

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ МЕТОДИКИ РЕШЕНИЯ НЕСТАНДАРТНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

В.С. Малых

Адыгейский государственный университет, Майкоп

Предложен обобщенный алгоритм решения школьных физических задач, в том числе нестандартных, т.е. нерешаемых обычными алгоритмическими приемами. Соответственно, к решающему задачу предъявляются определенные требования, которые сформулированы в виде трех условий, необходимых и достаточных для решения любой учебной задачи по физике. В рамках этих условий рассматривается подготовка учащихся к решению физических задач повышенного уровня трудности. В основу методики решения нестандартных задач положены принцип проблемности и вытекающий из него принцип развития задачи. Развитие задачи имеет целью проявить умственные способности учащихся, а также развить их до возможности ставить задачи (видеть проблемы) и самостоятельно решать эти задачи. Все основные теоретические положения иллюстрируются конкретными примерами из практики автора.

В данной статье речь пойдет о дидактических особенностях “задачного” метода при работе с детьми, проявляющими повышенный интерес к физике (кружки, факультативы, творческие лаборатории). Практика показывает, что наилучший результат здесь достигается при решении так называемых нестандартных задач, требующих для своего решения не только знаний, но и проявления творческих возможностей учащихся. Согласно классификации, предложенной Беликовым [1], нестандартная задача является частным случаем задачи поставленной (рис.1)

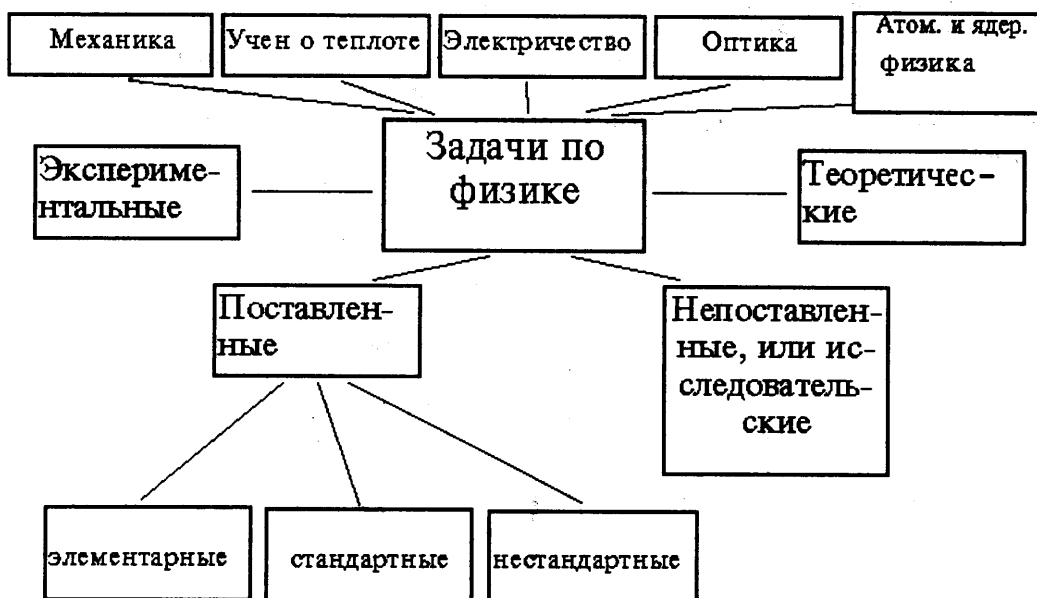


Рис.1 Классификация физических задач по содержанию (виду физического явления), по методу исполнения (решения) и по способу преподнесения, по уровню сложности и трудности.

Как видим, нестандартные задачи занимают в этой схеме промежуточное положение между стандартными, для решения которых достаточно знания основных физических законов и готовых алгоритмов, и не поставленными, являющимися в сущности задачами на исследование. В работе творческой лаборатории или факультатива роль нестандартных задач является ведущей, т.к. без умения их решать очень трудно выйти на исследовательский уровень, а элементарные и стандартные задачи здесь, как правило, интереса не представляют. К тому же, нестандартная задача обычно содержит в качестве составляющей стандартную, а порой, и элементарную задачу; так что методы решения нестандартных задач являются универсальными для всех задач по физике.

Сформулируем условия, необходимые и достаточные для решения любой поставленной задачи, т.е. требования к решающему физическую задачу.

1. Уверенное владение языком, на котором ведется преподавание и соответствующим уровнем сложности физических задач математическим аппаратом.

2. Прочное знание и понимание основных физических законов и формул, а также наиболее важных алгоритмов решения типичных задач.

3. Умение построить информационную модель [2], (образ, упрощенное изображение объектов задачи и процессов, с ними происходящих), соответствующую условию решаемой задачи.

Эти же условия в сжатом (свернутом) виде можно представить так: понятийный аппарат + математический аппарат + владение языком и методами современного научного познания (абстрагирование, идеализация, моделирование ...)

Исходя из этого, если выполнены требования в виде условий 1 - 3, то в случае поставленной задачи учащиеся естественным образом находят решение без помощи справочников и учебников

Проследим как по этой методике решается нестандартная задача на конкретном примере [3]:

“ Вольфрамовая нить, служащая катодом в электронной лампе, накаливается током 1.9 А до определенной температуры. На сколько Вольт надо повысить напряжение на этой нити, чтобы при анодном токе 0,1 А температура нити осталась такой же, как и при отсутствии анодного тока?”

Решение начинается с **внимательного** чтения текста задачи (вхождения в текстовую модель), на основе которого строится информационная модель в самых общих чертах: схематичное изображение установки (рис. 2.а)

Из условия следует, что при включении анодного тока температура нити изменилась. Для выяснения причины этого явления полезной оказывается “ промежуточная ” модель, описывающая парообразование жидкости в закрытом сосуде и изменение этого процесса при откачивании из него пара.

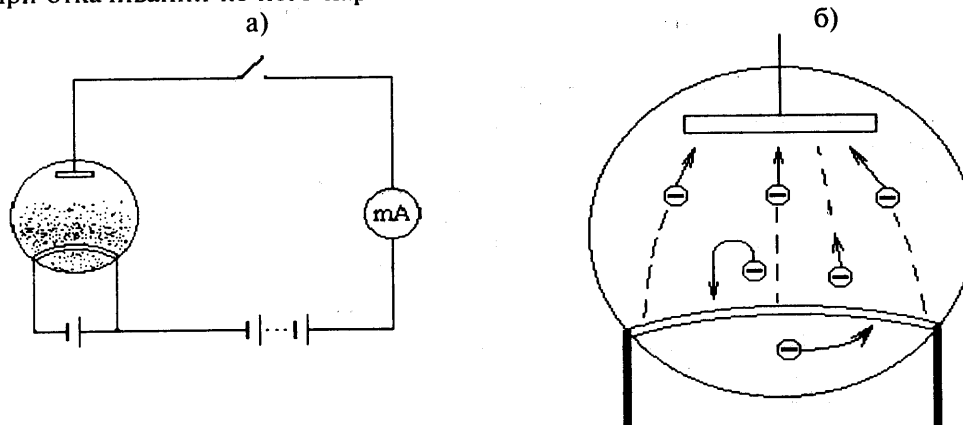


Рис.2

а) Вокруг нити “электронное облачко” из электронов, вылетевших из нити и возвращающихся обратно. Сколько энергии из нити уходит - столько же и прибывает с вернувшимися электронами.

б). Когда идет анодный ток, то лишь часть электронов возвращается из “облачка” в нить, остальные уносят с собой энергию на анод (нить теряет энергию).

Эта аналогия объясняет причину понижения температуры нити: последняя лишается наиболее быстрых электронов, которые раньше все возвращались в нить, а теперь захватываются анодом. В результате нить теряет часть своей внутренней энергии (охлаждается) и для возмещения потерь к нити надо подводить дополнительное количество теплоты. Знание закона Джоуля - Ленца (и сама формулировка вопроса задачи) беспрепятственно приводит к математическому выражению этого количества теплоты:

$$\Delta Q = \frac{(U + \Delta U)^2}{R} t - \frac{U^2}{R} t = \left(\frac{2U\Delta U}{R} + \frac{(\Delta U)^2}{R} \right) t \quad (1)$$

Очевидно, надо выразить и сами потери: энергию, "унесенную" электронами в анодную цепь. Но для этого придется уточнить информационную модель. Рассмотрим электронные процессы более подробно.

а) Явления в системе: нить - электронное "облачко".

Электрон, вырвавшись из нити, уменьшает свою кинетическую энергию на величину, равную работе выхода $A_{\text{вых}}$, а возвращающийся увеличивает свою энергию ровно на столько же. Таким образом, в целом энергия электронов в нити (а, следовательно, и внутренняя энергия нити) не меняется, и температура нити остается постоянной.

б) Явления в системе: нить - электронное "облачко" - анодная цепь (при включении анодного тока).

Электроны, возвращающиеся из облачка в нить не сразу, а через анодную цепь, обладают энергией, меньшей, чем они имели до вылета из нити на работу выхода: теперь они увеличивают кинетическую энергию при попадании на анод, но энергия эта "пропадает" в анодной цепи.

Теперь нетрудно выразить унесенную энергию через число электронов, прошедших за время t в анодной цепи:

$$\Delta W = N \cdot A_{\text{вых}} = \frac{J_a t}{e} A_{\text{вых}} \quad (2)$$

Приравняв выражения для подводимой (1) и уносимой (2) энергий, получаем уравнение:

$$2J\Delta U + \frac{(\Delta U)^2}{R} = \frac{J_a A_{\text{вых}}}{e}$$

Решить его нельзя, т.к. оно содержит два неизвестных (ΔU и R). Здесь важно понимать, что информация, заключенная в условии задачи, исчерпана, и не нужно искать других уравнений. Полагая, что $\frac{\Delta U}{R} = \Delta J \ll J$, ограничиваемся приближенным решением:

$$\Delta U = \frac{A_{\text{вых}} J_a}{2Je} \quad (3)$$

Несмотря на приближенность, ответ выдерживает проверку на два предельных случая:

$A_{\text{вых}} \rightarrow 0$ и $J_a \rightarrow 0$. Так, если $J_a = 0$, то и без решения ясно, что должно быть: $\Delta U = 0$.

В полученной формуле это выполняется, что является необходимым условием правильности решения.

Расчет по формуле (3) дает: $\Delta U = 0.12$ В. Т.к. сама формула (3) справедлива лишь при $\Delta U \ll JR = U$, то в окончательном ответе следует указать, что при

точности $5\% = \frac{1}{20}$ он верен, если напряжение на нити накала U не меньше, чем $0,12 \text{ В} \cdot 20 = 2,4 \text{ В}$. На практике для вольфрамовых катодов $U \approx 5 \div 6 \text{ В}$, так что предположение: $\frac{\Delta U}{R} \ll J$ выполняется "с запасом".

Исходя из решения этой задачи и многих других нами разработан:

Обобщенный алгоритм решения физических задач.

1. Превращение текстовой (словесной) модели задачи в модель информационную. Этот шаг требует хорошего знания языка и достаточно развитого образного мышления (картинка по рассказу). Кроме того, нужно уметь упрощать, огрублять ситуацию (абстрагирование, идеализация, ...)
2. Построение математической модели физической ситуации (т.е. физических объектов и явлений) задачи.
Прочное знание основных соотношений между физическими величинами (определений и законов) позволяет уверенно установить зависимость между искомыми и данными в виде уравнения (или системы уравнений).
3. Решение системы полученных уравнений, получение общей формулы и численный расчет.
4. Исследование результата на правильность размерности, на правдоподобность, на предельные и частные случаи и пр.

Данный алгоритм в сочетании с условиями необходимыми и достаточными (см. стр 2) задает ориентировочную основу совместной деятельности учащихся и преподавателя на протяжении всего школьного курса физики. В пределах каждого ее раздела применяются и частные алгоритмы (по кинематике, на газовые законы, для расчета электрических цепей и т.д.), но их число должно быть ограниченным: не более 3-4 на раздел. Принцип детальной алгоритмизации играет в преподавании физики вспомогательную роль. Главными, ведущими считаем полузабытые принципы дидактики Я.А.Коменского [4]

Принцип научности (правдивости): строгое (безошибочное) изложение материала, строгие рассуждения при решении задач; упрощения допускаются, но не допускаются уклонения от истины. Даже в этом узком смысле принцип научности в современной учебной литературе по физике, включая школьные учебники соблюдается далеко не всегда. Так в учебнике Кикоина [5, с.154] при рассмотрении колебаний математического маятника в погоне за простотой доказательства допущены, как минимум, две ошибки:

$$1) F_x = (F_m)_x. \text{Правильно: } F_x = (F_{\text{упр}})_x.$$

$$2) |(F_m)_x| = mg \sin \alpha. \text{Верно: } (F_m)_x = 0$$

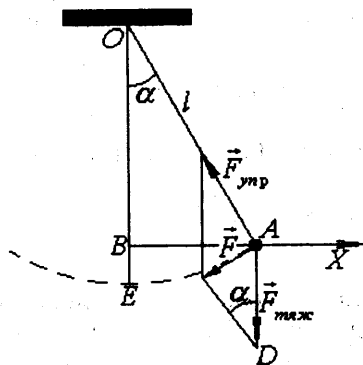


Рис.3 (в учебнике под №157).

Равнодействующая \vec{F} направлена по касательной к дуге АЕ только при крайнем отклонении маятника от положения равновесия. Во время движения груза появляется нормальная составляющая силы \vec{F} , и рисунок становится неверным.

Еще пример. У Шахмаева [6,с.188] при выводе уравнения Бернулли утверждается: “По закону превращения и сохранения энергии изменение полной механической энергии равно разности работ внешних сил:

$$\Delta W = A_1 - A_2."$$

Правильно: $\Delta W = A_1 + A_2$. Ошибка же появилась из-за того, что внутренняя сила $F_2 = p_2 S_2$ была принята за внешнюю, и поэтому работа внешней силы записана

положительной: $A_2 = \frac{P_2}{\rho} m$ (на самом деле $A_2 < 0$)

Подобные ошибки (а их список можно продолжить) дают дополнительные дидактические возможности при работе по учебникам, их содержащим. Одно только нахождение ошибок в тексте учебника и исправление их самими учащимися воспитывает у последних определенный иммунитет к ложным высказываниям. Некоторые особенности такой методики описаны в небольшой статье [7, с.78].

С другой стороны имеется надобность (специально для творческих лабораторий) в учебнике, излагающем самое существенное из школьного курса физики, но в полном объеме и, главное, в строгом соответствии с логикой. Работа в этом направлении уже ведется.

Принцип прочности знаний в практике преподавания физики (и в школе, и в вузе) игнорируется сейчас еще в большей степени, чем принцип научности. Делается это под популистскими лозунгами: учащимся де трудно запоминать большой объем информации, который все возрастает (нельзя допускать перегрузки учащихся); зачем запоминать, если есть справочники (а учащиеся должны уметь пользоваться справочной литературой); при прочном запоминании (зубрежке) теряется гибкость ума и пр. Ответ популистам дан еще в 1920 году Лениным в речи на III-м съезде РКСМ. “Нам не нужно зубрежки, но нам нужно развить и усовершенствовать память каждого обучающегося знанием основных фактов, без которых не может быть современного образованного человека.” [8] Эти слова не потеряли своей актуальности и по сей день. Только принцип прочности знаний становится более определенным (уточняется). Формулируем его как **принцип особой прочности фундаментальных знаний**. Реализация модифицированного принципа заключается в том, что по каждой теме курса физики выделяются фундаментальные базовые знания: минимальный понятийный аппарат, достаточный для самостоятельного решения любой задачи из данной темы. Рекомендуем здесь **метод свертывания информации**, т.е. сгущение материала всей темы в небольшое число формул, при

необходимости сопровождаемых рисунками. Например, тема: “Движение материальной точки с постоянным ускорением” может быть представлена одной формулой:

$$x = x_0 + V_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$$

(вместо обычно рекомендуемых 5-6 более коротких формул типа:

$$V = at, \quad t = \sqrt{\frac{2h}{g}}, \quad V = \sqrt{2aS, \dots},$$

с помощью которой ученик сможет сам (при минимальной математической грамотности) получить нужное для выполнения задания соотношение.

Если формула запоминается с трудом, ее сопровождаем рисунком, представляющим наглядную модель, зрительный образ объекта или процесса, соответствующего данной формуле. Так, к определению плотности потока излучения прилагаем рис.4, служащий и для понимания и для удержания определения в памяти.

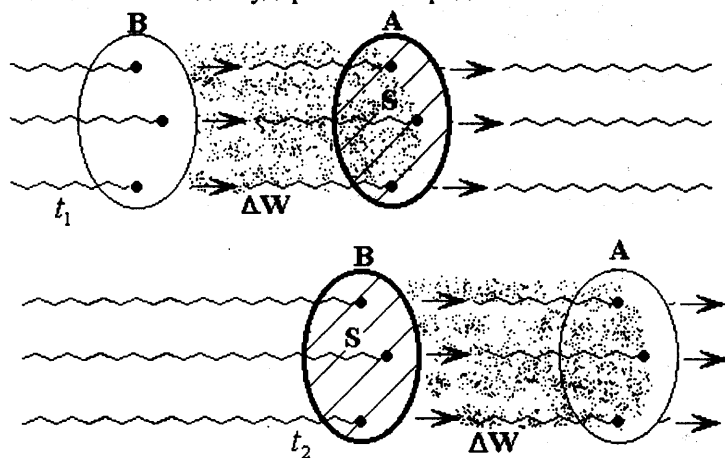


Рис.4. В момент времени t_1 излучение, обладающее энергией ΔW (между волновыми поверхностями А и В) находилось левее поверхности S . Через время Δt (в момент t_2) то же излучение - правее поверхности S . Плотность потока излучения

$$J = \frac{\Delta W}{S_1 \Delta t}, \text{ где } \Delta t = t_2 - t_1.$$

Рисунок здесь и в других аналогичных случаях - это своеобразный **плацдарм длительного запоминания** соответствующего понятия в долговременной памяти учащегося. В [9, с.6] отмечается, что энергетические затраты мозга при оперировании образами предметов и явлений существенно больше, чем при аналитическом способе деятельности. Поэтому учащиеся (и преподаватели!) обычно ограничиваются более простыми средствами - в данном случае, стремятся запомнить голую формулу. Однако что легче строится, то легче и разрушается, а связка рисунок-формула удерживается в памяти дольше и надежнее.

Из вышеизложенного следует, что принцип особой прочности знаний имеет ограниченную область применения: изучение основополагающего понятийного аппарата (определения, законы, теории) и для работы по решению задач является подготовительным. При решении нестандартных задач ведущим считаем **принцип проблемности**. Сущность его заключается в поиске противоречий (если они не возникли сами собой) и их разрешении. Методологическая основа принципа дана в философских

работах В.И.Ленина. Здесь достаточно одной цитаты (из "Философских тетрадей"), из которой ясен диалектический аспект противоречия в процессе познания:

"Обычное представление схватывает различие и противоречие, но не **переход** от одного к другому, а это **самое важное**. Остроумие схватывает противоречие, высказывает его, приводит вещи в отношения друг к другу, заставляет понятие "светиться через противоречие", но не выражает понятия вещей и их отношений.

Мыслящий разум (ум) заостряет притупившееся различие различного, простое разнообразие представлений, до существенного различия, до противоположности. Лишь поднятые на вершину противоречия, разнообразия становятся подвижными и живыми по отношению одного к другому - приобретают ту негативность, которая является внутренней пульсацией самодвижения и жизненности". [10]

Соответственно методологии строится методика и технология проблемного обучения в наиболее распространенном репродуктивном способе обучения принцип проблемности не реализуется). Однако тема эта (даже в частном ее приложении к решению задач по физике) выходит за рамки данной статьи и еще ждет своих молодых исследователей.

Отметим лишь, что в практической работе (в творческой лаборатории) принцип проблемности реализуем посредством выявления и разрешения вопросов (в том числе и противоречий!), всегда возникающих и при изучении теории и при решении задач. Для разрешения противоречий используются **методы научного познания**. Так, при решении задачи об электронной лампе в данной статье были применены методы: абстрагирования и идеализации (схематическое изображение электрической цепи), моделирования (представление движения электронов в цепи), аналогии (сравнение термоэлектронной эмиссии с испарением жидкости). Полученное противоречие: несоответствие числа уравнений и числа неизвестных могло быть разрешено введением новых данных (сопротивления R нити накала) или переходом к приближенному случаю.

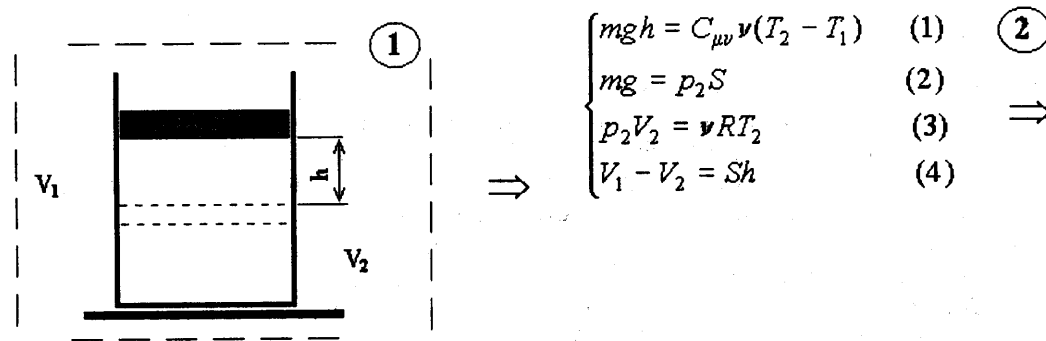
Разрешение противоречия, как правило, выводит решающего задачу на новый уровень познания физических явлений.

Рассмотрим для иллюстрации конкретный пример. В творческой лаборатории десятиклассники решали задачу из задания Заочной физико-технической школы. [11]

"В откачанном теплоизолированном цилиндре, расположенном вертикально, может перемещаться поршень. В начальный момент поршень закрепляют и нижнюю часть цилиндра заполняют идеальным газом. Затем поршень освобождают. После установления равновесия, объем, занимаемый газом оказался в два раза меньше первоначального. Во сколько раз изменилась температура газа? Молярную теплоемкость газа при постоянном

объеме $C_{\mu\nu}$ принять равной $\frac{5}{2}R$.

Решение находили по обобщенному алгоритму (Рис.5)



$$\Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{1}{1 - \frac{R}{C_{\mu\nu}} \left(\frac{V_1}{V_2} - 1 \right)}$$

Рис. 5. Процесс решения задачи: из информационной модели ① вытекает математическая модель ②; решение замкнутой системы уравнений приводит к выражению искомого через данные задачи ③.

Те, кто получил ответ в общем виде, заметили,

что при $\frac{V_1}{V_2} > 1 + \frac{C_{\mu l'}}{R}, \frac{T_2}{T_1} < 0$!?

(а при $\frac{V_1}{V_2} = 1 + \frac{C_{\mu l'}}{R}, \frac{T_2}{T_1}$ и вовсе не существует !),

Объяснения этому факту не находилось до тех пор, пока не вникли как следует в физическую ситуацию задачи. Оказывается, поршень, достигнув наинизшего положения, в нем не останется, а будет отброшен сжатым газом вверх, достигнет места откуда начал падение, устремится вниз и т.д., т.е. поршень будет колебаться между объемами V_1 и V_2 . Но такому описанию противоречит уравнение (2). Если же под V_2 понимать объем газа, соответствующий равновесию поршня, то получаем противоречие с уравнением (1), т.к., проходя положение равновесия, поршень обладает кинетической энергией. При попытке вскрыть механизм потерь энергии колебаний учащиеся вышли на понятия: обратимый процесс и необратимый процесс, равновесный процесс и неравновесный процесс. Так при решении задачи были получены новые знания. При этом выяснилось, что, несмотря на полную механическую и тепловую изоляцию цилиндра от окружающей среды, колебания поршня **обязательно** затухнут, т.к. направленное движение молекул газа (вместе с поршнем) неизбежно превращается в хаотическое (тепловое) движение. Но тогда опровергается предложенное первоначально разрешение противоречия (отрицательная или бесконечно большая температура T_2) посредством добавления в уравнении (1) кинетической энергии поршня $\frac{mV^2}{2}$. Итак, проблема остается. Решение

ее, возможно, состоит в изменении (уточнении) модели: от идеального газа к реальному - изменят свой вид уравнения (1) и (3). В этом случае для решения понадобится дополнительная информация (помимо данных задачи). Таким образом предложенная задача при обобщении (развитии) оказывается не поставленной и требует продолжения, т.е. дальнейшего исследования. Задачи с продолжением, или задачи с развивающимся содержанием являются особенно ценными при работе с учащимися творческих лабораторий, т.к. вместе с развитием задачи решающий ее развивается сам. Краткие сведения о таких задачах (с примером из электричества) содержатся в [12].

Практически любая физическая задача с достаточно содержательной информационной моделью может быть (а в некоторых случаях, аналогичных выше рассмотренному, и должна быть !) продолжена, расширена или углублена. На этом основан предлагаемый нами **принцип развития задачи**, который может стать одним из ведущих составляющих методики развивающего обучения физике и в средней школе и в вузе. Считаем, что этот вопрос заслуживает отдельного рассмотрения и обсуждения.

Литература

1. *Беликов Б.С.* Решение задач по физике. Общие методы. -М.: Высшая школа, -1986.
2. *Пушкин В.Н.* Психология и кибернетика. -М.: Педагогика, -1971.
3. *Сахаров Д.И.* Сборник задач по физике. -М.: Просвещение, -1973, с.130
4. *Коменский Я.А.* Великая дидактика (в книге Я.А.Коменский. Избранные педагогические сочинения, т. 1, -М.: "Педагогика", 1982)
5. *Кикоин И.К., Кикоин А.К.* Физика 9. -М.: "Просвещение", -1995.
6. *Шахмаев Н.М. и др.* Физика 9. -М.: Просвещение, -1992
7. *Малых В.С.* Неудачное уточнение. // Физика в школе, 1995, № 4, с.78
8. *Ленин В.И.* Полн. Собр. Соч., т. 41, с.305.
9. *Хорошавин С.А.* Физический эксперимент в средней школе. -М.: Просвещение, -1988, с.6.
10. *Ленин В.И.* Полн. Собр. Соч., т. 29, с.128
11. *Кузьмичев С.Д.* Физика. Задание № 3 для 10-х классов. г. Долгопрудный, МФТИ, 1995

12. *Малых В.С.* Задача с развивающимся содержанием как средство проблемного обучения. В сб. "Методологические, дидактические и психологические аспекты проблемного обучения физике." Донецк, ДонГУ, 1993, с.124 .

The basic principles of methods of solution of nonstandard physical problems

V.S.Malykh

The author suggests generalized algorithm of solution of school physical problems, including nonstandard ones, i.e. solving them by unusual algorithmical methods. According to this, the person solving the problem is to comply with three obligatory and sufficient conditions for solving any physical problem.