



УДК 53.02  
МРНТИ 29.00.00  
DOI 10.37238/1680-0761.2023.92(4).67

**Кузьмичева А.Е., Кушеккалиев А.Н., Тажғалиева А.С.**  
Западно-Казахстанский университет имени М.Утемисова, Уральск, Казахстан

**E-mail:** alman\_k@mail.ru, araigul83@mail.ru

## **РОЛЬ ЗАДАЧ В ПОНИМАНИИ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУКИ И РЕАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ**

***Аннотация.** Задачи различного типа играют важную роль в достижении целей обучения физике. Среди них можно выделить задачи, позволяющие глубже понять условие перехода от физики классической к современной квантовой, и задачи связанные со сложными процессами, близкими к реальным.*

*В статье представлены использованные авторами в учебном процессе задачи по фотоэффекту, с исследованием которого в истории науки связано понимание единства волновых и корпускулярных свойств в одном объекте, и задачи по исследованию широко распространенных в технике термодинамических процессов. Особое внимание уделено теплоемкости термодинамического процесса.*

***Ключевые слова:** фотоэффект в теории и задачах; уравнение Эйнштейна; красная граница; работа выхода; кинетическая энергия; задерживающий потенциал; термодинамический процесс; внутренняя энергия; работа; количество теплоты; теплоемкость постоянная и переменная; политропный процесс.*

### *Введение*

**О роли задач в обучении физике.** Фундаментальная физическая наука, то есть система понятий, законов, экспериментов и теорий, способствует пониманию окружающего мира от микромасштабов до Вселенной в целом и ее роли в практической деятельности. «Наука - сфера человеческой деятельности, функцией которой является выработка и систематизация объективных знаний о действительности» [1]. Наука - это деятельность человека, направленная на получение новых знаний. [2] Совокупность научных знаний в результате дает научную картину мира. История развития науки показывает, что каждое новое знание ставит новые вопросы, новые проблемы. Непрерывный процесс развития науки - последовательное решение возникающих проблем. Это есть решение задач научных. В учебном процессе задача также представляет объект исследования при заданных условиях. Учебная задача требует узнать, объяснить, вычислить, предсказать и т.д. От научной она отличается тем, что решение такой задачи известно. Но обучаемый должен пройти путь исследователя, что способствует не только закреплению полученных ранее знаний, но и их расширению, и, что особенно важно, способствует более глубокому пониманию физических явлений, процессов, фундаментальных теорий, их роли в развитии науки. В связи с этим целесообразно обратить особое внимание на задачи по теме «Фотоэффект». Обнаружение и исследование этого явления внесло принципиальный вклад в развитие физической науки, в понимание свойств материального мира. Ограниченность процесса обучения во времени не всегда позволяет уделять внимание многим реальным процессам. Среди них термодинамические процессы: тепловые (нагревание и охлаждение), среди которых политропные процессы, имеющие большую практическую значимость. Решение соответствующих задач позволяет расширить и углубить понимание этих явлений. [3, 4]

*Материалы и методы исследования*

В школе и в вузе решается достаточное количество задач по теме «Тепловые явления», которые требуют использования теплоемкости системы, удельной или молярной. Как правило, ее значение берут из справочников. При этом у обучаемых формируется ошибочное мнение, что теплоемкость – величина постоянная, не зависящая от условий процесса. При изучении термодинамических процессов в системе «идеальный газ» рассматривают идеальные изопроцессы и процессы адиабатические. Целесообразно при этом обратить особое внимание на политропные процессы, которые также связаны с проблемой теплоемкости, с ее зависимостью от условий протекания процессов.

Известно, что в формировании фундаментальной науки особую роль играет математический аппарат. Предлагаемые ниже задачи направлены на формирование умения видеть в математической формуле или графике физическую ситуацию. И, наоборот, представить физическую ситуацию в виде формулы или график.

Рассматриваемые ниже задачи можно отнести к задачам исследовательского типа, решение которых позволяет реализовать одновременно различные цели обучения. Решение задач предполагает этап актуализации, то есть определение раздела науки, к которому относится содержание задачи, и формулировка того, «что я знаю по этой теме», а затем определить необходимый математический аппарат (аналитический и графический) и понимание физического смысла в математических формулах и графиках. При анализе экспериментальных данных целесообразно обратить внимание обучаемых на существование погрешностей любого эксперимента, на это впервые обратил внимание Галилей и что явилось принципиальным вкладом в развитие фундаментальной физики. [5]

Приведем некоторые задачи, решение которых, на наш взгляд, может способствовать более глубокому пониманию соответствующих явлений или процессов. Задачи сопровождаются кратким изложением соответствующего теоретического материала. В понимании перехода от классической физики Галилея-Ньютона к современной квантовой физике значительная роль принадлежит фотоэффекту, принципиальной сущности которого необходимо должное внимание не только при изучении теории, но и при решении практических задач и при выполнении лабораторных работ.

**Фотоэффект.** Фотоэффектом можно назвать любое физическое явление, происходящее под действием света. Но на языке физики под фотоэффектом понимают явление вырывания светом электронов из вещества (внешний фотоэффект) и фотопроводимость полупроводников, связанную с возрастанием количества свободных электронов под действием света (внутренний фотоэффект). Особая роль фотоэффекта в развитии фундаментальной физической науки связана с проблемой света, решение которой явилось одним из оснований рождения современной квантовой физики. Поэтому считаем целесообразным при выполнении заданий по данной теме большое внимание уделять теории фотоэффекта. Фотоэффект входит в содержание обучения физики СОШ [6, 7, 8, 9]

С фотоэффектом связано введение в физику представления о существовании элементарной частицы – фотона. Из истории физики известно, что уже на начальном этапе ее развития было обращено внимание на то, что наблюдаемые объекты можно разделить на два вида: частицы (тела) и волны, что отражает деление всего существующего на прерывное (дискретное) и непрерывное. Такое представление лежит в основе физики, называемой классической. При этом долгое время оставалась проблема природы света. Во времена Ньютона преобладало корпускулярное представление о свете. Основанием этого был характерный для частиц известный закон прямолинейности распространения света. Корпускулярной природы света придерживался И.Ньютон. Но он понимал, что не все световые явления можно объяснить на основе такого представления, например, входящее в содержание обучения СОШ и вуза явление, известное как «кольца Ньютона». Позднее совершенствование техники физического эксперимента позволило наблюдать дифракцию и



интерференцию света (О.Френель, Т. Юнг и др.). Эти явления указывали на волновую природу света. Важно было и то, что Френелю удалось на основе волновых представлений объяснить прямолинейность распространения света (метод зон Френеля). Однако это не решало проблемы света. Физика в то время была механикой. А механические волны - это распространение колебаний в среде. Легко проверить, что для света эта среда - не воздух. Кроме того, известная к тому времени скорость света с точки зрения механики предполагала среду с очень высокой плотностью, близкой к плотности абсолютно твердого тела. Казалось, что эта проблема света решена в электродинамике Максвелла: свет - волна не механическая, а электромагнитная. [10, 11]

Открытие Г.Герцем явления фотоэффекта не вызывало сомнений в электромагнитной природе света: электромагнитная волна, ее электрическая составляющая в принципе может сообщить электрону, как заряженной частице, энергию для совершения работы выхода из вещества. Но экспериментальные исследования А.Г. Столетова, сформулированные на их основе законы, противоречили представлению о свете как об электромагнитной волне. На этом этапе происходят принципиальные изменения в фундаментальной физике. Закон сохранения энергии не вызывал сомнения. Используя его А.Эйнштейн объясняет фотоэффект, выдвигая революционную идею: свет - поток квантов с энергией  $\varepsilon = h\nu$ . Отсюда известное уравнение А.Эйнштейна  $h\nu = A + E_k$ . Понятие о существовании кванта  $h\nu$  излучения было введено М.Планком для теоретического объяснения кривой распределения энергии в спектре излучения абсолютно черного тела. М.Планк предполагал дискретность излучения. А.Эйнштейн развивает идею: свет не только излучается, но и распространяется и взаимодействует с веществом как поток дискретных объектов, квантов, получивших название фотонов. Представление А.Эйнштейна о свете позволило объяснить экспериментальные законы Столетова.

Важно обратить внимание на то, что принятие существования фотонов это не возврат к классическим корпускулам. Принципиально: идея А.Эйнштейна - идея о двойственной природе света. Такое представление чуждо классической физике, в которой объект является или частицей, или волной. Двойственность содержится в формуле  $\varepsilon = h\nu$  или  $e = \frac{hc}{l}$ . Здесь

$\varepsilon$  - энергия частицы, фотона, а  $\nu$  и  $l$  - характеристики волны. В этой формуле содержится чуждое классической физике единство в одном объекте волновых и корпускулярных свойств. Далее Луи де Бройль выдвигает идею о единстве свойств природы: всем объектам, а не только свету, свойственна двойственность. Рождается современная квантовая механика.

В последние годы в методических рекомендациях к решению задач при обучении физике обращается особое внимание на задачи исследовательского типа. [12]. Задачная ситуация представляется в виде таблиц, рядов экспериментальных данных, фотоматериалы по результатам лабораторного эксперимента и др., по которым должно быть проведено исследование. Непосредственное проведение многих экспериментов в условиях школы или педагогического вуза трудно осуществимо. Использование данных специальных лабораторий помогает решить проблему. Большую роль задачи такого типа играют, например, при изучении фотоэффекта.

#### *Результаты исследования*

Далее приводится пример исследования фотоэффекта на практическом занятии по табличным данным.

Задачная ситуация представлена в таблице 1.

**Таблица 1** Зависимость фотоэффекта от напряжения

$I = 510 \text{ нм}$												
Напряжение $U, \text{В}$	$U_3 = -0,93$	0	1	2	4	8	12	14	16	18	20	22
Фототок $I, \text{мкА}$	0	0,23	0,99	1,8	3,37	3,63	6,95	7,24	7,44	7,56	7,55	7,57

Обучаемым предлагается сформулировать вопросы, на которые ответ можно получить по представленным данным: подтверждают ли эти данные уравнение Эйнштейна для фотоэффекта. Для этого строится график  $I = I(U)$ . Ожидаемая форма линий известна. При этом важно обратить внимание на некоторый разброс точек на графике, что является следствием погрешности эксперимента.

Анализ таблицы и графика позволяет углубить понимание явления фотоэффекта: почему  $I \neq 0$  при  $U = 0$ ; что такое ток насыщения, почему  $I = 0$  при некотором обратном (отрицательном) напряжении, называемом задерживающим.

При выполнении задания группу целесообразно разделить на подгруппы с предоставлением каждой из них отдельных таблиц полученных при различных длинах волн света, с которым исследовался фотоэффект.

По материалам различных групп может быть поставлен вопрос: почему задерживающий потенциал не одинаков (различна энергия падающих фотонов) и что можно определить по этим данным (работу выхода, на одинаковом ли материале проводился фотоэффект?) Обратить внимание на то что эксперимент проводился при определенной длине волны света и интенсивности и поставить вопрос: что изменится в результатах эксперимента если эти характеристики света изменить.

Подтвердив соответствие приведенных данных закону фотоэффекта, можно поставить проблему: какую информацию можно получить используя таблицу 2.

**Таблица 2.** Зависимость  $U_3$  от частоты света

$\nu, \text{Гц}$	0,62	0,68	0,75	0,84	0,90	0,98
$U_3, \text{В}$	0,25	0,55	0,74	1,17	1,50	1,75

Обучаемым предлагается поставить проблему, т.е. сформулировать вопросы ответы на которые можно получить на основе имеющейся информации. Эти вопросы в знаковой форме добавляем к таблице 2. Заполнение этой является целью данной работы.

$\nu, \text{Гц}$	0,62	0,68	0,75	0,84	0,90	0,98
$U_3, \text{В}$	0,25	0,55	0,74	1,17	1,50	1,75
$\vartheta, \text{м/с}$						
$A \cdot 10^{-19}, \text{Дж}$						
$\nu_{\text{кр}}$						
$\lambda$						
$E_{\text{кр}}$						
$h$						
$\Delta A_n$						
$(\Delta A)^2$						

При выполнении работы углубляется понимание фотоэффекта, причины существования красной границы и учета работы выхода, кинетической энергии вырванных электронов. Обсуждается также постоянная планка  $h$ , история ее происхождения и значимость в современной физике, в частности в вопросах квантовой механики и фундаментальных взаимодействий. При определении  $h$  оценивается погрешность измерений.

Во многих сборниках задач подобные вопросы ставятся при условии заданных двух точек эксперимента. Ряд табличных данных позволяет провести более полное исследование, используя аналитический и графический математический аппарат. На сформулированные вопросы предлагается получить решение аналитическим и графическим методами. В результате заполняется вышеприведенная таблица.

Для выполнения заданий используется уравнение Эйнштейна в формах:

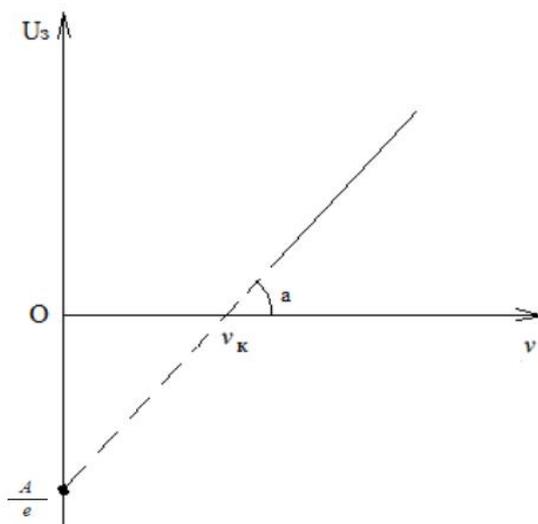
$$hn = A + E_k \quad E_k = eU_3 \quad \text{и} \quad hn = A + eU_3 \quad \text{и}$$

$$U_3 = \frac{h}{e}n + \frac{A}{e} \quad n=0; \quad U_3 = \frac{A}{e}$$

$$y = kx + b \quad \text{и}$$

Зависимость  $U_3 = U_3(n)$  - линейная - на графике прямая с углом наклона к оси  $n$ .

$k = \frac{h}{e} - \text{tg} \alpha$ ,  $\alpha$  - угол наклона прямой к оси  $n$ . Отсюда  $\frac{A}{e}$  - точка на оси  $U_3$  при  $n=0$ . На рис. 1 показано зависимость задерживающего потенциала от частоты падающего света; штрихами показано воображаемое продолжение экспериментальной прямой, которая имеет реальный смысл при  $n^3 n_{\text{кр}}$ .



**Рис. 1** Зависимость задерживающего потенциала от частоты падающего света

При обсуждении решения задачи важно обращать внимание на физический смысл определяемых величин, и, в частности, на двойственную природу света. Объяснить почему существует красная граница, от чего она зависит и от чего не зависит работа выхода. Отметить роль математического аппарата в физике.

**Теплоемкость.** Тепловые процессы наблюдаются в природе и широко используются в технике. Одним из основных понятий и характеристик таких процессов является теплоемкость, то есть количество теплоты, которое выделяется или поглощается при изменении температуры тела на один градус (Цельсия или Кельвина). Если на изменение

температуры на  $DT$  затрачено (или отдано) количество теплоты  $Q$ , то теплоемкость  $c = \frac{Q}{DT}$ .

Это теплоемкость системы или тела. В расчете на единицу массы это будет удельная

теплоемкость  $c_{уд} = \frac{Q}{mDT}$ . В расчете на 1 моль -  $C_M = \frac{Q}{DT}$  - молярная теплоемкость. Связь

между ними  $c_{уд} = \frac{C_M}{m}$ .

В предлагаемых задачах школьного и вузовского курса физики чаще всего предполагается теплоемкость как величина постоянная, которую можно взять из таблиц независимо от того, в каком интервале температур происходит ее применение и какой особенностью обладает рассматриваемый процесс. Но в таблице, как правило приводится величина теплоемкости при изохорном процессе, когда работа расширения или сжатия не совершается и все количество теплоты определяет изменение только внутренней энергии. Это теплоемкость  $C_V$ . Для более глубокого понимания теплоемкости целесообразно обратить внимание обучающихся на эти два аспекта. Как отмечалось выше, фундаментальная физика делится на классическую и современную (квантовую). В классической физике принимается теорема о равномерном распределении кинетической (и потенциальной) энергии по степеням свободы системы. На ее основе вычисляется внутренняя энергия системы ( $U$ ) и теплоемкость как  $C_V = \frac{dU}{dT}$ , которая оказывается постоянной, не зависящей от интервала температур нагревания. [13] Но с учетом волновых свойств частиц вычисляемая в теориях Дебая и Эйнштейна [3] теплоемкость оказывается зависящей от температуры. Результаты их теорий соответствуют результатам экспериментальных наблюдений, согласно которым теплоемкость твердого тела стремится к нулю при приближении температуры к абсолютному нулю. Функция  $C(T)$  - непрерывная. Следовательно при вычислении теплоемкости необходимы операции дифференцирования и интегрирования. Возникает вопрос, почему в решении многих задач не учитывается принципиальная зависимость теплоемкости от температуры. Анализ функции  $C(T)$  показывает, что она резко уменьшается при  $T \rightarrow 0K$ , но в значительном интервале средних температур, которые называют обычными, зависимость теплоемкости от температуры очень слабая. Это позволяет считать теплоемкость постоянной, не учитывать, ее зависимость от температуры. Обычные условия, в котором мы живем относятся к интервалу температур, при которых квантовые эффекты во многих случаях не проявляются.

Остается другая проблема: зависимость теплоемкости от характера протекания процесса.  $C = \frac{Q}{DT}$ , но  $Q = DU + A$  (I закон термодинамики). В тепловых процессах участвует та часть внутренней энергии, которая является суммой кинетической энергии движения частиц, зависящей от скорости, то есть от температуры, и потенциальной энергии их взаимодействия, зависящей от расстояния между ними, то есть от объема.  $U = U(T, V)$ ,

$\frac{dU}{dT} = \frac{\partial U}{\partial T} + \frac{\partial U}{\partial V} \frac{dV}{dT}$  В производной первое слагаемое справа означает известную

теплоемкость  $C_V$  при постоянном объеме. Второе слагаемое - вклад в теплоемкость энергии, затраченной на совершение работы расширения или сжатия. Далее мы будем рассматривать идеальный газ, в модели которого пренебрегается взаимодействием, то есть вкладом энергии взаимодействия во внутреннюю энергию. Поэтому в дальнейшем второе слагаемое не

учитываем. Следовательно  $C = \frac{dU + dA}{dT} = \frac{dU}{dT} + \frac{dA}{dT} = C_V + \frac{dA}{dT}$



Обратим внимание на то, что в идеальном газе температура однозначно связано с энергией. Изменению температуры соответствует определенное изменение внутренней энергии в результате теплообмена. Но пойдет ли все  $Q$  на изменение  $U$  зависит от того, совершается ли работа в рассматриваемом процессе. Она может уменьшить  $Q$  (работа внешних сил) или увеличить  $Q$  (работа против внешних сил) на изменение  $DU$ . Эта проблема решается в рамках классической физики. Соответствующие задачи могут входить в содержание физики вуза и школы. Решение некоторых из таких задач требует операций дифференцирования, вычисления производных, других - более простым методом. Но в целом включение таких задач в учебный процесс направлена на углубление и расширение знаний обучаемых в области широко распространенных тепловых процессов.

Переходя к решению задач, связанных с теплоемкостью газов, целесообразно обратить внимание на физический смысл универсальной газовой постоянной  $R$ , используя соотношение  $C_p - C_v = R$  для идеального газа. Она определяет работу, которую совершает один моль идеального газа расширяясь под постоянным давлением при нагревании на один градус (Цельсия или Кельвина).

Таким образом, теплоемкость зависит не только от изменения внутренней энергии (температуры), но и от того совершается ли работа в ходе этого процесса. При этом теплоемкость во многих ситуациях не остается постоянной. Она может быть переменной если вклад работы в теплоемкость изменяется в ходе процесса. В настоящее время подобные задачи предлагаются учащимся с углубленным обучением физики. Должны они быть и в содержании профессиональной подготовки будущего учителя.

Рассмотрим одну из задач [14, №1.108, с.27 ]

В задаче требуется найти массу воды  $m_2$  в калориметре при опускании в нее бруска. Заданы масса и начальная температура бруска  $m_1, t_1$  и температура воды  $t_2$  при  $m_2$ , а также установившаяся температура воды  $t_k$  в калориметре. Теплоемкость бруска задано законом:  $C_{уд} = c_0(1+at)$ ,  $c_0$  и  $a$  заданы. При решении задачи теплоемкость считать постоянной, влияние калориметра не учитывать.

Проблема: как учесть переменность « $c$ ».

Решение задачи

Обращаем внимание на то, что зависимость  $c = c(t)$  - линейная. При такой зависимости  $c = c(t)$  можно использовать среднее значение теплоемкости как среднее арифметическое между начальной и конечной состояниями.

Дано:

$$m_1 = 1 \text{ кг}$$

$$C_{уд} = c_0(1+at)$$

$$c_0 = 1.4 \times 10^3 \text{ Дж/кг} \times \text{}^\circ\text{C}$$

$$a = 0,014 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$t_1 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_k = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$m_2 = ?$$

$$Q_{отд} = Q_{пол}$$

$$Q_{отд} = c_{тело} m_1 (t_1 - t_k) \quad Q_{пол} = c_B m_2 (t_k - t_2)$$

$$c m_1 (t_1 - t_k) = c_B m_2 (t_k - t_2)$$

$$m_2 = \frac{c m_1 (t_1 - t_k)}{c_B (t_k - t_2)}$$

Когда линейный закон

$$c = \frac{c_1 + c_2}{2} = \frac{c_0(1+at_1) + c_0(1+at_k)}{2}$$

$$m_2 = \frac{c m_1 (t_1 - t_k)}{c_B (t_k - t_2)} = \frac{c_0(1+at_1) + c_0(1+at_k)}{2} \cdot \frac{1}{c_B} = 0,7 \text{ кг}$$

Подобные задачи [14, №1.107, 1.109]



Более сложные задачи предлагает автор [15]. Требуется вычислить молярную теплоемкость в термодинамических процессах заданных уравнениями:

- 1)  $p = aV$ ,  $a$ - здесь и далее постоянная. 2)  $T = T_0 e^{aV}$  3)  $p = p_0 e^{aV}$  4)  $T = T_0 + aV$  и др.

Предлагаются и обратные задачи: по заданному закону изменения теплоемкости требуется получить уравнение процесса.

При решении подобных задач учтем, что  $C = \frac{dQ}{dT} = \frac{dU + dA}{dT} = \frac{dU}{dT} + \frac{dA}{dT} = C_v + \frac{pdV}{dT}$ ,  $C_v = \frac{i}{2}R$ .

Задачи относятся к системе «идеальный газ». Следовательно, можно использовать уравнение Менделеева-Клапейрона  $pV = nRT$ . Отсюда видно необходимость преобразования выражений  $\frac{pdV}{dT}$ , что что зависит от конкретного условия.

Рассмотрим процесс  $T = T_0 e^{aV}$ ,

$$C = C_v + \frac{pdV}{dT}. \quad \frac{dT}{dV} = T_0 a e^{aV} = aT \quad \text{и} \quad \frac{dV}{dT} = \frac{1}{aT}.$$

Из уравнения Менделеева-Клапейрона  $p = \frac{RT}{V}$ .

$$\text{Тогда } C = C_v + \frac{RT}{V} \times \frac{1}{aT} = C_v + \frac{R}{aV}.$$

$$C = C_v + \frac{R}{aV}$$

Таким образом, при заданной связи параметров  $T$  и  $V$  молярная теплоемкость зависит от объема, уменьшаясь при его увеличении.

Таким же путем определяется теплоемкость по выше указанным процессам.

Рассмотрим обратную задачу [15, №6.55а, с.295]. Задано  $C = C_v + aT$ . Найти уравнение состояния идеального газа в параметрах  $(TV)$

Решение

$$C = \frac{dQ}{dT} = C_v + \frac{pdV}{dT}$$

Исключаем « $p$ ». По уравнению Менделеева-Клапейрона:  $p = \frac{RT}{V}$ .

$$C = C_v + \frac{RT}{V} \times \frac{dV}{dT}.$$

Преобразовываем, сводя к возможности интегрирования методом разделения переменных, используя заданное « $c$ »

$$C_v + aT = C_v + \frac{RT}{V} \times \frac{dV}{dT} \quad \text{или} \quad aT = \frac{RT}{V} \times \frac{dV}{dT}$$



$$\text{умножаем на } \frac{dT}{RT} \quad \text{▸} \quad \frac{dV}{V} = \frac{aTdT}{RT} \quad \text{или} \quad \frac{dV}{V} - \frac{a}{R}dT = 0$$

После интегрирования получаем  $\ln V - \frac{a}{R}T = \ln const$ .

$$\text{Но } -\frac{a}{R}T = \ln e^{-\frac{a}{RT}} \quad \text{▸} \quad \ln V + \ln e^{-\frac{a}{RT}} = \ln const$$

$$\text{или} \quad V \times e^{-\frac{a}{RT}} = const.$$

Можно перейти к уравнению в других параметрах, например  $(p, V)$ . Заменяем  $T = \frac{pV}{RT}$ .

$$\text{Тогда} \quad V e^{-\frac{a}{R} \frac{pV}{RT}} = const \quad \text{▸} \quad V e^{-\frac{ap}{R^2}}$$

**Примечание:** Обратит внимание на то, что рассмотренные процессы с переменной теплоемкостью не относятся к политропным процессам, при которых теплоемкость постоянна по определению.

**Политропный процесс.** В содержании обучения физике в школе и вузе достаточное внимание уделяется термодинамическим процессам протекающим при определенных условиях (адиабатной, изотермической, изохорной, изобарной). Следует обратить внимание на изотермический и адиабатный процессы. Это идеализированные процессы. Первый требует идеального контакта с термостатом или окружающей средой с постоянной температурой, второй предполагает идеальную изоляцию. Все названные выше процессы относятся к классу процессов, называемых политропными. Особенность политропных процессов - постоянная теплоемкость.

$$C = \frac{dQ}{dT} = \frac{dU + dW}{dT} = \frac{dU}{dT} + \frac{dQ}{dT}$$

Изменение температуры связано только с изменением внутренней энергии. Только при изохорном процессе ( $dW = 0$ )  $dQ = dU$ , то есть между теплотой и температурой связь однозначная ( $C = \frac{\partial U}{\partial T} = C_V$ ). Но если при теплообмене совершается работа, то

теплоемкость  $c = c_V$  и зависит от величины и знака совершаемой работы. И если в ходе процесса условия изменяются, то теплоемкость не будет величиной постоянной. К политропным относятся только такие процессы, которые протекают при постоянной теплоемкости.

Уравнение политропного процесса можно получить, используя первый закон термодинамики

$$dQ = dU + dW \quad \text{▸} \quad \frac{dQ}{dT} = \frac{dU}{dT} + \frac{dW}{dT} = \frac{dU}{dT} + \frac{pdV}{dT} \quad \text{▸}$$

$$C = C_V + \frac{pdV}{dT} \quad \text{▸} \quad (C - C_V)dT = pdV$$

Уравнение состояния идеального газа  $pV = RT$  для 1 моля.

$$pdV + Vdp = RdT \quad \text{▸} \quad dT = \frac{pdV + Vdp}{R}$$



$$(C - C_v) \times \frac{pdV + Vdp}{R} = pdV$$

Для идеального газа  $R = C_p - C_v$

$$\frac{C - C_v}{C_p - C_v} (pdV + Vdp) = pdV \quad \text{▮}$$

$$\frac{C - C_v}{C_p - C_v} pdV - \frac{1}{\frac{C_p - C_v}{C - C_v}} pdV + \frac{C - C_v}{C_p - C_v} Vdp = 0 \quad \text{▮} \quad \frac{C - C_p}{C_p - C_v} \times \frac{dV}{V} + \frac{C - C_v}{C_p - C_v} Vdp = 0$$

Интегрируем методом разделения переменных. Делим обе части уравнения на  $pV$ , получаем

$$\frac{C - C_p}{C_p - C_v} \times \frac{dV}{V} + \frac{C - C_v}{C_p - C_v} \frac{dp}{p} = 0 \quad \text{▮} \quad (C - C_p) \frac{dV}{V} + (C - C_v) \frac{dp}{p} = 0 \quad \text{▮}$$

$$\frac{dp}{p} + \frac{C - C_p}{C - C_v} \frac{dV}{V} = 0$$

Интегрируя, получим  $\ln p + \frac{C - C_p}{C - C_v} \ln V = \ln const$  или  $pV \frac{C - C_p}{C - C_v} = const$

$\frac{C - C_p}{C - C_v} = n$  - показатель политропы

$pV^n = const$  - уравнение политропы в параметрах  $pV$

Учтем,  $pV = RT$  ▮ В параметрах  $(T, V)$  уравнение  $VT^{\frac{1}{n-1}} = const$

В параметрах  $(p, T)$  уравнение  $pT^{1-n} = const$

### Задача

Интерес представляет исследование процесса, заданного таблицей 3 экспериментальных данных ряда измерений  $(p_i V_i)$   $i=1$

Таблица 3. Экспериментальные данные полученные при исследовании расширения одного моля одноатомного газа в научной лаборатории.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Объем $V$ , л	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
Давление $p$ , кПа	100	35,4	19,2	12,5	8,9	7,8	6,95	6,3	5,73	5,3

Рост давления сопровождается уменьшением объема. То, что процесс не изотермический легко проверить: произведение  $p_i V_i \neq const$ . Является ли процесс политропным, то есть постоянна ли теплоемкость, это можно проверить. Уравнение политропного процесса  $pV^n = const$ . Отсюда  $\ln p + n \ln V = \ln const$  или  $\ln p = n \ln V + \ln C$ . В математике это  $y = -kx + b$ , то есть линейная зависимость, где  $k = -n$  - тангенс угла наклона прямой в координатах,  $\ln p$ -вертикаль,  $\ln V$  - горизонталь. Таким образом, если построить график в таких координатах и если это будет прямая, то по углу наклона ее можно определить показатель политропы  $n$ .



[15, №6.44, с.293]

Дано: Уравнение политропного процесса  $pV^n = const$ , показатель адиабаты газа -  $g$

Требование: при каких значениях  $n$  теплоемкость газа отрицательная?

Решение

$$n = \frac{C - C_p}{C - C_v} \quad \text{и} \quad C = \frac{nC_v - C_p}{n - 1}$$

Преобразуем, что  $\frac{C_v}{C_p} = g$ , и  $R = C_p - C_v = C_v \frac{C_p}{C_v} - 1 = C_v(g - 1) \quad \text{и} \quad C_v = \frac{R}{g - 1}$

$$C = \frac{C_v \frac{C_p}{C_v} - \frac{C_p}{C_v}}{n - 1} = R \frac{(n - 1)}{(g - 1)(n - 1)}$$

Условия, при которых  $C < 0$ :

$$g = \frac{C_p}{C_v} > 1 \quad \text{и} \quad g - 1 > 0$$

Остается  $\frac{n - g}{n - 1} < 0$  Если а)  $\begin{cases} n - g > 0 \\ n - 1 < 0 \end{cases} \quad n > g \quad n < 1$  б)  $\begin{cases} n - g < 0 \\ n - 1 > 0 \end{cases} \quad n < g \quad n > 1$

Но  $g > 1$  следовательно  $n < 1$  невозможно.

При  $1 < n < g$   $C < 0$

Отрицательная теплоемкость означает, что при получении теплоты температура газа уменьшается. Это возможно если газ совершает работу расширения большую, чем полученная теплота.

[15, № 2.45, с.293]

Ситуация: процесс политропический, объем увеличился в  $a = 4,0$  раза, давление уменьшается в  $b = 8$  раз. Газ идеальный - аргон. Найти молярную теплоемкость.

Решение

$$n = \frac{C - C_p}{C - C_v} \quad \text{и} \quad C = \frac{nC_v - C_p}{n - 1} = C_v \frac{n - g}{n - 1} = R \frac{n - g}{(n - 1)(g - 1)}$$

$$C = R \frac{n - g}{(g - 1)(n - 1)}$$

$n$ -?  $pV^n = const \quad \text{и} \quad p_1 V_1^n = p_2 V_2^n \quad \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^n$

$$n \ln \frac{V_2}{V_1} = \ln \frac{p_1}{p_2}$$

$$n \ln a = \ln b$$

$$n = \frac{\ln b}{\ln a} = \frac{\ln 8}{\ln 4} = \frac{\ln 2^3}{\ln 2^2} = \frac{3 \ln 2}{2 \ln 2} = \frac{3}{2} = 1,5$$

По таблице Иродова  $R = 8,314 \quad g(\text{Ar}) = 1,67$

$$C = \frac{8,314(1,5 - 1,67)}{(1,67 - 1)(1,5 - 1)} = - 4,2 \text{ Дж}$$

[16, №13.56, с.70]

Ситуация: Двухатомный идеальный газ, процесс политропический,  $n=1$  моль,  $n=1,2$ .  
Найти молярную теплоемкость.

$$C = \frac{nC_V - C_p}{n - 1} = C_V \frac{n - g}{n - 1} = \left. \begin{array}{l} g = \frac{C_p}{C_V} \\ C_V = \frac{R}{g - 1} \end{array} \right| = R \frac{n - g}{(g - 1)(n - 1)}$$

Двухатомный газ  $g = 1,4$        $C = 8,31 \times \frac{(-0,2)}{0,4 \times 0,2} = -21 \text{ Дж}$

[16, №13.57, с.70]

Ситуация: Политропический процесс

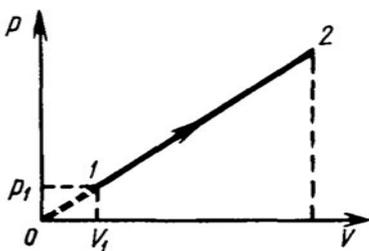
$$\frac{V_2}{V_1} = 5$$

Требование:  $n=?$

$C=?$  (молярная)

Решение

$$n = \frac{C - C_p}{C - C_V}$$



$$C = \frac{nC_V - C_p}{n - 1} = C_V \frac{n - g}{n - 1} = \left. \begin{array}{l} g = \frac{C_p}{C_V} \\ C_V = \frac{R}{g - 1} \end{array} \right| = R \frac{n - g}{(g - 1)(n - 1)}$$

Если вычислить  $n$ , то по его величине можно вычислить  $C$ .

1) Уравнение политропы  $pV^n = const$

$$n = 0 \quad C = C_p$$

$$p_1 V_1^n = p_2 V_2^n \quad \Rightarrow \quad \frac{p_1}{p_2} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^n \quad n = g$$

Заключение

На графике прямая, проходящая через начало координат. Следовательно, зависимость  $p$  от  $V$  прямо пропорциональная:  $p = aV$ ,  $a = const$ .  $y = kx$

Отсюда  $\frac{p_1}{V_1} = \frac{p_2}{V_2} \quad \Rightarrow \quad \frac{p_1}{p_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad \frac{y_1}{x_1} = \frac{y_2}{x_2}$



Тогда 
$$\frac{\alpha_2 \ddot{\alpha}^n}{C_2 V_1 \ddot{\alpha}} = \frac{\alpha_1 \ddot{\alpha}}{C_1 V_2 \ddot{\alpha}} \quad \text{и} \quad n = -1$$

$$2) \quad C = R \frac{(n-1)}{(g-1)(n-1)} = R \frac{-(g+1)}{-2(g-1)} = \frac{1}{2} R \frac{g+1}{(g-1)} \quad g = \frac{C_p}{C_v}$$

Если газ одноатомный  $g = \frac{2}{3} = \frac{5}{3} = 1,67$  и  $C = \frac{8,31}{2} \times \frac{2,67}{0,67} = 16,55 \text{ Дж/моль} \times \text{К}$

Если газ двухатомный  $g = \frac{7}{5} = \frac{7}{5} = 1,4$  и  $C = \frac{8,31}{2} \times \frac{2,4}{0,4} = 24,93 \text{ Дж/моль} \times \text{К}$

В качестве примеров не политропных процессов можно рассмотреть условия процессов  $p = p_0 + \frac{a}{V}$ ,  $p = p_0 e^{aV}$ ,  $T = T_0 e^{aV}$  в задачах [15, №6.52, 6.53, с.294] с требованием найти теплоемкость как функцию объема.

В настоящее время одним из направлений в образовании является STEM- обучение (или технология), способствующая повышению интереса к предмету, формированию научного взгляда на мир, умения исследовать, анализировать, видеть практическую значимость приобретаемых знаний. Материал данной статьи дает представление о возможности применения технологии STEM в процессе решения задач. Более подробно это рассмотрено в пособии [17].

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Философская энциклопедия / Науч. совет изд-ва "Советская энциклопедия". Ин-т философии Акад. наук СССР; ред. Ф. В. Константинов. - М.: Сов. энциклопедия, 1964 - . Т. 3 : Коммунизм-Наука. - 1964. - 584 с.
- [2] Философский энциклопедический словарь / гл. ред. Л. Ф. Ильичев и др. - М. : Сов. энциклопедия, 1983. - 839 с.
- [3] Шпольский Э.В. Атомная физика, т1: Введение в атомную физику. Учебное пособие.-М.: Наука, 2010.-560с.
- [4] Ноздрев В.Ф. Курс термодинамики: Учебник.-М.: Просвещение, 1967.-248с.
- [5] Кудрявцев П.С. Курс истории физики: Учеб.пособие. -М: Издательство «Просвещение», 2001. -333с.
- [6] Закирова Н.А., Аширов Р.Р. Физика. Учебник для 11 кл. естественно-математического направления общеобразоват. шк. / Н.А. Закирова, Р.Р. Аширов – Нур-Султан: Издательство «Арман-ПВ», 2020. – 336 с.
- [7] Закирова Н.А., Аширов Р.Р. Физика: жалпы білім беретін мектептің 11-сыныбының жаратылыстану-математикалық бағытына арналған оқулық./ Н.А.Закирова, Р.Р.Аширов.– Нұр-Сұлтан: «Арман-ПВ» баспасы, 2020. – 336 б.
- [8] Туякбаев С.Т. Физика. Учебник для 11 кл. естественно-математического направления общеобразоват. шк. Часть 2. – Алматы: Издательство «Мектеп», 2019. – 204 с.
- [9] Туякбаев С.Т. Физика: жалпы білім беретін мектептің 11-сыныбының жаратылыстану-математикалық бағытына арналған оқулық. 2 бөлім – Алматы: «Мектеп» баспасы, 2019. – 203 б.
- [10] Матвеев А.Н. Атомная физика: Учеб.пособие для студентов ВУЗов. -М: Оникс, 2007. -432 с.



- [11] Мултановский В. В. Курс теоретической физики. Квантовая механика: учебное пособие для физико-математических факультетов / В. В. Мултановский, А. С. Василевский. – Москва: Просвещение, 1991. – 319с.
- [12] Мастропас З.П. Физика : Методика и практика преподавания / З. П. Мастропас, Ю. Г. Синдеев. - Ростов н/Д : Феникс, 2002 . - 286 с.
- [13] Базаров И.П. Термодинамика. Учебное пособие. М.: Высшая школа, 1991, 376 с
- [14] Сборник задач по физике : учебник для 8 класса. Тепловые явления. Постоянный ток. Оптика./М.Ю.Замятнин, А.А.Киреев, В.П.Слободянин, Г.М.Корепанов, Г.С.Зикрацкий; Под редакцией М.Ю.Замятнина. -М.: «Шанс», 2020. -360с.
- [15] Иродов И.Е. Задачи по общей физике: учебное пособие для вузов. -16-е изд. -М.: Лаборатория знаний, 2023. -431с
- [16] Сборник задач по курсу общей физики: Учеб.пособие для студентов пед. ин-тов по спец. № 2105 «Физика» /Г.А.Загуста, Г.П.Макеева, А.С.Микулич и др.; Под редакцией М.С.Цедрика -М.:Просвещение, 1989.-271с.
- [17] Жусупкалиева Г.К. и др. Методика использования STEM-технологий в решении задач по физике: Учебное пособие/ Жусупкалиева Г.К., Кузьмичева А.Е., Козлов В.С. - Атырау, АУ им.Х.Досмухамедова, 2023 -108с.

## REFERENCES

- [1] Konstantinov F. V. (Ed). (1964). *Filosofskaja jenciklopedija* [*The Philosophical Encyclopedia*] - М.: Sov. jenciklopedija [in Russian]
- [2] Ilyichev L. F. (Ed). (1983). *Filosofskij jenciklopedicheskiy slovar'* [*Philosophical Encyclopedic Dictionary*] - М.: Sov. jenciklopedija [in Russian]
- [3] Shpol'skij Je.V. (2010). *Atomnaja fizika, t1* [*Atomic Physics*] V.I. -М.: Nauka [in Russian]
- [4] Nozdrev V.F. (1967). *Kurs termodinamiki* [*Thermodynamics Course*] - М.: Prosveshhenie [in Russian]
- [5] Kudrjavcev P.S. (2001). *Kurs istorii fiziki* [*Physics History Course*] -М: Prosveshhenie [in Russian]
- [6] Zakirova N.A., Ashirov R.R. (2020). *Fizika. Uchebnik dlja 11 kl. estestvenno-matematicheskogo napravlenija obshheobrazovat. shk.* [*Physics . Textbook for the 11th grade of the natural-mathematical direction of a secondary school*] – Nur-Sultan: Arman-PV [in Russian]
- [7] Zakirova N.A., Ashirov R.R. (2020). *Fizika. [Physics . Textbook for the 11th grade of the natural-mathematical direction of a secondary school]* – Nur-Sultan: Arman-PV [in Kazakh]
- [8] Tujakbaev S.T. (2019). *Fizika. Uchebnik dlja 11 kl. estestvenno-matematicheskogo napravlenija obshheobrazovat. shk. Chast' 2.* [Physics. Textbook for the 11th grade of the natural-mathematical direction of a secondary school Part 2.] – Almaty: Mektep [in Russian]
- [9] Tujakbaev S.T. (2019). *Fizika. Uchebnik dlja 11 kl. estestvenno-matematicheskogo napravlenija obshheobrazovat. shk. Chast' 2.* [Physics. Textbook for the 11th grade of the natural-mathematical direction of a secondary school Part 2.] – Almaty: Mektep [in Kazakh]
- [10] Matveev A.N. (2007). *Atomnaja fizika: Ucheb.posobie dlja studentov VUZov.* [*Atomic physics*] -М: Oniks [in Russian]
- [11] Multanovskij V. V., Vasilevskij A. S. (1991) *Kurs teoreticheskoj fiziki. Kvantovaja mehanika* [*The course of theoretical physics. Quantum mechanics*]. – Moskva: Prosveshhenie [in Russian]
- [12] Mastropas Z.P., Sindeev Ju. G. (2002). *Fizika: Metodika i praktika prepodavanija* [*Physics: Teaching methods and practice*] - Rostov n/D: Feniks [in Russian]
- [13] Bazarov I.P. (1991). *Termodinamika.* [*Thermodynamics*] М.: Vysshaja shkola [in Russian]



- [14] M.Ju.Zamjatnin, A.A.Kireev, V.P.Slobodjanin, G.M.Korepanov, G.S.Zikrackij (2020). *Sbornik zadach po fizike : Teplovyje javlenija. Postojannyj tok. Optika* [Collection of problems in physics: Thermal phenomena. Direct current. Optics]. -M.: Shans [in Russian]
- [15] Irodov I.E. (2023). *Zadachi po obshhej fizike* [Problems in general physics]. (16th ed.) - M.: Laboratorija znaniy [in Russian]
- [16] Zagusta G.A., Makeeva G.P., Mikulich A.S. et al. (1989). *Sbornik zadach po kursu obshhej fiziki* [Collection of tasks for the general physics course] Cedrik M.S. (Ed.) - M.:Prosveshhenie [in Russian]
- [17] Zhusupkalieva G.K., Kuz'micheva A.E., Kozlov V.S. (2023) *Metodika ispol'zovaniya STEM-tehnologij v reshenii zadach po fizike* [The methodology of using STEM technologies in solving physics problems] -Atyrau, AU im.H.Dosmuhamedova [in Russian]

**Кузьмичева А.Е., Кушеккалиев А.Н., Тажғалиева А.С.**  
**ІРГЕЛІ ҒЫЛЫМ МЕН НАҚТЫ ПРОЦЕСТЕРДІ ТҮСІНУДЕГІ ЕСЕПТЕРДІҢ РӨЛІ**

**Аннотация.** Әр түрлі типтегі есептер физиканы оқыту мақсаттарына жетуде маңызды рөл атқарады. Олардың ішінде классикалық физикадан қазіргі кванттық физикаға көшу жағдайын және нақты процестерге жақын күрделі процестермен байланысты мәселелерді тереңірек түсінуге мүмкіндік беретін есептерді бөліп көрсетуге болады.

Мақалада авторлар оқу процесінде фотоэффект бойынша қолданған тапсырмалар ұсынылған, оны зерттеу ғылым тарихында бір объектідегі толқындық және корпускулалық қасиеттердің бірлігін түсінумен және технологияда кең таралған термодинамикалық процестерді зерттеумен байланысты. Термодинамикалық процестің жылу сыйымдылығына ерекше назар аударылады.

**Түйін сөздер:** теория мен есептердегі фотоэффект; Эйнштейн теңдеуі; қызыл шекара; шығу жұмысы; кинетикалық энергия; тежеуші потенциалы; термодинамикалық процесс; ішкі энергия; жұмыс; жылу мөлшері; тұрақты және айнымалы жылу сыйымдылық; политропты процесс.

**Kuzmicheva Alexandra, Kushekkaliev Alman, Tazhgaliyeva Araigul**  
**THE ROLE OF TASKS**  
**IN UNDERSTANDING FUNDAMENTAL SCIENCE AND REAL PROCESSES**

**Annotation.** Tasks of various types play an important role in achieving the goals of teaching physics. Among them, it is possible to identify tasks that allow a deeper understanding of the condition for the transition from classical to modern quantum physics, and tasks related to complex processes close to real ones.

The article presents the tasks of the photoelectric effect used by the authors in the educational process, the study of which in the history of science is associated with the understanding of the unity of wave and corpuscular properties in one object, and the tasks of studying thermodynamic processes widely used in technology. Special attention is paid to the heat capacity of the thermodynamic process.

**Keywords:** photoelectric effect in theory and problems; Einstein equation; red boundary; output work; kinetic energy; retarding potential; thermodynamic process; internal energy; work; amount of heat; heat capacity constant and variable; polytropic process.