

УДК 378

Баракин В.В.**Вертыпорох Л.С.***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua***СОВРЕМЕННАЯ МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИКИ В ТЕХНИЧЕСКИХ УНИВЕРСИТЕТАХ**

Анализируется качество изучения физики в средних и высших учебных заведениях и предлагается современная методика проведения лекционных, лабораторных и практических занятий по физике в технических университетах с применением математического вычислительного пакета MathCAD.

В современных условиях перехода общества к рыночной экономике ухудшилось материальное снабжение средних и высших учебных заведений: не пополняется учебно-лабораторная база, оборудование изнашивается, физический практикум проводится со значительными затруднениями. Во многих технических университетах отсутствуют вступительные экзамены по физике, что, безусловно, приводит к значительному снижению качества подготовки абитуриентов. Положение ухудшает плановое уменьшение нагрузки по естественным дисциплинам в средней школе и вузах. На факультетах ТАМП, МТС и АВТ Севастопольского национального технического университета ликвидированы практические занятия и только на кафедрах радиотехники и электроники предусмотрено решение физических задач. Подготовленные в вузах специалисты не знакомы с новейшими достижениями и открытиями в естествознании и технике. До сих пор наблюдается резкий спад престижности специалистов естественного профиля, что накладывает негативный отпечаток на процесс преподавания физики, математики и других естественнонаучных дисциплин.

В то же время национальная доктрина развития образования Украины в XXI веке определяет как приоритетное его совершенствование, в частности, создание индустрии учебных средств, применение новых образовательных и информационных технологий. Об этой проблеме велась речь в министерстве образования Украины на Всеукраинском совещании работников высших учебных заведений, преподавателей физики и математики средних школ и институтов последипломного образования, сотрудников научно-исследовательских и академических учреждений «Современное физико-математическое образование. Перспективы, проблемы» 29 октября 2008 года. На совещании подчеркивалась необходимость создания учебников нового поколения, компьютеризации учебного процесса, широкого использования современных средств обучения.

Сокращение объема преподавания курса физики в средней школе и на младших курсах высших учебных заведений может быть компенсировано либо увеличением недельной нагрузки (переходом от 30 часовой к 34-36 часовой учебной неделе) и увеличением объема самостоятельной подготовки, либо за счет внедрения в учебный процесс современных качественно новых технологий [1]. Отметим слова известного физика, одного из создателей квантовой механики Макса Планка: «Не так важно, чему учат в школе (хотя это очень важно!), а важно, как учат. Одно действительно понятое учеником математическое предложение имеет больше ценности, чем 10 формул, которые он заучил наизусть и даже знает, как их применять, но не понял их действительного смысла». Функция школы и вузов не в том, чтобы дать специальный опыт, а в том, чтобы выработать самостоятельное мышление, т.е. особое значение имеет именно практическая деятельность. Именно поэтому, сегодня важно использовать компьютерные технологии в процессе обучения.

Использование учебных компьютерных программ позволяет учащемуся быть активным участником учебного процесса. А именно: работать по индивидуальному плану, выбирая темп и длительность занятий, непрерывно следить за качеством усвоения знаний с помощью интерактивных тестов, использовать графическое или звуковое представление информации в зависимости от индивидуальных предпочтений, самостоятельно создавать демонстрационные материалы и учебные программы, что повышает мотивацию и увеличивает интерес к изучаемому предмету. Для средней школы важна возможность включения игровых элементов в процесс обучения.

Целесообразность использования компьютеров в учебном процессе раскрыта в работах И.В. Роберт, Н.В. Талызиной, Б.С. Гершунского, П.Я. Гальперина, В.В. Давыдова, Н.В. Апатовой и других. В литературе широко освещены преимущества использования электронных средств при проведении лабораторных работ. Они позволяют осуществлять виртуальные опыты при недостатке лабораторного оборудования, реализовать сложные или опасные опыты (например, повторить работы Э.Торричелли с ртутью), провести эксперименты в принципе неосуществимые на практике (например,

изменение движения небесных тел). Немаловажно, что можно неограниченно тиражировать виртуальную лабораторную установку без затрат денежных средств.

На сегодня создано несколько виртуальных практикумов, таких как «Открытая физика» ООО ФИЗИКОН, также существуют авторские разработки отдельных лабораторных работ. Однако, кроме вопросов об организации самих работ, имеется расхождение мнений о самой методологической целесообразности их использования. Так, их сторонники зачастую полностью заменяют экспериментальную работу виртуальной, чем скорее снижают уровень подготовки, т.к. физика, прежде всего, экспериментальная наука, а виртуальные лабораторные не отработывают такие навыки как работа с измерительными приборами, произведение расчетов на основании графиков и таблиц, расчет приборной и случайной погрешности. Учащийся знакомится с моделью, в той или иной степени идеализированной, не иллюстрирующей, в достаточной степени, теоретический материал. Другая крайность – полный отказ от использования виртуальных работ на основе вышеприведенных соображений.

Неоднозначно отношение и к вычислительным пакетам. В настоящий момент осуществляются обращения к математическому пакету MathCAD применительно к учебным физическим задачам, в частности созданы методические разработки М.В. Дудык и С.А. Хазиной [2]. Тем не менее, возможности данного приложения не используются в полную силу, т.к. не происходит комплексного использования его учащимися на всех видах занятий: практических, лабораторных и лекционных. Многие преподаватели отказываются от их использования на младших курсах, обосновывая данный факт сложностью работы с подобными приложениями.

В связи с этим, целью данной работы является разработка современной методики изучения физики в технических университетах. Предлагается использовать математический пакет MathCAD не только для выполнения рутинной вычислительной работы, но и для активной творческой деятельности по созданию математических моделей физических явлений; включить анализ математических моделей в проведение физического практикума наряду с виртуальным и реальным экспериментом, использовать его при решении задач и проведении лекционных занятий.

Пакет MathCAD обладает мощнейшим расчетным блоком, в то время как функции его доступны через общепризнанный интерфейс записи математических формул и, следовательно, не требует предварительного изучения специального языка. Интуитивный интерфейс делает его привлекательным для использования уже на первом курсе университета и в старших классах средней школы. Разработчики, начиная с первой версии программы, руководствовались принципом What You See Is What You Get (Что вы видите, то и получите), что позволяет сосредотачивать внимание непосредственно на физической сущности изучаемого материала, не заостряя внимание на внешнем предоставлении информации. Полноценный текстовый редактор и графический модуль дают возможность использовать его как средство создания демонстрационных материалов, в том числе анимационных. Немаловажно, что он приспособлен для работы на платформах с самыми скромными системными ресурсами.

В качестве примера приведем фрагмент лекции по физике для студентов первого курса технических университетов по теме «Затухающие колебания».

Рассмотрим колебания пружинного маятника. Пусть тело массой m , укрепленное на пружине с жесткостью k , движется в среде с коэффициентом сопротивления r . Действующие на него силы представлены на рисунке 1.

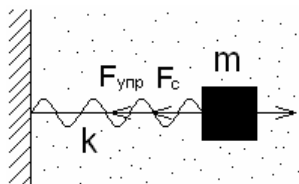


Рисунок 1 – Силы, действующие на тело при затухающих колебаниях

Решим основную задачу динамики поступательного движения. На тело действуют сила сопротивления $F_c = -rV = -r\dot{x}$ и сила упругости $F_{упр} = -kx$. Второй закон динамики при этом будет иметь вид:

$$m\ddot{x} = -r\dot{x} - kx, \quad (1)$$

или

$$\ddot{x} + \frac{r}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = 0. \quad (2)$$

Дальнейшее построение лекции строится на анализе уравнения (2). Здесь преподаватель сталкивается с проблемой неподготовленности студентов, т.к. знакомство с дифференциальными уравнениями в курсе математических дисциплин происходит годом позже. Анализ производится искусственными математическими приемами. После введения круговой частоты $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ и коэффициента затухания $\beta = \frac{r}{2m}$ получают однородное дифференциальное уравнение второго порядка

$$\ddot{x} + 2\beta \dot{x} + \omega_0^2 x = 0. \quad (3)$$

Утверждается, что решение этого уравнения можно представить в виде

$$x = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi), \quad (4)$$

где $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ - частота затухающих колебаний, φ - начальная фаза, $A_0 e^{-\beta t}$ - амплитуда колебаний. Далее вводится новая переменная $x = z e^{-\beta t}$. Находится первая и вторая производная по времени от x и подставляется в исходное уравнение (3). В итоге приходим к выражению $\ddot{z} + \omega^2 z = 0$, решением которого, опять же априори, является выражение $z = z_m \cos(\omega t + \varphi)$. После обратной замены, придем к выражению (4). На основании этого предположение о том, что (4) является решением (3) считается доказанным. Далее изображается примерный вид графика затухающих колебаний.

Использование MathCAD позволяет ускорить решение основной задачи динамики поступательного движения при затухающих колебаниях. Предполагается использование ЭВМ и проектора. Зададим значение параметров $m := 0.5$ кг, $r := 5$ кг/с, $k := 20$ Н/м, используя оператор присвоения $:=$, вводимый сочетанием клавиш Shift и $:/\backslash$. Введем оператор Given, открывающий блок, содержащий систему уравнений. Запишем уравнение (1), используя панель Calculus Toolbar для ввода производных и сочетание клавиши Ctrl и $+/-$ для знака равенства.

$$m \cdot \frac{d^2}{dt^2} x(t) + r \cdot \frac{d}{dt} x(t) + k \cdot x(t) = 0$$

Зададим начальные условия. Для ввода штриха используем сочетание клавиш Ctrl и F7, повторное нажатие которого приводит к отображению 2-ой, 3-ей и т.д. производных.

$$x(0) = 10 \quad x'(0) = 0$$

Введем оператор решения дифференциального уравнения:

$$x := \text{Odesolve}(t, 40),$$

где 40 – предел диапазона значений t .

Для построения графика затухающих колебаний, представленного на рисунке 2, создадим поле сочетанием клавиш Shift и @/2 или с помощью панели Graph ► X-Y-Plot.

В возникшем поле по оси X введем t , по оси Y - $x(t)$. Начальное и конечное значение времени и смещения выберем оптимальным образом.

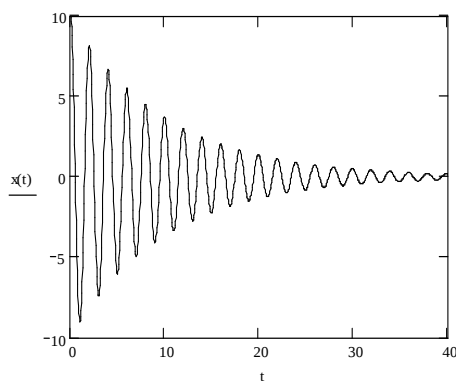


Рисунок 2 – График затухающих колебаний, полученный средствами MathCAD.

Варьируя значения начальных параметров можно изменяя вид графика произвести качественный и количественный анализ зависимости амплитуды от массы тела, жесткости пружины и коэффициента

сопротивления среды. Время, затраченное на объяснение темы, сокращается, не привлекается не знакомый учащимся математический аппарат.

Пакет MathCAD может быть предложен также для решения физических задач. Рассмотрим пример: сосуд объемом 20 литров содержит смесь водорода и гелия при температуре 20°C и давлении 2 атмосферы. Масса смеси 5 грамм. Найти отношение массы водорода к массе гелия в данной смеси.

Введем данные задачи:

$m := 5 \cdot 10^{-3}$, $T := 293$, $R := 8.31$, $V := 20 \cdot 10^{-3}$, $P := 2 \cdot 10^5$, $M1 := 2 \cdot 10^{-3}$, $M2 := 4 \cdot 10^{-3}$, где $M1$ и $M2$ - молярные массы газов. Введем оператор Given. Запишем уравнения связывающие данные величины. Закон Клапейрона-Менделеева для первого и второго газов:

$$P1 \cdot V = \frac{m1 \cdot R \cdot T}{M1}, \quad P2 \cdot V = \frac{m2 \cdot R \cdot T}{M2}, \quad \text{закон Дальтона } P = P1 + P2, \quad \text{масса смеси равна сумме масс}$$

компонентов: $m = m1 + m2$. Далее найдем неизвестные величины, используя оператор find:

$$\text{Find}(m1, m2, P1, P2) = \begin{pmatrix} 0.15 \cdot 10^{-2} \\ 0.34 \cdot 10^{-2} \\ 9.56 \cdot 10^4 \\ 1.04 \cdot 10^5 \end{pmatrix}.$$

Найдем необходимое отношение масс: $\frac{0.16}{0.34} = 0.46$.

Пакет MathCAD также может быть использован для создания математических моделей физических процессов, которые предлагается использовать при проведении лабораторных работ.

Современная методика проведения физического практикума предполагает:

- моделирование физических явления и процессов;
- выполнение виртуальной лабораторной работы и проведение компьютерного эксперимента;
- проведение экспериментальных исследований с использованием реального физического оборудования и приборов;
- обработка результатов исследования, оценка и анализ случайной и приборной погрешности, грамотная запись окончательных результатов и расчетов.

В качестве примера рассмотрим выполнение классической для высшей школы лабораторной работы «Определение коэффициента внутреннего трения жидкости по методу Стокса» [3], [4].

На рисунке 3 рассмотрим силы, действующие на тело, движущееся в жидкой среде.

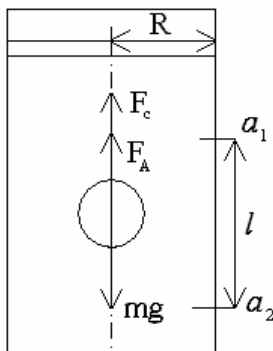


Рисунок 3 – Силы, действующие на тело при падении в жидкости

При движении в жидкости на тело действуют сила трения, определяемая по формуле Стокса $F_C = -6\pi\eta rV$, сила Архимеда F_A и сила тяжести mg . Составим второй закон динамики и проанализируем уравнение движения данного тела

$$m \frac{dV}{dt} = mg - F_A - 6\pi\eta rV \quad (5)$$

Поскольку шарик падает с некоторой высоты h , то начальная скорость шарика при движении в жидкости зависит от этой высоты h . Так, при высоте $h = 5$ см скорость шарика в момент падения в жидкость будет примерно равна $1 \frac{M}{c}$. Интерес представляет исследование зависимости скорости движения шарика в жидкости от начальной скорости падения шарика в жидкость. Для этого решим дифференциальное уравнение (5), используя MathCAD, и построим зависимость скорости движения тела

в жидкости от времени. Заметим при этом, что архимедова сила мала по сравнению с силой Стокса, и её можно не учитывать при моделировании.

Зададим начальные параметры: $\rho := 500 \text{ кг/м}^3$, $\eta := 0.6 \cdot 10^{-2} \text{ кг/(м·с)}$, $r := 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Значения ускорения свободного падения g и числа π вводить нет необходимости, т.к. данные символы уже зарезервированы под соответствующие числовые значения.

Введем команду Given, открывающую блок, содержащий анализируемое уравнение и его начальные условия. Запишем уравнение движения тела со скоростью $V1(t)$ при начальном значении $V1(0) = 0 \text{ м/с}$.

$$\frac{d}{dt}V1(t) + \frac{9 \cdot \eta \cdot V1(t)}{2 \cdot r^2 \cdot \rho} - g = 0$$

Определим начальные параметры: $V1(0) = 0$.

Для решения дифференциального уравнения используем встроенную функцию Odesolve

$$V1 := \text{Odesolve}(t, 0.4).$$

Повторим данные операции для $V2$ при $V2(0) = 0.3 \text{ м/с}$, $V3$ при $V3(0) = 0.8 \text{ м/с}$ и $V4$ при $V4(0) = 1 \text{ м/с}$.

Построим зависимости скоростей движения шарика от времени в исследуемой жидкости при различных начальных условиях, изображенные на рисунке 4. Для создания нескольких графиков в одной координатной плоскости введем $V1$, $V2$, $V3$ и $V4$ по вертикальной оси через запятую.

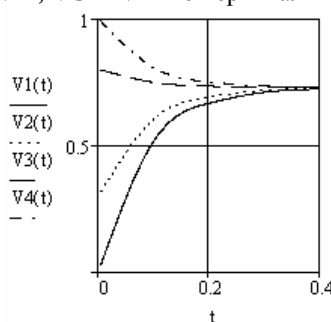


Рисунок 4 — Зависимость скорости движения тела в вязкой среде от времени при различных начальных скоростях (м/с): 0; 0.3; 0.8; 1

Результат моделирования показывает различный характер движения тела в исследуемой жидкости, а также тот факт, что при любых начальных условиях тело достигает постоянной скорости примерно за одно и то же время.

Рассмотренная модель дает теоретическое обоснование практической части лабораторной работы.

В состоянии, когда ускорение равно нулю $\left(\frac{dV}{dt} = 0\right)$, уравнение движения тела имеет вид:

$$\frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \rho^* g - \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \rho g - 6\pi \eta \cdot r V = 0$$

Решение этого уравнения относительно η дает рабочую формулу, по которой производится расчет коэффициента внутреннего трения в лабораторной работе:

$$\eta = \frac{2}{9} g \frac{(\rho^* - \rho) r^2 t}{l \left(1 + 2.4 \frac{r}{R}\right)},$$

где ρ^* — плотность тела, ρ — плотность жидкости, r — радиус шара, t — время, за которое тело проходит путь l (расстояние между метками a_1 и a_2 на сосуде), R — радиус сосуда, g — ускорение свободного падения, η — коэффициент вязкости жидкости.

Т.к. учащимся понята сущность модели, он может приступить к выполнению виртуальной работы, созданной на ее основе, при этом понимая какие именно вычислительные процессы производит машина.

В виртуальной лабораторной работе задаются плотности тела и жидкости, радиусы шара и сосуда. Результат работы программы — значение коэффициента вязкости жидкости и график зависимости скорости от времени, построенный на основе приведенной выше математической модели. Ядром данной

программы служит MathCAD. Кроме того, виртуальная лабораторная работа может включать в себя виртуальный учебник, интерактивный тест для проверки знаний, а также, при необходимости, видеозапись протекания реального процесса.

При выполнении экспериментальной части работы на лабораторной установке измеряется время падения шарика в столбе жидкости, вычисляется коэффициент вязкости, рассчитываются погрешности.

Еще одним примером триады «модель - виртуальный эксперимент - физический эксперимент» является работа по изучению распределения Максвелла [5].

Для трехмерного случая распределение частиц по модулю скорости описывается распределением Максвелла:

$$F(V) = \frac{dN}{NdV} = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} V^2 \exp\left(-\frac{mV^2}{2kT} \right), \quad (6)$$

где $V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$.

$\langle V \rangle = \left(\frac{8kT}{\pi m} \right)^{\frac{1}{2}}$ - средняя скорость движения молекул; $V_B = \left(\frac{2kT}{m} \right)^{\frac{1}{2}}$ - наиболее вероятная скорость

движения молекул.

Модель распределения суммы двух случайных величин, имеющих прямоугольное распределение, может быть построена на основе игры «Крэпс» [6]. Ее смысл состоит в подбрасывании двух игральных костей, вычислении суммы выпавших очков и определении условий игры.

Очевидно, что для одной кости выпадение каждой из шести граней (и, таким образом, цифр 1, 2, 3, 4, 5 и 6) является событием равновероятным и равным 1/6. При подбрасывании двух костей имеем $6 \cdot 6 = 36$ равновероятных исходов, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сумма чисел выпавших на гранях игральных костей

Первая кость							
В		1	2	3	4	5	6
т о р а я	1	2	3	4	5	6	7
	2	3	4	5	6	7	8
	3	4	5	6	7	8	9
	4	5	6	7	8	9	10
	5	6	7	8	9	10	11
	6	7	8	9	10	11	12

В выделенных клетках таблицы 1 указана соответствующая сумма очков. В таблице 2 представлено рассчитанное распределение вероятности суммы очков при одновременном подбрасывании двух костей.

Таблица 2 – Распределение вероятности суммы очков

Сумма	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вероятность	1/36	2/36	3/36	4/36	5/36	6/36	5/36	4/36	3/36	2/36	1/36

При суммировании двух случайных событий, имеющих равномерное распределение, получается распределение близкое к треугольному.

Для модели распределения Максвелла используют ту особенность, что при суммировании шести и более величин, имеющих равномерное распределение, сумма описывается законом Гаусса.

Распределение Максвелла для скоростей молекул газа доказано из предположения о распределении проекций скоростей молекул по нормальному закону (6). При этом случайная величина η абсолютного значения скорости записывается через компоненты скорости как

$$\eta = \sqrt{\eta_1^2 + \eta_2^2 + \eta_3^2}.$$

Для трех случайно генерируемых величин η_i строится гистограмма и сравнивается с функцией распределения (6).

Одним из вариантов виртуальной работы на данную тему является программа ModelMax [7], которая позволяет пользователю задавать значения температуры, интервал изменения температур, массы молекул газа, интервал изменения массы, число молекул и интервал изменения числа молекул при проведении модельного эксперимента. Приложение выводит графическую информацию (гистограмму и функцию распределения Максвелла), окно с анимационным отображением характера движения молекул

в рассматриваемой модели термодинамической системы, а также численные значения рассчитанных наиболее вероятной скорости и среднеквадратической скорости молекул при заданных температурах.

Экспериментальная часть выполняется на установке «Изучение распределения термоэлектронов по скоростям», в ходе выполнения которой снимаются вольтамперные характеристики диода 4Ц14С (лампы с прямым накалом) при различных токах накала катода, вычисляются скорости термоэлектронов, строится распределение электронов по скоростям в MathCAD с целью автоматизации расчетов. Экспериментальная часть дает возможность убедиться, что распределение термоэлектронов по скоростям действительно описывается распределением Максвелла, а виртуальная - детально проанализировать влияние различных параметров на распределение молекул идеального газа по скоростям.

Выполнение лабораторных работ в виде комплекса трех различных заданий способствует всестороннему изучению рассматриваемого вопроса. Создание математических моделей способствует овладению математическим аппаратом и осознанию взаимосвязей параметров внутри системы, ее поведения при внесении изменений. Возникшие предположения учащиеся проверяют на виртуальных и экспериментальных установках.

Использование MathCAD позволяет задавать условия задач, приближенные к реальным, не сводящиеся к простейшим математическим преобразованиям. Это с одной стороны дает ощущение практической применимости изучаемых вопросов, с другой – готовит к дальнейшей учебной и производственной деятельности, научной работе. Предложенные принципы организации учебной деятельности могут многократно повысить эффективность заочного и дистанционного образования.

Современный подход к преподаванию естественнонаучных дисциплин на младших курсах университетов предполагает эффективное применение информационных технологий, оснащение учебных лабораторий современными техническими средствами и проекционной техникой. Кроме того, необходима специальная подготовка и переподготовка преподавательского состава общетехнических кафедр.

Дальнейшее развитие данной работы заключается в создании методических пособий по использованию MathCAD при решении физических задач, а также в дополнении физического практикума заданиями по исследованию математических моделей и виртуальными лабораторными работами.

Библиографический список

1. Фізика для інженерних спеціальностей. Кредитно-модульна система: навч. посібник. Ч. I / В.В. Куліш, А.М. Соловйов, О.Я. Кузнєцова, В.М. Кулішенко. — К.: НАУ, 2004. — 456 с.
2. Дудик М.В. Моделювання фізичних явищ у комп'ютерних навчальних програмах: навчальний посібник / М.В. Дудик, С.А. Хазіна. — Умань: АЛІМІ, 2007. — 72 с.
3. Механика. Термодинамика и молекулярная физика: практикум по физике / под ред. А.Н. Веселкова. — Севастополь: изд-во СевГТУ, 1999. — 184 с.
4. Баракин В.В. Современный физический практикум. Моделирование. Виртуальные и экспериментальные работы / В.В. Баракин, В.М. Назарычев // Матер. IV Всеукраинской научно-технической конференции. — Севастополь: изд-во СевНТУ, 2008. — 292 с.
5. Баракин В.В. Реальный и виртуальный физический практикум на примере изучения распределения Максвелла / В.В. Баракин, В.В. Костюков, И.В. Лапоногов // Матер. IV Всеукраинской научно-технической конференции. — Севастополь: изд-во СевНТУ, 2008. — 292 с.
6. Мостеллер Ф. Пятьдесят занимательных вероятностных задач с решениями / Ф. Мостеллер. — М.: Изд-во «НАУКА», Главная редакция физико-математической литературы, 1971. — 104 с.
7. Виртуальный физический практикум: методические указания к лабораторным работам по курсу общей физики для студентов технических специальностей очной и заочной форм обучения высших учебных заведений / В.В. Баракин [и др.]; под ред. В.Л. Лучина. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2008. — 685 с.

Поступила в редакцию 04.12.2008 г.