 - x * x) * v - k * x) / m
v = v + a * dt: x = x + v * dt
If i Mod 20 = 0 Then
Cells(i / 20, 1) = t: Cells(i / 20, 2) = a
Cells(i / 20, 3) = v: Cells(i / 20, 4) = x: End If
Wend
End Sub
```

Рис. 2. Моделирование генератора Ван-дер-Поля

3. Кусок стекла ограничен полусферической поверхностью радиусом $R = 10$ см (рис. 3.1). На эту поверхность падает луч света, идущий параллельно оси симметрии Ox на расстоянии a от нее. Найдите координату x точки B пересечения луча и оси Ox после преломления.

Для решения задачи следует создать таблицу, содержащую столбцы a , $\sin \alpha$, α , $\sin \beta$, β , x . Для расчета x используются формулы:

$$\sin \alpha = a / R, \sin \beta = \sin \alpha / n, |OC| = R \cos \alpha, \angle CAB = (\pi / 2 - \alpha) + \beta = \gamma, |CB| = a \operatorname{tg} \gamma, x = |CB| - |OC| = a \cdot \operatorname{tg}(\pi / 2 - \alpha + \beta) - R \cos \alpha.$$

Рис. 3. К расчету хода луча в задачах 3 и 4

4. На стеклянный шар радиусом R падает пучок света (рис. 3.2). Рассчитайте ход луча, смещенного от оси симметрии шара на расстояние a . Найдите точку пересечения F луча с оптической осью шаровой линзы.

Координаты точки А: $x_A = -R \cos \alpha$, $y_A = a$, причем $\sin \alpha = a / R$. По закону преломления $\sin \alpha / \sin \beta = n$, $\sin \beta = \sin \alpha / n$. Найдем координаты В:

$$\angle CAO = 90^\circ - \alpha, \angle CAB = \angle CAO + \beta, \angle ABD = 360^\circ - \angle CAB - 90^\circ - 90^\circ, \\ \angle OBD = \angle ABD - \beta, x_B = |OD| = R \sin(\angle OBD), y_B = |BD| = R \cos(\angle OBD).$$

При этом учитывается, что сумма углов прямоугольника ABDC равна 360° . Из закона преломления, записанного для точки В следует, что угол преломления луча света при выходе из шара равен α . Так как $\gamma + \angle BOD = \alpha$, то координата точки F равна $x_F = R \sin(\angle OBD) + y_B \operatorname{ctg} \gamma$. Изменяя a , можно рассчитать и построить на бумаге ход лучей внутри и вне шара.

Список используемых источников:

1. Гельман В.Я. Решение математических задач средствами Excel: Практикум. СПб.: Питер, 2003. 240 с.
2. Майер Р.В. Компьютерное моделирование. Глазов: Глазов. гос. пед. ин-т, 2015. 620 с.
URL: <http://maier-rv.glazov.net>
3. Майер Р.В. Решение физических задач с помощью электронных таблиц MS Excel // International Journal of Open Information Technologies. Vol. 2. N 9. 2014. С. 18–23.

© 2016, Майер Р.В., Вахрушева А.М., Данилова И.И., Клюкина С.С.

Об использовании электронных таблиц Excel при решении физических задач на компьютере

© 2016, Mayer R.V., Vakhrusheva A.M., Danilova I.I., Klyukina S.S.

About use of Excel spreadsheets for solving physical problems on the computer