



СОДЕРЖАНИЕ

Основная школа

В. В. Майер Е. И. Вараксина	ИСКРОВОЙ ВОЛЬТМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ	3
--------------------------------	---	---

Старшая школа

В. В. Майер И. Н. Данилов	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА РЕШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ	11
------------------------------	---	----

Высшая школа

С. А. Герасимов	МЕТОД НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ И МЕТОД ПЛОЩАДЕЙ: ЧТО И КОГДА ЛУЧШЕ?	20
-----------------	--	----

В. В. Майер Е. И. Вараксина	НОРМАЛЬНАЯ ДИСПЕРСИЯ СВЕТА В ДЕМОНСТРАЦИОННЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ	26
--------------------------------	--	----

Компьютер в эксперименте

Б. А. Мукушев	ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ В ФИЗИЧЕСКОМ ИССЛЕДОВАНИИ	38
---------------	--	----

Науковедение

- Ю. А. Сауров В АПН СССР: О ДУХОВНОЙ ЖИЗНИ
СТАРШЕГО ПОКОЛЕНИЯ МЕТОДИСТОВ–ФИЗИКОВ...
(Факты ушедшей реальности) 45

Исследования

- Е. И. Вараксина УЧЕБНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В СОВРЕМЕННОМ
ШКОЛЬНОМ ФИЗИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ 52

АВТОРЫ ЖУРНАЛА 71

ABSTRACTS 72

Редакция журнала:

В. В. Майер (главный редактор), Р. В. Акатов, Е. И. Вараксина, Л. С. Кропачева

Редакционный совет:

В. Е. Антонов	д.ф.-м.н., с.н.с., ИФТТ РАН, МГУ, Москва
Л. Д. Григорьева	к.ф.-м.н., доцент, МГУ, Москва
С. С. Назин	к.ф.-м.н., доцент, МГУ, Москва
Г. Г. Никифоров	к.п.н., доцент, ИСРО РАО, Москва
А. Ю. Пентин	к.ф.-м.н., доцент, ИСРО РАО, Москва
Ю. А. Сауров	д.п.н., профессор, член-корр. РАО, Киров
Э. В. Суворов	д.ф.-м.н., профессор, ИФТТ РАН, МГУ, Москва
Я. А. Чиговская–Назарова	к.филол.н., доцент, ректор ГГПИ, Глазов

Оргкомитет конференции:

М. Д. Даммер	д.п.н., профессор, Челябинск
П. В. Зуев	д.п.н., профессор, Екатеринбург
Ю. В. Иванов	к.п.н., доцент, Глазов
Н. Я. Молотков	д.п.н., профессор, Тамбов
Ф. А. Сидоренко	д.ф.-м.н., профессор, Екатеринбург
Т. Н. Шамало	д.п.н., профессор, Екатеринбург

Адрес редакции, издателя и типографии: 427621, Удмуртия, Глазов,

Первомайская, 25, Пединститут, Телефон: (341 41) 5–32–29.

E-mail: kropa@bk.ru

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Глазовский государственный педагогический институт имени В. Г. Короленко»

Журнал «Учебная физика» зарегистрирован Комитетом Российской Федерации по печати 4 февраля 1997 года, регистрационный № 015686, перерегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 2 мая 2017 года, ПИ № ФС77–69506.

Использование и перепечатка материалов допускаются только по договоренности с редакцией журнала.

Сдано в набор 19.11.21. Подписано в печать 09.12.21. Дата выхода в свет: 17.12.21.

Формат 60 × 90 1/16. Усл. печ. л. 4,5.

Заказ 147. Тираж 200 экз. Цена свободная.

Первая страница обложки: Дифракция Френеля на щели и на проволоке (Mayer V V and Varaksina E I Study of Babinet's principle and Rayleigh criterion through elementary theory and simple experiments *Eur. J. Phys.* 42 (2021) 065302 (15pp)).

УДК 521.1+52-17

Б. А. Мукушев

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ В ФИЗИЧЕСКОМ ИССЛЕДОВАНИИ

В статье изложены вопросы реализации вычислительных (компьютерных) экспериментов в процессе изучения физических явлений. Выделены основные этапы проведения вычислительного эксперимента. Рассмотрены вопросы создания физических, математических и компьютерных моделей исследуемых объектов, которые составляют основу этапов вычислительного эксперимента. В статье представлена методика использования пакета прикладных программ *MathCAD* при проведении эксперимента.

Ключевые слова: вычислительный эксперимент, физическая, математическая и компьютерная модель, вычислительный алгоритм, численный анализ, пакет прикладных программ *MathCAD*.

Интенсивное развитие компьютерной техники в последние 50 лет позволило повысить уровень теоретических и экспериментальных исследований во всех областях физической науки. Наряду с традиционными методами исследования, аналитическим и экспериментальным, стали широко использоваться методы компьютерной науки. Эти методы науки нашли широкое применение не только в физике, а также в исследованиях других наук. Преимущество этих методов заключается в том, что изучается не само физическое явление или объект, а его компьютерная модель, что дает возможность достаточно быстро и без больших затрат исследовать свойства и характеристики исследуемого процесса. Появилось новое междисциплинарное научное направление в физике, так называемая вычислительная (компьютерная) физика, сочетающая методы численного анализа, физики и компьютерной науки. Основными инструментами исследования физических объектов этого нового направления науки выступают вычислительные или компьютерные эксперименты.

Исследование на компьютере физических процессов называют вычислительным экспериментом. Тем самым вычислительная физика прокладывает мост между теоретической физикой, из которой она черпает математические модели, и экспериментальной физикой, реализуя виртуальный физический эксперимент на компьютере.

Вычислительный (компьютерный) эксперимент — это эксперимент над математической моделью физического объекта исследования на ЭВМ, который состоит в том, что по одним параметрам модели вычисляются другие ее параметры и на этой основе делаются выводы о физических свойствах объекта, описываемого математической моделью [1].

На первом этапе вычислительного эксперимента выбирается (или строится) модель исследуемого физического объекта (процесса, явления). При построении физической модели необходимо в системе материальных объектов упростить физические тела, поля, условия движения, взаимодействия, ввести физические величины, характеризующие свойства объектов, сформулировать физические законы, описывающие связь между этими понятиями и взаимодействия между материальными объектами. Для реализации такого рода упрощения следует проводить мысленный эксперимент, идеализацию, формализацию и абстрагирование исследуемых физических явлений и процессов.

На втором этапе проводится математическое моделирование физической модели исследуемого объекта, отражающее в математической форме важнейшие его свойства — законы, которым он подчиняется. На этом этапе проводится предварительный анализ исследуемого объекта и построение математической модели (составление уравнений, описывающих исследуемый объект).

Третий этап связан с выбором (или разработкой) вычислительного алгоритма для реализации расчетов на компьютере. Известно, что точность вычисления на компьютере ограничена, также любой расчет вносит погрешность. Вычислительные алгоритмы составляются посредством методов численного анализа.

На четвертом этапе создается программное обеспечение для реализации математического моделирования на компьютере. Таким образом, на данном этапе составляется компьютерная программа, реализующая необходимые вычислительные операции. В качестве программ и языков программирования можно использовать *Microsoft Excel*, *MathCAD*, *Pascal*, *C++*, *Python* [2–4] и др.

Пятый этап связан с проведением компьютерных вычислений и обработкой полученных результатов. На этом этапе проводится анализ расчетов, их сравнение (если это возможно) с результатами натурального эксперимента.

Мы ниже в качестве примера рассмотрим вычислительный эксперимент, предназначенный для изучения полетов космических аппаратов (ИСЗ, космических кораблей и баллистических ракет) около Земли при различных начальных условиях. Нами использован в качестве языка программирования пакет прикладных программ (ППП) *MathCAD*.

Пример. Посредством ППП *MathCAD* нужно построить траектории движения космического аппарата около Земли. 1) ИСЗ имеет скорость $V_0 = 7,56$ км/с на высоте от поверхности Земли $h = 500$ км под углом 0° к горизонту. 2) Космический корабль приобрел вторую космическую скорость ($V_0 = 12$ км/с) в точке, близкой к поверхности Земли под углом 0° к горизонту. 3) ИСЗ стартует в точке, близкой к поверхности Земли со скоростью $V_0 = 9,36$ км/с под углом 0° к горизонту. 4) Баллистическая ракета вылетает с поверхности Земли под углом 45° к горизонту со скоростью $V_0 = 8,76$ км/с. 5) Найдите координаты точек апогея и падения баллистической ракеты при начальных услови-

ях, представленных выше (раздел 4). Для этого нужно использовать вычислительные возможности ППП *MathCAD*.

Первый этап — создание физической модели. Космический аппарат совершил перемещение около Земли из точки A в точку B . Он только в точке A приобретает скорость \vec{V}_0 , составляющую угол с горизонтом α . Спутник находится на высоте h от поверхности Земли; φ_0 — угол между радиус-вектором \vec{r} и осью X ; α_h — угол между радиус-вектором \vec{r} и осью Y (рис. 1). Считаем, что во время движения на космический аппарат действует единственная сила — сила тяготения Земли (в любой момент времени она направлена к центру Земли). Масса космического аппарата не изменяется.

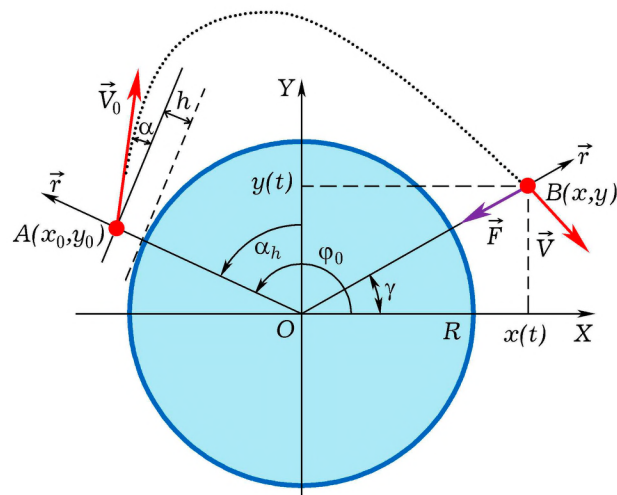


Рис. 1

Второй этап — математическое моделирование. Уравнение движения спутника в поле тяготения Земли имеет вид:

$$m\vec{a} = -\frac{GmM}{r^3}\vec{r}.$$

Здесь m и M — масса ИСЗ и масса Земли, G — гравитационная постоянная, \vec{r} — радиус-вектор, задающий положение ИСЗ относительно центра Земли, \vec{a} — ускорение спутника.

Из предыдущей формулы напомним уравнение ускорения для любого момента времени в скалярной форме

$$a(t) = -G\frac{M}{(r(t))^2}, \quad \text{здесь } (r(t))^2 = (x(t))^2 + (y(t))^2.$$

Проекции ускорения на оси X и Y получаются таким образом:

$$a_x(t) = a(t) \cos \gamma, \quad \text{здесь} \quad \cos \gamma = \frac{x(t)}{r(t)} = \frac{x(t)}{\sqrt{(x(t))^2 + (y(t))^2}}.$$

Используя обозначения, приведенные на рис. 1, запишем проекции ускорения движения тела в произвольный момент времени в следующем виде:

$$a_x(t) = -G \frac{M}{(x(t)^2 + y(t)^2)^{3/2}} \cdot x(t); \quad a_y(t) = -G \frac{M}{(x(t)^2 + y(t)^2)^{3/2}} \cdot y(t).$$

Третий этап — создание вычислительного алгоритма. Используя выражения проекций ускорения движения тела на координатные оси X и Y в момент времени t , можно найти значения проекций скорости и координаты тела на эти оси в момент времени $(t + \Delta t)$:

$$\begin{aligned} v_x(t + \Delta t) &= v_x(t) + a_x \Delta t, & v_y(t + \Delta t) &= v_y(t) + a_y \Delta t; \\ x(t + \Delta t) &= x(t) + v_x \Delta t, & y(t + \Delta t) &= y(t) + v_y \Delta t. \end{aligned}$$

При этом, чем меньше промежуток времени Δt , тем точнее результаты вычисления. Этот метод называется методом итераций и относится к численному анализу [5].

```

cdh := phi0 - pi/2  x0 := (R+h) * cos(phi0)  y0 := (R+h) * sin(phi0)
Vx0 := V0 * cos(alpha + cdh)  Vy0 := V0 * sin(alpha + cdh)  dt := 1  t0 := 0
ax0 := -G * (M * x0) / [(x0)^2 + (y0)^2]^(3/2)  ay0 := -G * (M * y0) / [(x0)^2 + (y0)^2]^(3/2)
(
  ti+1
  axi+1
  ayi+1
  Vxi+1
  Vyi+1
  xi+1
  yi+1
) := (
  ti + dt
  -G * (M * xi) / [(xi)^2 + (yi)^2]^(3/2)
  -G * (M * yi) / [(xi)^2 + (yi)^2]^(3/2)
  Vxi + axi * dt
  Vyi + ayi * dt
  xi + Vxi * dt
  yi + Vyi * dt
)

```

Листинг 1

Четвертый этап — создание и реализация компьютерной программы. На языке ППП *MathCAD* сперва нужно написать следующие постоянные астрономические величины: масса Земли $M := 6 \cdot 10^{24}$, радиус Земли $R := 6.4 \cdot 10^6$, гравитационная постоянная $G := 6.67 \cdot 10^{-11}$. Начальные условия: начальный угол между радиус-вектором \vec{r} и

осью X для всех стартов равен π радиан ($\varphi_0 := (180 \cdot \pi)/180$), начальные скорости ($V_0 := 7.56 \cdot 10^3$, $V_0 := 12 \cdot 10^3$, $V_0 := 9.36 \cdot 10^3$, $V_0 := 8.76 \cdot 10^3$); углы начальной скорости спутника с горизонтом ($\alpha := 0$, $\alpha := 0$, $\alpha := 0$, $\alpha := 45 \cdot \pi/180$); длина траектории ($i := 0.5700$, $i := 0.5700$, $i := 0.11000$, $i := 0.6120$) и высота ИСЗ от поверхности Земли ($h := 5 \cdot 10^5$, $h := 0$, $h := 0$, $h := 0$).

Программа для построения траектории космического аппарата около Земли написана на языке *MathCAD* (Листинг 1).

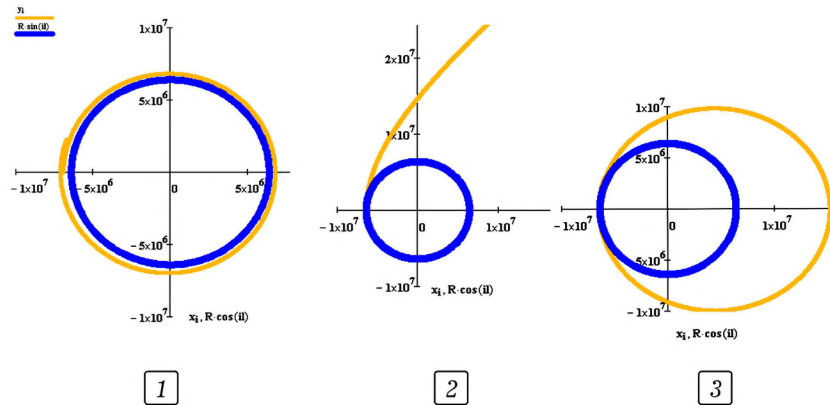


Рис. 2

Пятый этап — проведение компьютерных вычислений и представление полученных результатов. На рис. 2 начерчены компьютером траектории полета космических аппаратов около Земли, соответствующие начальным условиям 1, 2 и 3. Эти траектории получены посредством графических инструментов ППП *MathCAD*.

Используя вычислительные возможности ППП *MathCAD*, находим значения координат точек апогея и падения баллистической ракеты. Для этого нужно пользоваться командой «Трассировка». На рис. 3 представлены координаты точки апогея ракеты, полученные данной командой.

На рис. 4 представлены результаты вычислительного эксперимента по исследованию движения баллистической ракеты в заданиях 4 и 5: получена траектория движения баллистической ракеты в поле тяготения Земли; определены координаты точек апогея баллистической ракеты $X_A \approx -7,98 \cdot 10^6$ м, $Y_A \approx 1,18 \cdot 10^7$ м и падения $X_{\Pi} \approx 2,68 \cdot 10^6$ м, $Y_{\Pi} \approx 6,09 \cdot 10^6$ м.

В заключение отметим, что вычислительные эксперименты с математическими (численными) моделями позволяют изучать сложнейшие нелинейные процессы, что не под силу современным теоретическим подходам. С другой стороны, вычислительный эксперимент позволяет

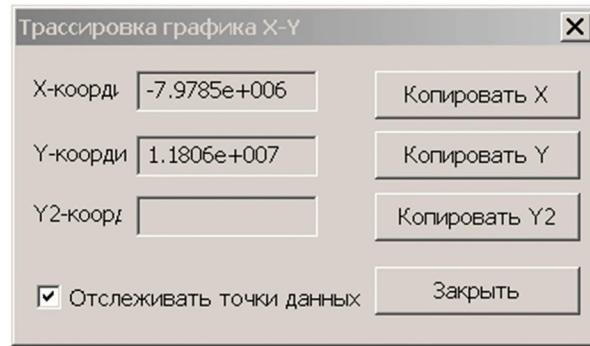


Рис. 3

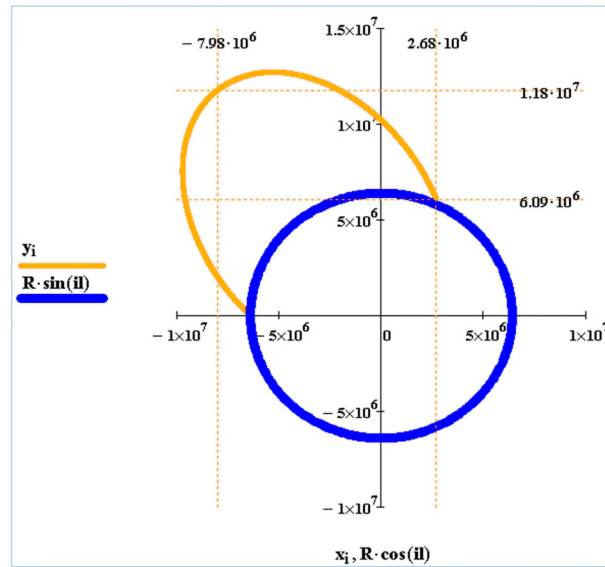


Рис. 4

проводить исследование быстрее, а затраты на его проведение значительно ниже, чем при проведении натурального эксперимента. Поэтому вычислительный эксперимент широко применяется в физике твердого тела, плазмы, неидеального газа и жидкости, астрофизике и т. д.

Вычислительный эксперимент объединяет научные мысли исследователей из областей теоретической и экспериментальной физики с передовыми идеями ученых и инженеров, занимающихся проблемами

прикладной математики и компьютерной науки. По этой причине вычислительный эксперимент может рассматриваться как оптимальный путь кооперации умственного труда и средств, нацеленный на повышение производительности научного поиска исследователей [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki>.
2. Майер Р. В. Решение физических задач с помощью пакета *MathCAD* [Электронный ресурс]. — Глазов: ГГПИ, 2006. — 37 с.
3. Очков В. *MathCAD 14* для студентов, инженеров и конструкторов. — Санкт-Петербург, 2007. — 370 с.
4. Кирьянов Д. *MathCAD 14* в подлиннике. — Санкт-Петербург, 2007. — 682 с.
5. Гулин А. В., Мажорова О. С., Морозова В. А. Введение в численные методы в задачах и упражнениях. — Москва, 2014. — 368 с.
6. Умнов А. М., Туриков В. А., Муратов М. Н. и др. Современные методы вычислительного эксперимента в прикладной физике: Учеб. пособие. — М.: РУДН, 2008. — 248 с.

Казахский агротехнический
университет имени С. Сейфуллина

Поступила в редакцию 21.12.20.

ABSTRACTS

Mayer V. V., Varaksina E. I. Spark voltmeter for measuring high voltage. A simple spark voltmeter for measuring high voltage is described. The device can be made when students are performing an educational and research project and used in demonstration experiments in school lessons. *Keywords:* spark discharge, breakdown voltage, spark voltmeter, educational and research project.

Mayer V. V., Danilov I. N. Experimental verification of the solution of a physical problem. An experiment is considered to test the solution of a well-known problem relative to an electrical circuit consisting of three series-connected galvanic cells forming a closed circuit. *Keywords:* galvanic cell, electromotive force, internal resistance, short circuit, physical problem, experimental verification.

Gerasimov S. A. Least-square method and area-method: what's better? The least-square method is not at all a panacea at approximation of experimental data. There exists another way of describing experimental dependences, which sometimes gives incomparable better results. *Keywords:* approximation, least-square method, root-mean-square error, modeling.

Mayer V. V., Varaksina E. I. Normal light dispersion in demonstration and laboratory experiments. Demonstration and laboratory experiments on qualitative and quantitative educational research of normal light dispersion are proposed. The objects of the study are the Amichi direct vision prism and the triangular equilateral prism made of flint glass of the TF3 brand. Simple and affordable devices for demonstration, observation and photographing dispersion curves on a smartphone are described. Manual and computer methods of processing experimental results are considered. *Keywords:* normal dispersion of light, lecture demonstration, laboratory work, educational research, dispersion curve, photographing on a smartphone.

Mukushev B. A. Computational experiments in physical research. The article deals with the implementation of computational (computer) experiments in the study of physical phenomena. The main stages of conducting computational experiments are highlighted. The issues of creating physical, mathematical and computer models of the objects under study are considered. These models form the basis of each stage of the computational experiment. The article describes the method of using the MathCAD during the experiment. *Keywords:* computational experiment, physical, mathematical and computer model, computational algorithm, numerical analysis, MathCAD application software package.

Saurov Yu. A. At the Academy of Pedagogical Sciences of the USSR: about the spiritual life of the older generation of methodologists-physicists ... (Facts of a bygone reality). The article reveals some features of the professional life of methodologists-physicists of the older generation: discipline, accuracy, attentiveness, content, etc. *Keywords:* physics education, methods of communication and activity, letters.

Varaksina E. I. Educational experiment in modern school physics education. The results of an ascertaining pedagogical experiment aimed at identifying the problems of using educational experiments in teaching physics at school are presented. *Keywords:* physics teacher, school graduate, school physics room, educational equipment, knowledge of experiment.