

В КАЗАХСТАНСКОЙ ШКОЛЕ  
ҚАЗАҚСТАН МЕКТЕБІНДЕ

# ФИЗИКА



№ 6 (42) - 2012

республиканский научно-методический журнал

### СОДЕРЖАНИЕ

<u>Из опыта работы</u>	
Формирование ключевых компетенций в учебно-исследовательской деятельности школьников на уроках физики.....	4
<i>Макарова Е. Г.</i>	
Оценка времени тепловых процессов, или Как зависит время варки картофеля от его размера.....	8
<i>Возжаева Е.</i>	
Физиканы болашақ мамандығымен байланыстыра оқыту.....	14
<i>Кулекшова Г. З.</i>	
Линзалар.....	15
<i>Ерменова Б. О.</i>	
<u>Мой урок</u>	
Повторительно-обобщительный урок на тему «Постоянный ток» с элементами решения неформальных задач. (8 класс).....	17
<i>Ким С. Г.</i>	
Радиоактивность. Опыт Резерфорда. 11 класс.....	20
<i>Джелдыбакова Н. В.</i>	
Изменение атмосферного давления с изменением высоты (7 класс).....	23
<i>Кузьмина И. В.</i>	
Испарение и конденсация.....	27
<i>Жамашева Г. А.</i>	
«Ішкі энергия» тарауын қайталау.....	31
<i>Сейтығалиева Р. М.</i>	
Реактивті қозғалыс. Физика, 9-сынып.....	33
<i>Мырзекенова А. Н.</i>	
<u>Страницы классного руководителя</u>	
«В поисках сокровищ» Физика, внеклассное мероприятие. 8 класс.....	36
<i>Ковко Т. А.</i>	
Викторина «Физикон». Внеклассное мероприятие по физике в 8 классе.....	41
<i>Исаева И. В.</i>	
«XX ғасыр алғырлары». Танымдық ойын.....	46
<i>Білал Д. Т.</i>	
«Білімпаздар бәйгесі» атты білім сайысы. Сыныптан тыс жұмыс.....	48
<i>Тлеуова Д. А.</i>	

## ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ, ИЛИ КАК ЗАВИСИТ ВРЕМЯ ВАРКИ КАРТОФЕЛЯ ОТ ЕГО РАЗМЕРА

Вождаева Е.,  
лицей № 149, г. Омск

### Комментарий методиста

«В физике ... нет места для путаных мыслей... Действительно понимающие природу того или иного явления должны получать основные законы из соображений размерности» [1, с. 34]. Эти слова принадлежат великому итальянскому физику Энрико Ферми. Наряду со многими другими работами Ферми создал *теорию* радиоактивного распада и вместе с физиками своей группы открыл *экспериментально* искусственную радиоактивность элементов, возникающую при бомбардировке нейтронами. В истории физики XX века он является одним из самых замечательных примеров «универсальности» физика-теоретика и экспериментатора.

Метод размерностей позволяет оценить порядок величины ожидаемого эффекта, простые предельные случаи и характер функциональной связи, определяющей явление величин. «Одним из наиболее эффективных методов такого анализа является метод размерностей. Не будет преувеличением сказать, что метод размерностей обладает «максимальным КПД», экономя горы бумаги теоретикам, деньги и время экспериментаторам» [2, с.11].

Учитывая высокую значимость метода размерности, преподавателю физики, безусловно, необходимо находить приемы ознакомления учащихся с данным методом при организации профильного обучения и (или) в процессе руководства им творческими проектами школьников. Ниже в статье как раз и приведен подобный пример применения метода размерности. Содержанием статьи является краткое изложение доклада ученицы 9 класса лицея № 149 г. Омска Е. Вождаевой на конференции учащихся, организуемой на базе Омского государственного университета им. Ф. М. Достоевского.

С.М. Андрюшечкин

### Введение

Тепловые явления подчиняются достаточно сложным физическим законам. Точный расчет, например, времени протекания тепловых процессов при теплообмене требует, как правило, применения высшей математики. Поэтому представляется *актуальным* использование оценочных приближенных методов определения времени тепловых процессов.

По этой причине *целью* данной работы являлось изучение метода размерностей применительно к тепловым процессам.

В работе ставились и решались следующие *задачи*:

- ознакомиться с методом размерности;

- провести на основе данного метода оценку времени варки картофеля;

- осуществить экспериментальную проверку полученной теоретической зависимости.

В соответствии с целью работы *объектом исследования* являлись тепловые процессы, происходящие при термической обработке продуктов питания, а *предметом исследования* – оценка времени варки картофеля.

### Основная часть

#### §1. Метод размерностей

Перефразируя известное высказывание, скажем, что если математика – это искус-

ство избегать вычислений, то метод размерностей в физике – это искусство вычислять без математики. В чём же заключается метод размерностей? Очень часто (но не всегда!) функциональная зависимость физических величин имеет степенной характер, поэтому при использовании метода размерностей из качественных соображений выясняется от каких величин  $B, C, D$  зависит некоторая физическая величина  $A$ . Записывается степенная зависимость величины  $A$  от величин  $B, C, D$  в виде:

$$A \sim B^x C^y D^z. \quad (1.1)$$

Таким образом, «всякое уравнение в физике выражает соотношение, объективно существующее в природе, независимо от воли того, кто это уравнение пишет. И, конечно, обе части уравнения должны выражаться величинами, измеряемыми в одних и тех же единицах.

Единицы измерения каждой физической величины выражаются через основные единицы измерения... Обе части каждого физического уравнения должны иметь одинаковую размерность» [3, с. 75].

По этому поводу в начале XX в. в университетских кругах бытовал следующий анекдот. На заседании учёного совета профессор-богослов говорит: «Вы представляете, спрашиваю на лекции студента-физика: «В чём заключается божественная сила?». А он мне отвечает: «Божественная сила равна произведению божественной массы на божественное ускорение». Профессор физики реагирует: «Полностью солидарен с возмущением коллеги по поводу столь ужасного ответа. Не может быть, чтобы в левой части одного и того же уравнения была «божественная», а в правой – «божественная» в квадрате».

Итак, левая и правая части соотношения (1.1) должны, конечно, измеряться одними и теми же единицами, то есть иметь одинаковые размерности:

Величина	$\omega$	$m$	$g$	$l$
Единица измерения величины	1/с	кг	м/с <sup>2</sup>	м

$$[A] = [B^x][C^y][D^z]. \quad (1.2)$$

Это позволяет определить показатели степеней  $x, y, z$  и установить функциональную зависимость величины  $A$  от величин  $B, C, D$ .

Приведём несколько примеров применения метода размерностей.

### Пример 1

Докажем теорему Пифагора, пользуясь соображениями размерности. Из размерности следует, что площадь  $S$  прямоугольного треугольника можно записать как произведение квадрата гипотенузы на некоторую функцию одного из острых углов

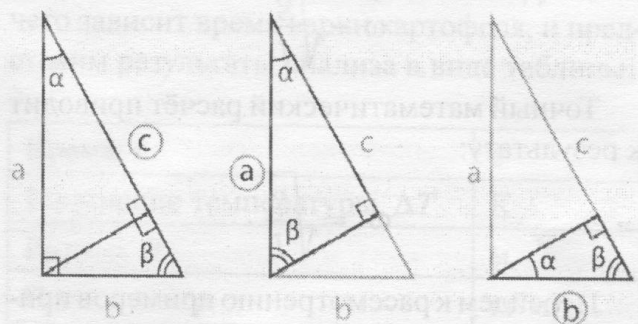


Рис. 1  $S = c^2 f(\alpha)$ .

Аналогичным образом можно представить площади двух подобных прямоугольных треугольников, которые получаются, если опустить высоту из прямого угла (рис. 1). Для этих треугольников роль гипотенузы играют катеты исходного треугольника.

Поэтому:

$$c^2 f(\alpha) = a^2 f(\alpha) + b^2 f(\alpha).$$

Сократив на  $f(\alpha)$ , получим теорему Пифагора: «В прямоугольном треугольнике квадрат длины гипотенузы равен сумме квадратов длин катетов» [1, с. 41].

### Пример 2

Определим круговую частоту  $\omega$  математического маятника (рис 2.) Предположим, что его круговая частота  $\omega$  может зависеть от массы маятника  $m$ , ускорения свободного падения  $g$ , длины нити маятника  $l$  [4, с. 122]. Выпишем единицы измерения величин:

Из анализа таблицы видно, что круговая частота  $\omega$  не может зависеть от массы  $m$ , так как единица измерения массы – килограмм – не может быть сокращена с единицами измерения других величин. «Физически разрешенная» зависимость имеет вид:

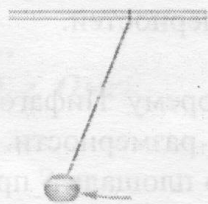


Рис. 2

$$\omega \sim \sqrt{\frac{g}{l}}$$

Точный математический расчёт приводит к результату:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

Перейдем к рассмотрению примеров применения метода размерностей для тепловых процессов. Количественный анализ процессов теплообмена проводится на основе закона Фурье: «явление теплопроводности имеет место тогда, когда существует разность температур, вызванная какими-либо внешними причинами, и заключается в переносе некоторого количества теплоты от более горячего слоя к более холодному».

Если процесс стационарный и температура меняется от слоя к слою равномерно, то количество теплоты  $Q$ , передаваемое через площадку  $S$  за время  $\Delta t$  можно определить по закону Фурье:

$$Q = -\frac{\alpha \Delta T}{\Delta x} S \Delta t$$

где  $\frac{\Delta T}{\Delta x}$  – градиент температуры,

$\alpha$  – коэффициент теплопроводности» [5, с.72].

**Пример 3**

**Задача.** Если на размораживание индейки массой 5 кг в естественных условиях требуется два дня, то сколько времени потребуется чтобы разморозить 8-тонного сибирского мамонта?

**Решение:**

Согласно закону теплопроводности, переданное количество теплоты прямо пропорционально градиенту температур, площади и времени. Пусть  $\tau$  – время,  $c$  – удельная теплоёмкость,  $S$  – площадь поверхности,  $\frac{\Delta T}{\Delta x}$  – градиент температур,  $m$  – масса,  $l$  – линейный размер тела.

Тогда имеем:

$$\tau \sim \frac{mc}{\frac{\Delta T}{\Delta x}} \sim \frac{l^3}{l^2 l^{-1}} \sim l^2$$

Так как масса  $M \sim l^3$ , то время пропорционально  $M^{\frac{2}{3}}$ . Значит, на размораживание мамонта должно уйти  $2(8000/5)^{\frac{2}{3}}$  дней, т.е. приблизительно девять месяцев, предполагая, что индейка и мамонт начинают таять при одной и той же температуре и находятся в одинаковых средах. Получается, что в условиях Сибири разморозить мамонта нет никакой возможности, так как лето там очень короткое» [6, с.33, 207].

Последний из рассмотренных примеров показывает, что метод размерностей может быть успешно применен при анализе тепловых процессов. Попробуем применить данный метод для рассмотрения процессов, происходящих при приготовлении пищи, например, при варке картофеля.

**§2. Физико-химические процессы, происходящие во время варки картофеля**

Картофель – наш «второй хлеб», диетический и даже целебный продукт. Химический состав его клубней зависит от сорта, условий выращивания (климатических, погодных, типа почвы, применяемых удобрений, агротехники, возделывания), зрелости клубней, сроков и условий хранения.

Спросим себя: «Зачем мы варим картошку?» Ответ прост: для того, чтобы она была мягче и лучше усваивалась организмом. Крахмал составляет 70-80 % всех сухих веществ клубня. Находится крахмал в клетках в виде слоистых крахмальных зёрен размером от 1 до 100 мкм, но чаще 20-40 мкм. В сыром картофеле крахмал содержится в

форме, устойчивой к пищеварительным ферментам. Под действием температуры порядка 50°C амилоза (один из основных полисахаридов крахмала, состоящий из линейных или слаборазветвлённых цепочек) набухает, что приводит к разрыву зёрен крахмала, делая их менее устойчивыми к ферментам. Протопектин (природный пектин растений) нерастворим в воде и находится в связанном состоянии, образуя межклеточную прослойку в растительных тканях. Он служит как бы цементирующим материалом для клеток, обуславливая твёрдость тканей. Под действием ферментов, при кипячении в воде, нагревании с разбавленными кислотами и щелочами происходят гидролиз протопектина с образованием растворимого в воде пектина. Этим объясняется размягчение картофеля в процессе варки (7).

В жёсткой воде (содержащей катионы кальция и магния) этот процесс замедляется; кислая среда также снижает скорость перехода протопектина в пектин. Поэтому в такие супы, как рассольник, солянка, борщ, картофель надо закладывать раньше, чем кислые приправы (соленые огурцы, томаты), иначе он так и останется непроваренным и твердым.

Необратимые процессы, приводящие к разрыву клеточных мембран при нагреве, начинаются уже при 50-60 °С, а при температуре кипения воды (100°C) становятся очень интенсивными.

Перечислим также физические явления, которые «работают» в процессе варки картофеля, – передача тепла путём теплопроводности, конвекции и излучения, распространение растворённых веществ путём диффузии.

### §3. Оценка времени теплового процесса

В процессе варки картофеля происходит поступление энергии, происходит процесс теплопроводности, описываемый уравнением Фурье. Следовательно, поступившее вовнутрь количество теплоты зависит от толщины «картофельной стенки», перепада температур, площади поверхности картофеля, времени затраченного на варку.

Также в процессе варки происходит потребление энергии на разрушение зерен крахмала. Величина необходимой энергии, очевидно, зависит от массы картофеля. Масса в свою очередь зависит от плотности картофеля и его объёма (то есть от размера в кубе).

Для оценки времени варки картофеля применим метод размерностей. Для этого нам необходимо выяснить функциональную зависимость времени варки от различных физических величин. Левая и правая часть соотношения, должны при этом иметь одинаковую размерность. Проанализируем, от чего зависит время варки картофеля, и представим результаты анализа в виде таблицы:

Время, $\tau$	с
Изменение температуры, $\Delta T$	К
Размер, $R$	м
Плотность, $\rho$	кг/м <sup>3</sup>
Удельная энергия варки, $\beta$	Дж/кг
Коэффициент теплопроводности $\alpha$	Дж/К·м·с

Знакомясь с методом размерностей, мы выяснили, что в большинстве случаев зависимости между физическими величинами имеют степенной характер, то есть

$$[\tau] \sim [\alpha^x] \cdot [\Delta T^y] \cdot [R^z] \cdot [\rho^a] \cdot [\beta^n].$$

Подставим единицы измерения величин:

$$c^1 = Дж^x \cdot К^{-x} \cdot м^{-x} \cdot с^{-x} \cdot К^y \cdot м^z \cdot кг^a \cdot м^{-3a} \cdot Дж^n \cdot кг^{-n}.$$

Исходя из данного равенства, мы можем составить систему 5 уравнений с 5 неизвестными:

$$\begin{cases} x+n=0 \\ -x+y=0 \\ -x+z-3a=0 \\ -x=1 \\ a-n=0 \end{cases}$$

Решив систему, имеем:

$$x = -1; n = 1; y = -1; a = 1; z = 2.$$

Таким образом:

$$\tau \sim R^2.$$

Для экспериментальной проверки полученного результата необходимо измерить время варки картофеля различного размера, а затем построить график зависимости времени варки от размера в квадрате. Если

мы получим прямо пропорциональную зависимость, которая на графике отразится прямой линией, то наши рассуждения обоснованны.

#### §4. Экспериментальная оценка времени варки картофеля

Ввиду сложности физико-химических процессов, происходящих при варке картофеля и протекающих при этом химических изменениях, достаточно трудно предложить химический метод оценки времени варки картофеля.

Поэтому для экспериментальной оценки времени варки картофеля было решено использовать физический способ, основанный на определении прочности картофеля.

Для проведения эксперимента мы собрали прибор, позволяющий определить степень готовности картофеля (рис. 3). Вилка, закрепленная на движущейся платформе, прокалывает картофель при воздействии различной силы.

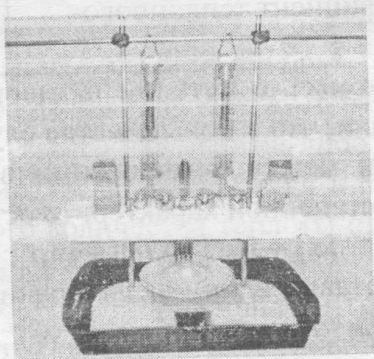


Рис.3

Таблица 1. Финальная проверка готовности картофеля разного размера

Размер картофелины $R$ , мм	45	55	65	75	85
Время варки картофеля $t$ , с	870	1140	1440	1680	1960
Степень готовности картофеля	Картофель готов, ломтик прокалывается полностью при массе груза 500 г.				

Ломтики картофеля всякий раз вырезались из центра картофеля, и определялась степень его готовности.

На начальном этапе эксперимента вырезали ломтики из сырого и заранее сваренного картофеля. Экспериментально установили, какая масса необходима для того, чтобы вилка полностью проткнула ломтик вареного картофеля. Данная масса составила 500 г. (Сырой картофель не прокалывался полностью даже при массе в 900 г.)

Затем приступили к проведению основной части эксперимента. Эксперимент проводили многократно. Были использованы образцы размером 45, 55, 65, 75, 85 мм. Заготовив по несколько образцов одинакового размера, картофель опускали в кипящую воду, которая закрывала картофель на 5 мм, и варили при закрытой крышке. Через определенное время вынимали по одному образцу. Из центра каждой картофелины вырезали ломтик и проверяли его готовность на приборе. Если ломтик прокалывается полностью при массе равной 500 г, то это подтверждало готовность картофеля.

Итоговые результаты эксперимента приведены в таблице 1.

График, отражающий результаты эксперимента, приведен на рисунке 4.

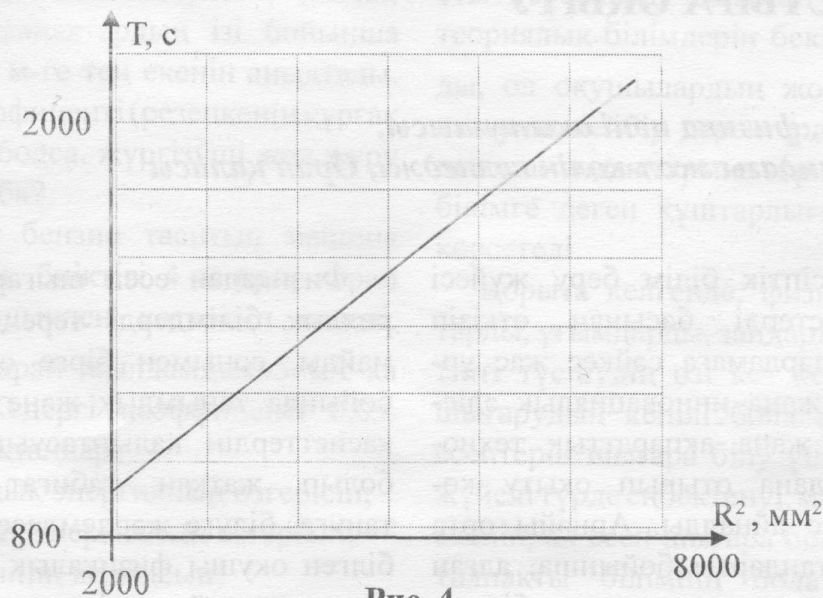


Рис. 4

Данный график является прямой линией, что подтверждает обоснованную нами теоретически зависимость  $\tau \sim R^2$ . («Выпадение» последней точки из графика, вероятно, можно объяснить изменением коэффициента теплопроводности картофеля в процессе его длительной варки.)

#### Заключение

В ходе выполнения работы был изучен метод размерностей, помогающий без при-

менения высшей математики устанавливать функциональные зависимости между физическими величинами. На основе данного метода была проведена оценка времени варки картофеля в зависимости от его размера. Экспериментальная проверка подтвердила правильность полученной зависимости, тем самым, убедив нас в возможности широкого и эффективного применения метода размерностей.

#### Библиографический список

1. Мигдал А. Б. Вычисление без вычислений: Поиски истины. – М.: Молодая гвардия, 1983. – 239 с.
2. Брук Ю., Стасенко А. Метод размерностей помогает решать задачи. // Квант. – 1981, № 6, стр. 11-29.
3. Компанец А. Размерность физических величин и подобие явлений. // Квант. – 1975.- № 1, стр. 10-17.
4. Андрюшечкин С. М. Физика. Учебник для 9 класса общеобразовательной школы. – М.: Баласс, 2012.
5. Евграфова Н. Н., Каган В. Л. Руководство к лабораторным работам по физике. – М.: Высшая школа, 1982.
6. Гнэдик П., Хоньек Д., Райли К. Двести интригующих физических задач. Перевод с англ. – М.: Бюро Квантум, Техносфера, 2005.
7. Скурихин И. М., Нечаев А. П. Все о пище с точки зрения химика. – М.: Высшая школа, 1991. – 288 с.