В. М. Кротов

МЕТОДОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

Могилев 2025

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени А. А. КУЛЕШОВА»

В. М. Кротов

МЕТОДОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

Монография

Могилев
МГУ имени А. А. Кулешова
2025

УДК 372.8: 53
ББК 74.262.22
К-83

*Печатается по решению редакционно-
издательского совета МГУ имени А. А. Кулешова*

Р е ц е н з е н т ы
кандидат физико-математических наук, доцент,
доцент кафедры педагогики и психологии УО «МГОИРО»
Л. Е. Старовойтов;
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой физики и математики
УО «Мозырский государственный педагогический
университет имени И. П. Шамякина»
В. С. Савенко

Кротов, В. М.
Методология решения задач по физике : монография / В. М. Кротов. – Могилев : МГУ имени А. А. Кулешова, 2025. – 172 с. : ил.
К-83
ISBN 978-985-894-200-7

Данное научно-методическое издание включает описание задачи по физике как объекта познавательной деятельности учащихся, анализ содержания понятия о методе решения физических задач, обоснование выделения таких групп методов решения задач, как общелогические, общематематические и специальные. Оно содержит характеристику конкретных видов методов решения задач для каждой из выделенных групп и многочисленные примеры применения этих методов для решения задач по разным разделам курса физики.

Будет весьма полезным студентам первой ступени высшего образования по специальности 6-05-0113-04 Физико-математическое образование (физика и информатика) и второй ступени высшего образования по специальности 7-06-0113-04 Физико-математическое образование. Профилизация: физика, преподавателям физики учреждений общего среднего образования для организации обучения учащихся решению физических задач.

УДК 372.8: 53
ББК 74.262.22

ISBN 978-985-894-200-7

ВВЕДЕНИЕ

В изучении курса физики решение задач имеет исключительно большое значение. Решение и анализ задач позволяют учащимся осознать сущность физических явлений и процессов, понять и запомнить основные законы и формулы физики, создать представление об их характерных особенностях и границах применения.

Задачи развивают умения в использовании общих законов материального мира для решения конкретных вопросов, имеющих практическое и познавательное значение и позволяют формировать у обучаемых определенные виды деятельности, связанные с применением знаний в конкретных ситуациях как на алгоритмическом, так и на творческом уровне.

Умение решать задачи является лучшим критерием оценки качества изучения физических знаний и их усвоения. В основу решения каждой физической задачи положено то или иное частное проявление одного или нескольких фундаментальных законов природы и их следствий, которые должны быть усвоены перед решением задач.

Решение задач служит простым, удобным и эффективным способом проверки знаний и умений обучаемых, позволяет в наиболее рациональной форме проводить обобщение и систематизацию знаний, осуществлять действенную связь преподавания физики с обучением математике, химии и другим учебным предметам.

Результат усвоения обучаемыми знаний и умений по решению физических задач зависит от многих факторов, среди которых:

- мотивация учащихся на решение задач;
- уровень усвоения ими теоретических знаний, составляющих информационный базис для решения задач как по физике, так и по основам их решения;
- уровень разработки учеными теоретических основ решения задач по физике;
- создание и применение усовершенствованного дидактического обеспечения обучения решению задач;
- методическая подготовка учителей в области методики обучения решению физических задач [5].

Большой вклад в разработку теоретических основ физических задач и методологии их решения в свое время внесли такие ученые, как Б. С. Беликов [3], С. Е. Каменецкий [10], Д. И. Кульбицкий [3], А. В. Усова [30] и др.

Однако с течением времени в связи с реализацией основных идей современной образовательной парадигмы и применением в образовательном процессе усовершенствованных и интерактивных дидактических средств обучения возникает необходимость проанализировать, систематизировать и описать ранее созданный и вновь разработанный теоретический и практический опыт развития методологии решения задач по физике. В этом и состоит основная цель написания и публикации данного научно-методического издания.

1. Физическая задача как объект познавательной деятельности учащихся

1.1 Содержание понятия «задача»

Понятие «задача» используют в различных областях знаний (психологии, педагогике, кибернетике, методике преподавания физики и др.). Этим термином обозначаются многие понятия, и до настоящего времени нет его однозначного определения.

Термин «задача» очень часто используется в жизни. Чаще всего под задачей понимают проблему (проблемную ситуацию), разрешение которой направлено на достижение конкретной цели. В научной, педагогической, методической литературе встречаются самые разнообразные подходы к определению понятия «задача».

Анализ научно-методической литературы [3, 6, 10, 30, 32] позволил из определений термина «задача» выделить такое понятие, как действие, включающее *цель, предмет, мотив* и *способ,* посредством которого оно осуществляется [30, с. 5].

В педагогической литературе *задача* определяется как форма познания реальной действительности, метод обучения; средство проверки знаний и практических умений учащихся; учебное задание; вопрос, требующий ответа на основе определенных знаний и др. [32, с. 5].

Более обобщенный подход применяется при определении *задачи* в кибернетике. Он основывается на понятиях «задачная система», «решающая система» и их взаимодействии. Под «задачной системой» подразумевается объект или совокупность объектов задачи, их состояния и требования к их преобразованию. «Решающая система» включает «субъекта» (человека) и технические средства решения задачи.

Рассмотрение этих понятий позволяет определить задачу как задачную систему в ее отношении к существующей или возможной решающей системе, т.е. трактовать задачу как систему информационных процессов, протекающих при взаимодействии задачной и решающей систем [32, с. 5-6].

При обучении физике необходимо знать, что представляет собой учебная задача. Д. Б. Эльконин утверждает, что учебная задача представляет собой ситуацию, позволяющую решающему овладеть некоторым процессом, способом, механизмом выполнения каких-либо практически значимых действий, направленных на овладение определенной системой знаний [30, с. 6].

Основное назначение, цель и результат учебной задачи заключается в усвоении знаний, т.е. в изменении самого действующего субъекта, а не в изменении объектов, с которыми он действует.

Учебная задача – это, с одной стороны, комплексная проблема, требующая нахождения способа действий для ее решения, с другой – средство для переноса общих теоретических знаний в конкретные действия.

Распространенным является понимание задачи *как ситуации (проблемной ситуации), в которой человек для достижения стоящей перед ним цели должен установить неизвестное на основе его связи с известным (ситуации с незаполненными местами, которые должны быть заполнены для достижения цели)* [6, 30].

Проблемная ситуация возникает у обучающегося, который в своей деятельности встречает трудности, препятствия. Препятствие может быть самой различной природы: нехватка или несоответствие знаний, средств и способов их применения, необходимость провести некоторые неизвестные действия достижения цели. Кроме этого, субъект должен заметить, уяснить и пожелать устранить это препятствие.

Столкнувшись с проблемой и уяснив ее, обучаемый начинает активную мыслительную деятельность. Он анализирует ситуацию, выявляет все ее составные части, связи и отношения с ними, характер и особенности препятствия. Результат такого анализа закрепляется в речи. Полученные при этом описании проблемной ситуации данные на каком-нибудь языке и есть задача. Таким образом, *задачу можно рассматривать как модель проблемной ситуации, выраженную с помощью естественного или искусственного языка.*

Познавательная задача характеризуется наличием у учащихся конкретной цели, учетом имеющихся условий и требований, необходимых для решения задачи, применением соответствующих цели и условиям способов или приемов решения.

В методике преподавания физики существуют различные определения физической учебной задачи. А. В. Усова и Н. Н. Тулькибаева понимают *физическую учебную задачу как ситуацию, требующую от учащихся мыслительных и практических действий на основе использования законов и методов физики, направленных на овладение знаниями по физике, умениями применять их на практике и развитие мышления* [30, с. 6].

С. Е. Каменецкий и В. П. Орехов определяют *физическую учебную задачу как небольшую проблему, которая решается с помощью логических умозаключений, математических действий и эксперимента на основе законов и методов физики* [10, с. 5]. По существу, на занятиях по физике каждый вопрос, возникший в связи с изучением предметных знаний, является для учащихся *задачей.*

Исходя из приведенных выше определений, физическая задача выступает средством овладения системой физических знаний, способами деятельности и средством развития мышления учащихся.

Анализ содержания понятия «задача» позволяет более четко смоделировать процесс обучения решению задач. Поэтому важно, чтобы учащиеся представляли, что такое задача, каково ее содержание и структура, из каких частей она состоит, в чем заключается сущность процесса решения и т. д. Понимание сущности задачи достигается, прежде всего, через раскрытие содержания и выявления ее структуры.

1.2 Структура задачи

Физическая задача имеет определенную структуру и состоит из двух компонентов: условия и требования.

Условие – это часть задачи, содержащая сведения о физических объектах, явлениях, процессах, их состояниях.

Требование – это та ее часть, в которой указана цель ее решения, т.е. все то, что необходимо установить в результате решения (найти неизвестную величину, доказать наличие или отсутствие какого-либо свойства или отношения, построить, составить, преобразовать объекты задачи) [6].

Более обобщенный подход к решению вопроса о структуре задачи предлагает В. М. Глушков. Он в задаче разделяет задачную и решающую подсистемы. К задачной подсистеме относятся условия и требования задач. В решающую подсистему входят научные методы, способы и средства, которые являются источниками создания конкретных алгоритмов и эвристик для решения задач. Структуру задачи определяет характер отношений, связей и зависимостей между условием и требованием, заданными и искомыми величинами задачи [30, с. 10].

Предметом исследования в физических задачах могут быть материальные объекты (вещественные образования, проявления физических полей) и их свойства, физические явления и процессы [21].

Для каждого явления (процесса) можно указать объекты, состояние которых изменяется при изменении внешних условий. Состояние объектов, условия внешнего воздействия количественно описываются физическими величинами (характеристиками), связь между которыми устанавливается законом или закономерностью.

В каждой задаче можно выделить следующие характеристики объектов:

– начального состояния;

– условий воздействия (предметов воздействия);

– конечного состояния [18].

Неизвестными в задаче могут быть некоторые из перечисленных характеристик. Поэтому в ее условии описываются физические ситуации, характеризующиеся некоторыми физическими величинами и которые могут быть описаны отдельными положениями физических теорий, физическими законами и закономерностями.

Определение физических величин, названных в числе неизвестных и представленных в требовании задачи, и является основной целью решения задач с использованием информационного базиса, включающего физические законы и закономерности, записанные в математической форме.

Как правило, в физике имеют дело с именованными числами. В математике же учащиеся оперируют в основном с отвлеченными числами и их знаковыми (буквенными) обозначениями.

Условие и требование задачи должны быть поняты учащимися. Это предполагает:

- выделение в задаче объекта(ов) исследования (материальные объекты и их свойства, физические явления и процессы и особенности их протекания);
- выделение объектов воздействия на объекты исследования;
- описание состояния объектов исследования и их изменения на языке физики с использованием физических величин;
- выбор физической модели, которую можно применить для решения данной задачи;
- определение информационного базиса, с помощью которого устанавливается связь между физическими величинами, характеризующими состояния объектов исследования и особенности их изменения.

1.3 Классификации задач по физике

Для выявления дидактических функций физических задач в учебном процессе их можно сгруппировать (классифицировать) по определенным признакам. Эти признаки должны носить объективный характер. В качестве таких признаков можно рассматривать:

– Особенность содержания задачи.
– Способ задания условия.
– Степень сложности.
– Характер и способ исследования задачной ситуации.
– Особенность описания задачной ситуации [6].

Приведем виды задач, выделенные по приведенным признакам их классификации (таблица 1).

Таблица 1. Классификация физических задач

Признаки классификации	Виды задач	Краткое описание вида задач
Особенность содержания	Задачи по механике, молекулярной физике, электродинамике, квантовой физике, оптике	
	Абстрактные	Выделяется физическая сущность объекта, могут указываться конкретные величины, его характеризующие, но не приводится их значение; требование задачи заключается в качественном объяснении явления или выводе функциональной зависимости между величинами
	Конкретные	Указываются значения конкретных физических величин, характеризующих объект исследования, а требование заключается в определении значения некоторой физической величины на основе функциональной зависимости ее с другими величинами или путем прямого измерения
	С производственным или техническим содержанием	В качестве объектов исследования рассматриваются конкретные технические или технологические устройства, функционирующие на основе физических явлений и закономерностей
	С историческим содержанием	Содержат сведения и факты из истории физических открытий и создания знаний или технических устройств и технологических процессов

Продолжение таблицы 1

	Занимательные	Привлекающие внимание, воображение и возбуждающие интерес учащихся своим содержанием или формой предъявления задачной ситуации
	Бытовые	Встречающиеся в быту
Способ задания условия	Текстовые, графические, задачи-рисунки, экспериментальные задачи	В текстовых задачах условие задано текстом, но может содержать и поясняющие рисунки; в графических задачах физическая ситуация описывается с помощью графика зависимости между физическими величинами; задачи-рисунки – это такие задачи, в которых условие задается в основном рисунком, (рисунок сам является условием задачи); в экспериментальных задачах значения исходных данных или неизвестной величины определяется при проведении эксперимента
Степень сложности	Простые, несложные, сложные,повышенной сложности	Простые задачи требуют истолкования смысла формул, подбор систем единиц, вычислений с использованием базовых физических формул; несложные задачи предполагают преобразование не более двух базовых физических формул с выводом расчетной формулы; сложные задачи решаются с использованием анализа и математического описания взаимосвязи между несколькими физическими явлениями через систему уравнений; задачи повышенной сложности требуют для своего решения достаточно глубокого понимания и умелого применения основных физических законов и математики

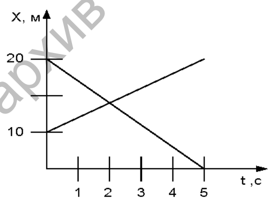
Окончание таблицы 1

Характер и способ исследования	Количественные, качественные – задачи-вопросы, логические задачи и др.	В количественных задачах для получения результата необходимо производить расчеты. В качественных задачах устанавливают только качественную зависимость между физическими величинами или явлениями
Особенность описания задачной ситуации	Поисковые, беспоисковые	При решении поисковых задач необходимо извлечение дополнительной информации; беспоисковые задачи – задачи, в условии которых содержится вся необходимая для решения информация

Одни и те же задачи по разным признакам классификации могут быть отнесены к различным группам. Поэтому полная характеристика той или иной физической задачи должна включать ее особенность по каждому из критериев.

Приведем пример полной характеристики нескольких задач (таблица 2).

Таблица 2. Характеристика физических задач

№	Содержание задачи	Характеристика задачи
1	По графикам движения двух тел найдите их относительную скорость. 	Конкретная, беспоисковая, количественная, несложная задача по механике. Способ задания условия – графический.
2	Груз массой $m = 200\ г$, подвешенный на пружине жесткостью $k = 3{,}2\ \frac{Н}{м}$, совершает гармонические колебания с амплитудой $x_м = 5{,}0\ см$. Определите скорость груза при прохождении им положения равновесия.	Конкретная, беспоисковая, количественная, несложная задача по механике. Способ задания условия – текстовый.

Окончание таблицы 2

3	По газопроводной трубе движется углекислый газ при давлении $p = 4 \cdot 10^5$ *Па* и температуре $t = 7^\circ C$. Какова средняя скорость движения газа по трубе, если за $\tau = 10$ *мин* через поперечное сечение трубы вытекает $m = 2$ *кг* газа? Площадь сечения трубы $S = 5$ *см*^{2}.	Конкретная, поисковая, количественная, сложная задача по молекулярной физике. Способ задания условия – текстовый.
4	Из капельницы в полый изолированный металлический шар радиуса R падают капли воды, каждой из которых сообщается заряд q_o. Какой должна быть минимальная высота падения капель, чтобы шар наполнился водой доверху? Радиус капли r гораздо меньше радиуса шара R.	Абстрактная, поисковая, количественная, сложная задача по электростатике. Способ задания условия – текстовый.
5	Почему при работе на токарном или сверлильном станке с неправильно заточенным или затупленным инструментом увеличивается расход электроэнергии?	Абстрактная, с техническим содержанием, поисковая, качественная, сложная задача по электричеству. Способ задания условия – текстовый.

Однако в методике преподавания физики в качестве определяющего признака выбирают один или два из перечисленных и рассматривают следующие виды задач:

1.3.1 Качественные физические задачи с практико-ориентированным содержанием

Под практико-ориентированными задачами понимают такие из них, в которых рассматриваются ситуации из окружающей действительности, связанные с формированием практических умений, необходимых в повседневной жизни. Цель этих задач – сформировать умение действовать в социально значимых ситуациях.

Приведем примеры физических задач с практико-ориентированным содержанием:

1. Почему нельзя перебегать улицу перед движущимся транспортом?

2. Почему в реке с илистым дном человек сильнее «вязнет» на мелком месте, чем на глубоком?

3. Спускаясь с горы, лыжник слегка приседает. Почему?

4. При езде на велосипеде без заднего крыла грязь с колеса попадает на спину велосипедиста. Как получается, что комочки грязи могут догнать велосипедиста?

5. Почему дверную ручку прикрепляют не к середине двери, а к краю, притом наиболее удаленному от оси вращения двери?

1.3.2 Задачи с историческим содержанием [27, 28, 29]

При решении задач с историческим содержанием учащиеся могут:

– ознакомиться с историей развития физики, основными методами научных исследований, которыми пользовались ученые на разных этапах ее становления;

– осознать сущность многих физических явлений, процессов, законов, связь науки с производством, практикой;

– проследить за логикой рассуждений ученых-физиков при постановке и проведении тех или иных экспериментов.

Интересующихся наукой учащихся определенно привлекает ее прошлое, история развития. Изучение курса физики в школе без ознакомления обучаемых с историей науки обедняет их знания, так как знание логики развития науки, «побед» и «поражений», драмы идей, которые сопровождают процесс развития научной мысли, позволяет глубже понимать современное состояние науки, осмысленно воспринимать и использовать полученные знания в жизни.

Приведем примеры физических задач с историческим содержанием.

1. Согласно легенде, Галилей, проверяя свое предположение о независимости скорости свободного падения тела от его массы, сбрасывал с Пизанской башни (высота 60 м) пушечное ядро массой 80 кг и мушкетную пулю массой 200 г. Оба тела достигли поверхности Земли практически одновременно (рис. 1). Какой вывод сделал ученый из этого опыта? Почему в опыте наблюдалось некоторое отставание пули от ядра?

2. В письмах Декарта встречаются такие строчки: «Полагаю, что природа движения такова, что, если тело пришло в движение, уже этого достаточно, чтобы оно его продолжало с той же скоростью и в направлении той же прямой линии, пока оно не будет остановлено или отклонено какой-либо другой причиной». Предвосхищение какого закона содержится в словах Декарта?

3. «Вода не выливается из сосуда, который вращается, не выливается даже тогда, когда сосуд перевернут дном вверх, ибо этому мешает вращение», – писал 2000 лет назад Аристотель. На рисунке 2 изображен этот эффектный опыт, который, без сомнения, многим знаком: вращая

достаточно быстро ведерко с водой, вы достигаете того, что вода не выливается даже в положении, когда ведерко опрокинуто вверх дном. Как вы объясните это явление? Вычислите, с какой скоростью надо в этом опыте вращать ведерко, чтобы вода из него не выливалась вниз.

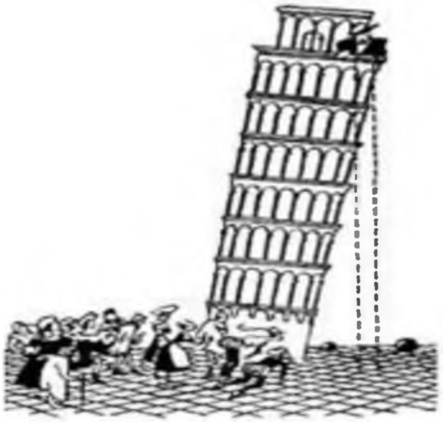


Рис. 1 Схема опыта Галилея

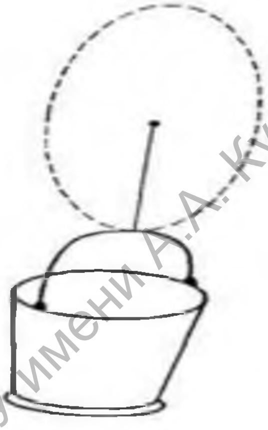


Рис. 2 Схема опыта Аристотеля

4. Леонардо да Винчи высказал следующее предположение: если сила F за время t продвинет тело, имеющее массу m, на расстояние s, то:

а) та же сила за это же время продвинет тело массой $\frac{m}{2}$ на расстояние $2s$;

б) та же сила за время $\frac{t}{2}$ продвинет половинную массу на то же расстояние s. Верно ли это?

5. В 1798 году лорду Кавендишу первым удалось измерить гравитационную постоянную с помощью крутильных весов. Схема установки, которой он пользовался, приведена на рисунке 3. Два небольших шарика массой по m = 730 г прикреплены на противоположных концах легкого стержня длиной около двух метров, который висел горизонтально на тонкой проволоке *3*, прикрепленной к центру. Эти шарики располагались на расстоянии l = 18,4 см от свинцовых шаров *2* массой по M = 155 кг. Кавендиш установил, что маленькие шарики притягиваются к свинцовым шарам с силой $F = 2{,}2 \cdot 10^{-7}$ Н. Каково значение гравитационной постоянной G, полученное на основании этих данных?

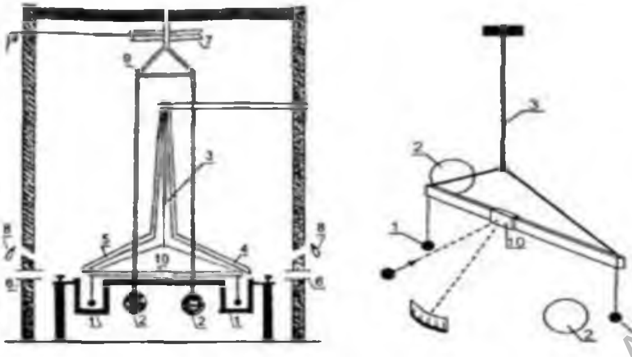


Рис. 3 Схема опыта Кавендиша

1.3.3 Физические задачи – рисунки

Пониманию физической задачи учащимися способствует применение рисунка задачной ситуации. Во многих дидактических материалах для учащихся предлагаются задачи, в содержание которых включены рисунки. Но при этом в методической литературе недостаточно четко определена функциональная нагрузка рисунков как элементов содержания физических задач.

Рисунок является источником качественной или количественной информации о задачной ситуации. Но роль рисунка при описании задачных ситуаций различна. Он представляет собой наглядный образ задачной ситуации, являясь ее рисуночно-фотографической моделью. Соответствие модели и исследуемого в задаче реального объекта существует на уровне сходства отношений между его элементами.

Наличие такого соответствия позволяет учащимся успешно проанализировать задачную ситуацию и сформулировать идею и замысел решения физической задачи.

Рисунок в содержании физической задачи может нести различную функциональную нагрузку:

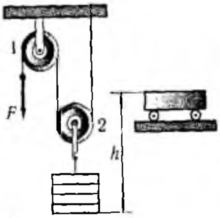
- поясняет задачную ситуацию и не содержит в себе количественной информации (облегчает анализ задачной ситуации);
- частично содержит в себе количественную информацию;
- является основным носителем информации [16].

Приведем примеры таких задач:

1. Груз массой m = 300 кг необходимо поднять на платформу (рис. 4). Какую минимальную работу должна совершить сила F, чтобы

осуществить этот подъем, если платформа находится на высоте $h = 2$ м?

2. Скорость участника аттракциона, движущегося без трения по системе горак в точке O, равна $\vartheta = 2{,}5\ \frac{м}{с}$ (рис. 5). Во сколько раз отличается его кинетическая энергия в точках A, B, C от кинетической энергии в точке O?



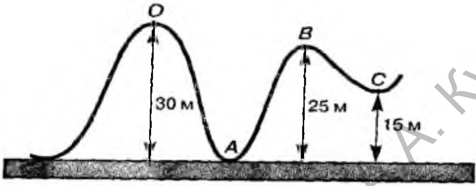


Рис. 4 Рисунок блоков Рис. 5 Рисунок горок аттракциона

3. По рисунку 6 определите сопротивление резистора R и внутреннее сопротивление источника тока r.

Рис. 6 Рисунок электрической цепи

4. Определите высоту столба с фонарем (рис. 7).

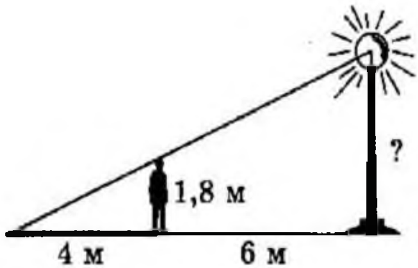


Рис. 7 Образование тени человека

5. По рисунку 8 определите направление силы Ампера, силы тока, направление вектора магнитной индукции и полюса магнитов.

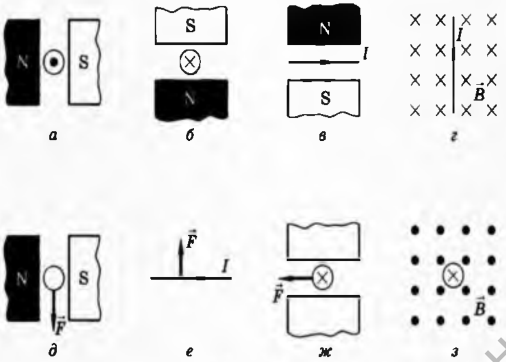


Рис. 8 Действие магнитного поля на проводник с током

1.3.4 Графические задачи по физике

Физические задачи, в которых информация о задачной ситуации представлена в виде графика, называют графическими по способу задания условия.

Графические задачи позволяют наглядно наиболее ярко и доходчиво выражать функциональные зависимости между величинами, характеризующими процессы, протекающие в окружающей нас природе и технике (особенно при изучении различных видов движения в механике, газовых законов). В некоторых случаях только с помощью графиков могут быть представлены процессы, которые на более поздних стадиях обучения физике можно выразить аналитически.

Наиболее часто в обучении физике встречаются графики линейной функции, графики тригонометрических функций; реже – более сложной функциональной зависимости. Иногда встречаются графики, содержащие несколько участков, которые соответствуют различным особенностям протекания физического процесса.

Приведем пример графических задач.

1. На рисунке 9 приведены графики зависимости силы упругости, возникающие в пружинах 1 и 2 от их удлинения. Определите коэффициент упругости системы пружин 1 и 2, соединенных параллельно и последовательно.

2. Для каких веществ построены графики зависимости количества

теплоты Q, выделяющегося при кристаллизации жидкости, от ее массы m (рис. 10)? Определите количество теплоты Q_1, выделяющееся при кристаллизации вещества массой m_1 = 3,0 кг с большей удельной теплотой плавления λ_1.

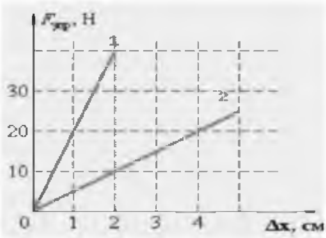


Рис. 9 График к задаче 1

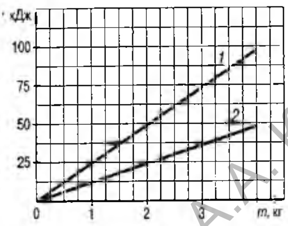


Рис.10 График к задаче 2

3. Шарик массой m с зарядом q = 33 мкКл прикреплен к пружине, как показано на рисунке 11а. Зависимость силы упругости пружины от ее растяжения приведена на рисунке 11б. Определите растяжение пружины при расположении на расстоянии r = 2 см от закрепленного шарика вдоль оси Ox шарика с зарядом $2q$.

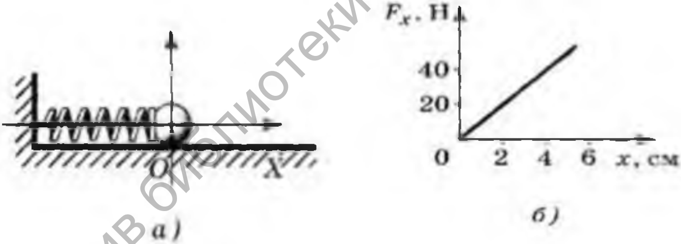
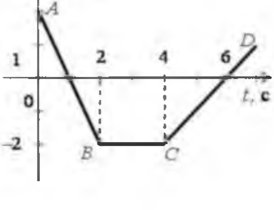


Рис. 11 Рисунок и график к задаче 3

4. На рисунке 12 приведен график проекции скорости материальной точки.



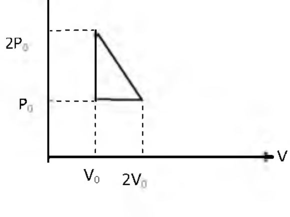


Рис. 12 График к задаче 4

Рис. 13 График к задаче 5

Определите проекцию перемещения материальной точки за первые две секунды движения, путь, пройденный материальной точкой за шесть секунд движения, и проекцию вектора ускорения материальной точки в момент времени, равный $t = 5$ *с*.

5. Тепловая машина, рабочим телом которой является идеальный одноатомный газ, работает по указанному на рисунке 13 циклу. Чему равен КПД этой тепловой машины?

1.3.5 Экспериментальные задачи

Экспериментальными называют такие задачи, в которых эксперимент используется для получения исходных данных или с помощью эксперимента проверяется теоретическое предположение, т. е. без проведения опытов или измерений они не могут быть решены.

Для эффективного решения экспериментальных задач нужно выбрать рациональную форму задания их условия и требования и форму организации познавательной деятельности учащихся.

В задании учащимся по решению физической экспериментальной задачи целесообразно указать:

- ✓ формулировку задания-требования;
- ✓ поясняющий рисунок;
- ✓ рекомендации по выполнению решения задачи;
- ✓ подсказку по решению (при необходимости).

Приведем примеры экспериментальных задач:

1. Вычислите выигрыш в силе бытовых ножниц (рис. 14).

Рекомендации по решению задачи

- Создайте математическую модель решения задачи исходя из правила моментов сил.
- Выберите необходимое оборудование.
- Выберите необходимые условия для проведения эксперимента.
- Проведите необходимые измерения физических величин.
- Вычислите по расчетной формуле выигрыш в силе.

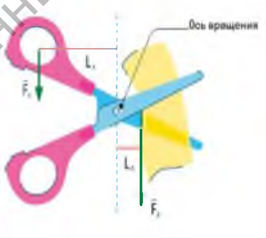


Рис. 14 Ножницы

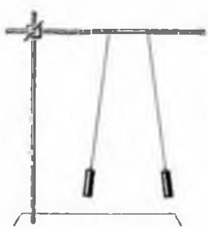


Рис. 15 Взаимодействие гильз

2. Оцените электрические заряды взаимодействующих гильз из фольги (рис. 15).

Рекомендации по решению задачи

- Создайте математическую модель решения задачи исходя из условия равновесия гильз.
- Выберите необходимое оборудование. Гильзы должны быть одинаковой массы и одинаковых размеров.
- Выберите необходимые условия для проведения эксперимента. Перед взаимодействием гильз приведите их в соприкосновение, чтобы заряды на них были одинаковыми.
- Проведите необходимые измерения физических величин.
- Рассчитайте заряд гильз.

3. Определите скорость кончика пальца при щелчке (рис. 16).

Рекомендации по решению задачи

- Создайте математическую модель решения задачи исходя из описания движения тела, брошенного горизонтально.
- Выберите необходимое оборудование. Шарик должен иметь небольшие размеры.
- Выберите необходимые условия для проведения эксперимента. Используйте для проведения опыта ученический стол. Перед проведением щелчка кончик пальца должен касаться шарика.
- Проведите необходимые измерения физических величин.
- Рассчитайте начальную скорость шарика (кончика пальца).

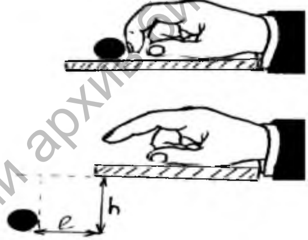


Рис. 16 Щелчок пальцем

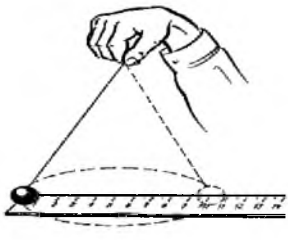


Рис. 17 Конический маятник

4. Определите силу натяжения нити (рис. 17)

Рекомендации по решению задачи

- Создайте математическую модель решения задачи исходя из динамического описания движения металлического шарика по окружности.

- Выберите необходимое оборудование. Шарик должен иметь небольшие размеры.
- Выберите необходимые условия для проведения эксперимента. При проведении опыта локтем руки можно опираться на ученический стол.
- Проведите необходимые измерения физических величин.
- Рассчитайте силу натяжения нити.

5. Определите массу воздуха в цилиндрическом стеклянном сосуде (рис. 18).

Рекомендации по решению задачи

- Создайте математическую модель решения задачи исходя из уравнения состояния идеального газа.
- Выберите необходимое оборудование. Стакан должен иметь цилиндрическую форму.
- Выберите необходимые условия для проведения эксперимента.
- Проведите необходимые измерения физических величин.
- Рассчитайте массу воздуха в стакане.

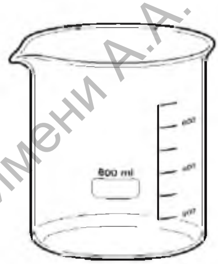


Рис. 18 Стакан

1.3.6 Задачи с техническим содержанием

Физика как наука в современном мире обладает тремя потенциалами: научно-познавательным, техническим и гуманитарным.

Она является основой научно-технического прогресса. Это достаточно отчетливо проявилось при развитии техники и технологий в предыдущие столетия: создание тепловых двигателей, электротехнических и радиотехнических устройств (телеграф, электрические осветители, электродвигатель, электрогенератор, телефон, радио).

В XX веке, благодаря развитию квантовой теории, возникновению атомной физики и физики твердого тела, быстрое развитие получила электроника (электронная лампа, электронно-лучевая трубка, транзистор, телевидение, ЭВМ).

Фундаментальные исследования в области ядерной физики позволили создать ядерную энергетику.

Создание лазерной техники стало возможным в связи с успехами в исследовании газового разряда, твердых тел и взаимодействия оптического излучения с веществом. Лазерный луч выполняет различные технологические операции (сваривает, режет, пробивает отверстия и т.д.), используется в качестве хирургического скальпеля, выполняет точнейшие измерения, контролирует степень загрязнения атмосферы, передает на расстояние информацию, управляет химическими процессами и ядерной реакцией, обеспечивает получение особо чистых веществ [21].

Развитие техники создает условия для интенсификации физических исследований, делает возможным постановку принципиально новых физических проблем.

Одним из важных дидактических средств по раскрытию технического потенциала физики являются физические задачи с техническим содержанием. В них в качестве объектов изучения рассматриваются технические объекты и технологические процессы.

В задачах с техническим содержанием важно учитывать не только числовые данные, но и ряд дополнительных элементов:

- ✓ технические, химические, физические и иные свойства компонентов, деталей; особенности технологий;
- ✓ области и условия применения технических устройств и технологий;
- ✓ физические принципы работы технических устройств и осуществления технологий [15].

Для задания условия задач с техническим содержанием целесообразно использовать поясняющие рисунки. Это связано с необходимостью тщательного ознакомления учащихся с техническими и технологическими объектами [15].

Приведем пример физических задач с техническим содержанием.

1. Стогометатель (рис.19) поднимает равномерно копну сена весом P = 7 кН на высоту h = 7,5 м за t = 10 с. Какую полезную мощность развивает при этом двигатель машины?

Рис. 19 Стогометатель

2. Шаг винта домкрата (рис. 20) $h_0 = 0{,}5$ см, длина рукоятки $l = 30$ см, действующая на рукоятку сила $F = 120$ Н, КПД домкрата $\eta = 45$ %. Какую подъемную силу развивает домкрат?

Рис. 20 Домкрат

3. Грузовик взял на буксир легковой автомобиль массой $M = 1$ т (рис. 21) и, двигаясь равноускоренно, за $t = 50$ с проехал $s = 400$ м. На сколько удлинился буксирный трос, если его жесткость $k = 2 \cdot 10^5\ Н \cdot м^{-1}$?

Рис. 21 Буксировка автомобиля

4. Капелька краски имеет диаметр $d = 20$ мкм. Она движется в электростатическом поле с $E = 10\ \frac{кВ}{с}$ при электростатической окраске (рис. 22) с ускорением $a = 10\ м \cdot с^{-2}$. Определите ее заряд.

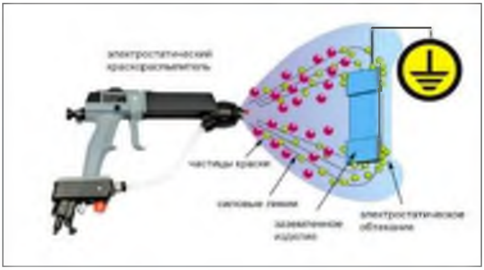


Рис. 22 Схема электростатической окраски

5. Лифт опускается вниз и перед остановкой движется замедленно (рис. 23). Определите, с какой силой $\vec{P}$ (вес тела) будет давить на пол лифта человек массой m = 60 кг, если ускорение лифта a = 4 м · с$^{-2}$.

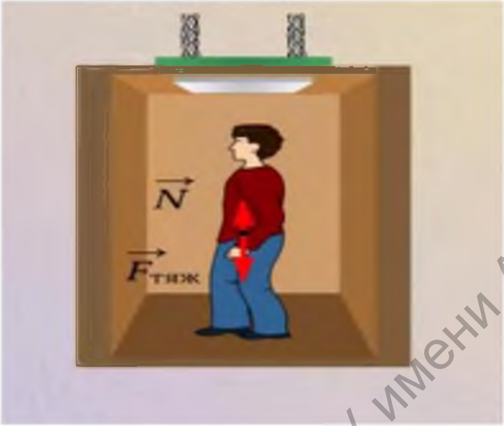


Рис. 23 Движение человека в лифте

1.3.7 Задачи с межпредметным содержанием

Физика исследует строение материи и простейшие формы ее движения и взаимодействия. Это определяет ее ведущую роль в системе естественно-математических наук. На стыке физики и других естественных наук возникли новые научные дисциплины: химическая физика, астрофизика, биофизика, агрофизика, петрофизика.

Реализация межпредметных связей физики с другими дисциплинами естественнонаучного цикла является приоритетной задачей обучения физике в учреждениях общего среднего образования. В этом контексте большое значение имеет решение задач с межпредметным содержанием.

К задачам с межпредметным содержанием относятся задачи, в которых используют знания и умения учащихся по двум или нескольким учебным предметам. Для задания условия задач с межпредметным содержанием важно использовать поясняющие рисунки. Это связано с необходимостью актуализации знаний учащихся по другим учебным дисциплинам.

Приведем пример таких задач.

1. Вычислите силу $\vec{F}_м$, которую должна создавать дельтовидная мышца (рис. 24), чтобы удержать: вытянутую руку без груза и вытянутую руку с грузом в горизонтальном положении.

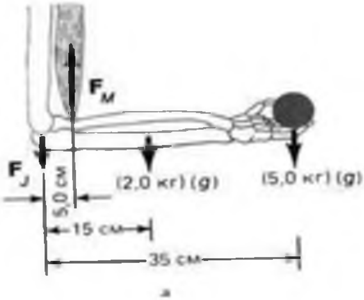


Рис. 24 Дельтовидная мышца

2. Сухожилие животного (рис. 25) длиной l = 16 см под действием силы F = 12,4 Н удлиняется на Δl = 3,3 мм. Его можно считать круглым в сечении с диаметром d = 8,6 мм. Рассчитайте модуль упругости этого сухожилия.

Рис. 25 Сухожилие

3. На соревнованиях по прыжкам в воду спортсмен сначала прыгает на доску-трамплин (рис. 26), а затем вверх. Почему при этом прыжок получается более высоким?

Рис. 26 Прыжок спортсмена

4. Лягушка массой M сидит в озере на куске деревянной коры массой m (рис. 27). Ей нужно перепрыгнуть на другой кусок коры, находящийся от первого на расстоянии l. С какой наименьшей скоростью должна прыгнуть лягушка, чтобы попасть на другой кусок коры?

Рис. 27 Прыжок лягушки

5. Сельский житель поднимает ведро из колодца (рис. 28) за $t = 20$ с, действуя с постоянной силой $F = 80$ Н. Глубина колодца равна $h = 10$ м. Какую мощность развивает человек?

Рис. 28 Подъем ведра воды

1.3.8 Творческие задачи

Одой из основных целей обучения учащихся физике в учреждениях общего среднего образования является развитие их аналитического мышления, творческих способностей, осознанных мотивов учения. Важным дидактическим средством достижения этой цели являются творческие задачи.

Это такие задачи, в которых сформулировано определенное требование, выполнимое на основе знания физических законов, но отсутствуют какие-либо прямые и косвенные указания на те законы или закономерности, которые следует использовать для решения этой задачи.

В науке различают в основном два вида творчества: открытия и изобретения. Творческие задачи по физике условно можно подразделить также на два вида: «исследовательские» (требующие ответа на вопрос *почему?*) и «конструкторские» (требующие ответа на вопрос *как сделать?).*

К исследовательским творческим задачам можно отнести задачи, при решении которых:

- ✓ Требуется способность к «видению» проблемы при неполно описанном условии.
- ✓ Может быть неоднозначный или неопределенный ответ.
- ✓ Могут обнаружиться избыточные данные, противоречия в условии.
- ✓ Требуется применить комбинирование известных способов решения задач в новый способ.
- ✓ Необходимо выработать обобщенные стратегии, построить алгоритмы решения.
- ✓ Требуется обосновать доказательство, обнаружить и устранить ошибки.
- ✓ Необходимо выдвинуть гипотезу, построить стратегию решения.
- ✓ Нужно провести проверку решения с последующей его оценкой. [32]

Приведем пример таких задач.

1. Определите быстроту реакции своего друга с использованием метровой линейки.

2. Взрослому и ребенку нужно перейти через ручей – одному с левого берега на, правый, а второму – в противоположном направлении (рис. 29) . На обоих берегах имеется по доске, но каждая из них несколько короче расстояния между берегами. Каким образом взрослый и ребенок могут перебраться с одного берега на другой?

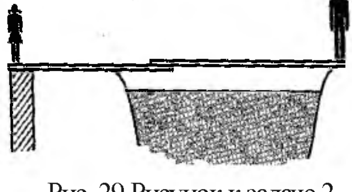


Рис. 29 Рисунок к задаче 2

3. Имеется металлический заряженный шарик на изолирующей ручке. Необходимо заряд шарика полностью передать электрометру с тем, чтобы измерить его. Как это сделать? Проделать соответствующий опыт.

4. Предположите и проверьте, что легче: привести в движение стопку книг, лежащую на столе, потянув за нижнюю книгу, или вытянуть ее, придерживая (но не приподнимая при этом) остальные?

5. Сконструируйте и изготовьте динамометр, в котором вместо спиральной пружинки использовалась бы какая-либо упругая пластинка.

1.3.9 Физические задачи на преобразование формы предъявления данных

Изучение физики учащимися общеобразовательных учреждений направлено на овладение ими умениями применять полученные знания для объяснения природных явлений и процессов, практического использования физических знаний в повседневной жизни, понимания роли физики в решении жизненно важных для людей проблем. Эти умения входят в состав естественнонаучной функциональной грамотности учащихся.

Естественнонаучная функциональная грамотность учащихся представляет собой их способность использовать естественно научные знания, необходимые для понимания окружающего мира, и проявляется через компетенции, среди которых интерпретация и преобразование одной формы представления результатов измерений в другую.

Для формирования этой компетенции у учащихся необходимо применять в учебном процессе физические задачи, в которых нужно анализировать приведенные в той или иной форме результаты измерений или представить их в другой форме.

Приведем примеры таких задач.

1. При исследовании движения шарика по наклонной плоскости с использованием мерной ленты с ценой деления $C_l = 1\ \frac{\text{см}}{\text{дел}}$ и секундомера с ценой деления $C_t = 0{,}1\ \frac{\text{с}}{\text{дел}}$ получили данные, приведенные в таблице 3.

Таблица 3. Результаты измерений

s(м)	0,29	0,91	1,49
t(с)	1	2	3

Постройте график движения в проекции на наклонную плоскость.

2. Для подъема воздушного шара воздух в нем нагревают до температуры t = 100°С. Зависимость плотности воздуха от температуры и высоты над поверхностью Земли приведены в таблице 4. До какой максимальной высоты может подняться воздушный шар?

Таблица 4. Зависимость плотности воздуха от температуры и высоты

$\rho, \frac{кг}{м^3}$	1,293	1,247	1,205	1,165	0,946	
t, °С	0	10	20	30	100	
$\rho, \frac{кг}{м^3}$	1,219	1,190	1,167	1,112	1,007	0,909
h, м	50	200	500	1000	2000	3000

3. В жидкости плавает цилиндрическое тело. Зависимость глубины погружения тела в жидкость h от его высоты H представлено на графике (рис. 30). Пользуясь таблицами плотностей твердых тел и жидкостей, определите жидкость и вещество твердого тела.

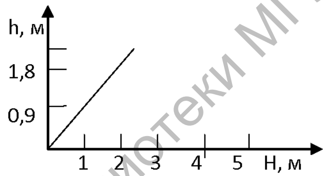


Рис. 30 График зависимости глубины погружения тела от его высоты

4. Космонавты исследовали зависимость силы тяжести от массы тела на посещаемой планете. Результаты измерений представлены в таблице 5.

Таблица 5. Результаты измерений

m, кг	1	2,5	3	3,5	4	4,5
F, Н	2,5	10	12,5	15	17,5	18,5

Погрешность измерения массы Δm = 0,1 кг, силы – ΔF = 1,5 Н. Постройте по этим данным график зависимости силы тяжести от массы и определите ускорение сводного падения для этой планеты.

5. Ученик, измеряя длину пружины при подвешивании к ней грузов разной массы, получил результаты измерений, приведенные в таблице 6.

Таблица 6. Результаты измерений

Масса груза, г	0	200	400	600	800
Длина пружины, см	15	16	17	18	19

Постройте график зависимости величины деформации от величины нагрузки. Определите длину пружины при нагрузке $P = 5$ Н и жесткость пружины.

1.3.10 Абстрактные физические задачи

Абстрактные задачи – это такие задачи, в которых отсутствуют числовые значения величин и которые решаются в общем, т.е. в буквенном виде.

Приведем пример таких задач.

1.Тело свободно падает без начальной скорости с некоторой высоты h_1. Одновременно с ним с большей высоты h_2 начинает движение другое тело. Найдите модуль начальной скорости ϑ_0 второго тела, если оба тела упали на поверхность Земли одновременно.

2. На краю наклонной плоскости с углом наклона α лежит тело. Плоскость вращается относительно вертикальной оси, совпадающей с катетом, с угловой скоростью ω, модуль которой постоянен. Расстояние от тела до оси вращения плоскости R. Определите наименьшее значение коэффициента трения μ, при котором тело удержится на вращающейся наклонной плоскости.

3. Трубка с поперечным сечением площадью S заполнена водяным паром, давление которого p, и запаяна с обоих концов. Если трубку расположить горизонтально, то находящийся в ней поршень делит трубку на две равные части. Трубку ставят вертикально, и поршень смещается так, что объем под ним уменьшается в четыре раза. Найдите массу m поршня, если давление насыщенного водяного пара $p_н = 2$р. Трением и толщиной поршня пренебречь. Температуру пара считать постоянной.

4. Цепь состоит из аккумулятора с внутренним сопротивлением r и нагрузки сопротивлением R. Вольтметр соединяют сначала последовательно, а затем параллельно с сопротивлением R. Определите сопротивление $R_в$ вольтметра, если в обоих случаях он показывает одинаковое напряжение.

5. Два плоских зеркала образуют двугранный угол φ_0. Произвольно выбранный луч, лежащий в плоскости, перпендикулярной плоскостям зеркал, отражается по очереди от обоих зеркал. Определите угол φ между лучом, падающим на первое зеркало, и лучом, отраженным от второго зеркала.

1.4 Уровни сложности физических задач [11]

Во многих сборниках задач по физике содержатся задачи разной сложности (трудности). Выделяются различные группы задач: простые, несложные сложные (низкого и среднего уровня сложности, повышенной сложности и олимпиадные). В существующих сборниках задач применяются следующие способы обозначения сложности задач и уровень сложности:

– проставляется цифрой от 1 до 5;
– обозначается разным количеством звездочек или различными видами знаков.

Однако при этом критерии отнесения задач к разным уровням сложности не определяются однозначно.

Понятия «сложность задачи» и «трудность задачи» в методике преподавания физики часто применяют как понятия-синонимы, поскольку ими характеризуется и субъективная сторона решения задачи – сможет ли учащийся решить или нет. Трудность решения задачи в большей степени психологическая (субъективная) характеристика структуры решения задачи.

Сложность задачи как более объективная ее характеристика определяется многими параметрами, отражающими структуру задачи. Исходя из анализа структуры физической задачи, который представлен на рисунке 31, выделим критерии сложности задач:

– количество и сложность взаимосвязи объектов исследования;
– применяемый способ задания задачной ситуации;
– явный или неявный способы формулировки требования;
– сложность применяемого математического аппарата.

В явном виде требование задачи сформулировано в том случае, когда необходимо найти значение одной или нескольких физических величин, являющихся характеристиками объектов исследования.

Рис. 31 Критерии сложности физических задач

Все задачи по математическим преобразованиям (алгебраическим), которые выполняются в процессе, делятся на несколько видов.

1. Задачи, в процессе решения которых производится расчет значений физических величин по базовой формуле. Решение задачи сводится к расчетам по заданным значениям. Подобные действия, учащиеся выполняли в учебном процессе по математике. Но здесь есть и новый элемент – действия с единицами физических величин. Этим принципиально отличается решение физических задач от ранее решавшихся по математике.

2. Задачи, в процессе решения которых используется уже известная формула, но с учетом конкретной ситуации предполагается определить любую из нескольких величин по другим заданным. Это задачи, где математическим аппаратом служит уравнение с одним неизвестным, но учащийся имеет дело с именованными величинами.

Обучающиеся анализируют определенное состояние объекта или процесса. Заданные физические величины характеризуют это состояние. Предлагается определить неизвестные величины, также характеризующие это состояние. Причем в процессе решения уравнения учащиеся усваивают действия с именованными величинами, которые раскрывают физический смысл полученного решения.

3. Задачи, в процессе решения которых требуемые значения величин находятся опосредованным способом:

– процесс решения задачи сводится к решению уравнения, но возникают промежуточные операции, приближающие условие задачи к требованию в процессе отыскания дополнительных зависимостей неизвестных величин через заданные;

– через решение системы уравнений;

– применение элементов и правил высшей математики.

Исходя из выделенных критериев сложности задач, можно следующим образом выделить уровни сложности задач (таблица 7).

Таблица 7. Описание уровней сложности задач

Уровень сложности задачи	Объекты исследования	Требования задачи	Способ задания условия	Математический аппарат
1	Одно явление (один процесс); 1–2 объекта	Задано в явном виде. Выбрать из предлагаемых один или несколько правильных ответов	Любой	Не применяется
2	Одно явление (один процесс); 1–2 объекта	Задано в явном виде. Найти значение одной физической величины	Текстовый, задача-рисунок	Простой
3	Два явления (два процесса); 2–3 объекта	Задано в явном виде. Найти значение 1–2 физических величин	Текстовый, задача-рисунок, графический	Не очень сложный
4	Два – три явления (два – три процесса); 2–3 объекта	Задано в явном виде. Найти значение нескольких физических величин	Любой	Не очень сложный
5	Два – три явления (два – три процесса); 2–3 объекта	Задано в неявном виде. Найти значение нескольких физических величин	Любой	Сложный

Уровни сложности в упрощенном варианте иногда определяют следующим образом:

1-й уровень – задачи с выбором ответов, не требующих применения физических формул.

Примерами таких задач являются следующие задачи:

✓ На рисунке 32 заданы графики движения тела. Какой из графиков соответствует уравнению $x=5+5t$ (x – в метрах, t – в секундах)?

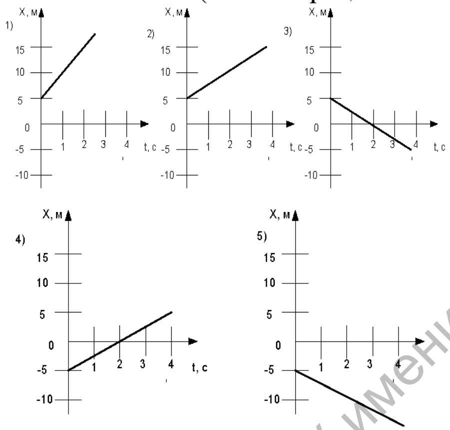


Рис. 32 Графики движения

✓ На рисунке 33 приведен график газового процесса 1-2-3-4 для идеального газа. Какой из участков этого процесса соответствует изотермическому, протекающему при минимальной температуре?

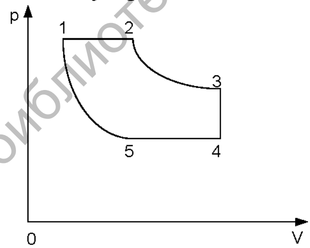


Рис. 33 График газового процесса

✓ Во сколько раз число нейтронов в ядре изотопа $^{238}_{92}U$ больше числа протонов?

2-й уровень – задачи, для решения которых используется одна физическая формула.

Примерами таких задач являются следующие задачи:

- Две когерентные монохроматические волны с длинами волн λ = 404 нм пересекаются в одной точке на экране, ослабляя друг друга (m = 2). Чему равна оптическая разность хода этих волн?
- Катушка электромагнита намотана проводом сечением S = 0,04

мм^2 и длиной провода l = 200 м. Сопротивление обмотки R = 85 Ом. Чему равно удельное сопротивление вещества проводника?

- Ускорение свободного падения на Земле $g = 9{,}8\ \frac{м}{с^2}$. На некоторой высоте h над поверхностью Земли ускорение свободного падения $g_1 = 2{,}45\ \frac{м}{с^2}$. Чему равна эта высота?

3-й уровень – задачи, для решения которых требуется использовать две физические формулы с проведением математических преобразований.

Примерами таких задач являются следующие задачи:

✓ Самолет летит из пункта A в пункт B, расстояние между которыми s = 900 км, и обратно со скоростью $\vartheta_с = 300\frac{км}{ч}$. Вдоль линии полета непрерывно дует ветер со скоростью $\vartheta_в = 60\frac{км}{ч}$. Какое время затрачено на весь полет?

✓ В однородном горизонтальном магнитном поле перпендикулярно силовым линиям расположен проводник с электрическим током (рис. 34). Магнитная постоянная $\mu_0 = 4\pi\cdot 10^{-7}\ \frac{Тл\cdot м}{А}$. Сила тока в проводнике I = 0,3А и индукция магнитного поля в точке 3, отстоящей от проводника на r = 20 см и находящейся на линии, перпендикулярной силовой $B = 7\cdot 10^{-7}$ Тл. Чему равна индукция однородного поля B_0?

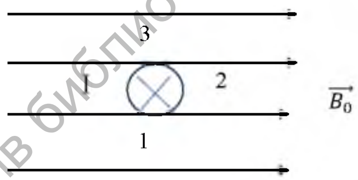


Рис. 34 Проводник с током в магнитном поле

✓ К источнику тока с внутренним сопротивлением r = 1 Ом подключены два резистора сопротивлением R = 2 Ом каждый. При последовательном соединении резисторов напряжение на клеммах источника тока U = 3,2 В. Чему равна ЭДС источника ?

4-й уровень – задачи, для решения которых требуется использовать не менее трех формул из одной или родственных тем с проведением математических преобразований.

Примерами таких задач являются следующие задачи:

✓ Одинаковые шарики массой m = 0,2 г каждый в незаряженном состоянии подвешены на нитях длиной l = 30 см каждая, соприкасаясь друг с другом. Одному из шариков сообщают положительный заряд q, и шарики расходятся так, что угол между нитями станет $\alpha = 90^o$. Определите величину заряда шариков.

✓ Источник электрического тока, резистор и два конденсатора соединены по схеме, приведенной на рисунке 35. ЭДС источника тока равна $\xi = 80$ В. Емкость конденсаторов $C_1 = 2$ мкФ и $C_2 = 3$ мкФ. В электрической цепи протекает электрический ток, силы которого в два раза меньше, чем ток короткого замыкания источника тока.Чему равно напряжение U на конденсаторе C_1 ?

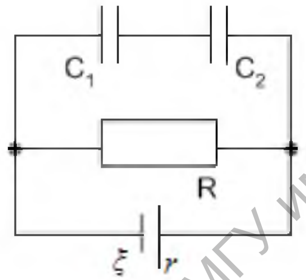


Рис. 35 Схема электрической цепи

✓ Частица с электрическим зарядом $q = 6$ нКл разгоняется электрическим полем между точками с напряжением $U = 3$ кВ и не упруго ударяется о преграду. Начальная скорость частицы $\vartheta_0 = 8\ \frac{м}{с}$ и изменение ее импульса при ударе о преграду $\Delta p = 10^{-5}\ \frac{кг \cdot м}{с}$. Чему равна масса частицы?

5-й уровень – задачи, для решения которых требуется использовать не менее трех формул из разных тем с проведением математических преобразований.

Примерами таких задач являются следующие задачи:

♦ Небольшое тело соскальзывает вниз по наклонному желобу, переходящему в мертвую петлю радиуса $R = 2$ м (рис. 36). Верхняя часть петли срезана так, как показано на рисунке. Тело начинает двигаться с высоты H и перелетает по воздуху из точки B в точку A. (Сопротивлением воздуха пренебречь.) С какой высоты соскальзывало тело?

♦ В однородном магнитном поле, модуль индукции которого $B = 0{,}44$ Тл, находятся два длинных вертикальных проводника, расположенные в плоскости, перпендикулярной линиям индукции (рис. 37). Расстояние между проводниками $l = 10{,}0$ см. Проводники в верхней части подключены к конденсатору, емкость которого $C = 2$ Ф. По проводникам начинает скользить без трения и без нарушения контакта горизонтальный проводящий стержень массой m = 2,2 г. Электрическое сопротивление всех проводников пренебрежимо мало. Какой заряд накопится в конденсаторе через промежуток времени Δt = 0,069 с после начала движения стержня?

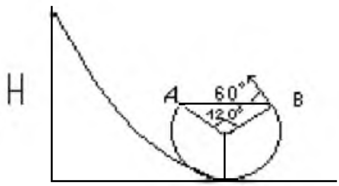


Рис. 36 Наклонный желоб

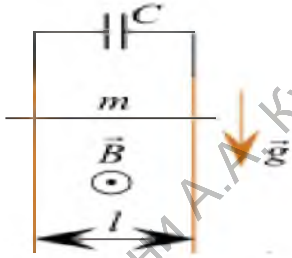


Рис. 37 Движения стержня

♦ Две вертикальные однородно заряженные непроводящие пластины расположены в вакууме на расстоянии d = 70 мм друг от друга. Между пластинами на длинной легкой нерастяжимой нити подвешен небольшой заряженный ($|q_0|$ = 200 пКл) шарик массой m = 630 мг, который движется, поочередно ударяясь о пластины. При ударе о каждую из пластин шарик теряет η = 36,0 % своей кинетической энергии. В момент каждого удара шарик перезаряжается, и знак его заряда изменяется на противоположный. Модуль напряженности однородного электростатического поля между пластинами $E = 400\ \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$. Чему равен период T ударов шарика об одну из пластин?

1.5 Многоуровневые задачи [9, 13]

Овладение учащимися методами решения задач – одна из важнейших целей обучения физике. Для этого необходимым является создание многих условий, среди которых – высокий уровень мотивации деятельности, соответствующая теоретическая подготовка, учет индивидуальных способностей учащихся, подбор задач, обеспечивающих динамику усложнения деятельности.

Один из путей создания перечисленных условий – использование в обучении многоуровневых задач. Под многоуровневыми задачами будем понимать те из них, в которых описывается конкретная ситуация и сформулированы несколько требований в определенном порядке. Каждое последующее требование «сложнее» предыдущих в связи с усложнением задачной ситуации или введением дополнительных параметров.

Приведем примеры таких задач.

I. Из точки A, находящейся на вершине крутого обрыва на высоте H над горизонтом, бросают небольшой предмет в точку B горизонтальной поверхности, отстоящую на расстоянии L от обрыва.

- Опишите возможные варианты бросков предмета в точку B.
- С какой скоростью необходимо бросить предмет горизонтально, чтобы он упал в точку B?
- Тело брошено горизонтально. С какой скоростью и под каким углом к горизонту упадет тело?
- Бросание производят под углом α к горизонту. Какова взаимосвязь между ϑ_o и α?
- При каком угле бросания α, скорость предмета будет наименьшей?
- Чему равна эта минимальная скорость броска?

II. Плоский воздушный конденсатор с расстоянием между пластинами d = 3см и площадью каждой из них S = 60 см^2 присоединен к источнику постоянного напряжения U = 2000 В. Параллельно пластинам конденсатора вводится металлическая пластинка толщиной d = 1 см.

- Определите первоначальную емкость конденсатора.
- Определите электроемкость образовавшегося конденсатора.
- Какой заряд протекает по цепи при введении металлической пластинки?
- Какую энергию расходует источник при введении пластинки? На сколько при этом изменяется энергия конденсатора?
- Пластинку вставляют в заряженный конденсатор, отключенный от источника. Изменится ли заряд конденсатора? Как изменится энергия конденсатора?
- Какую работу совершает поле, если пластинку вставляют в заряженный конденсатор, отключенный от источника? Сравните ее с изменением энергии конденсатора.

III. Две собирающие линзы с фокусным расстоянием F_1 = 40 см и F_2 = 80 см установлены на расстоянии l = 20 см друг от друга так, что их главные оптические оси совпадают. Предмет помещен на расстоянии d = 60 см от первой линзы.

- Построением установите, где будет находиться изображение предмета. Что будет происходить с изображением, если линзы сдвинуть, раздвинуть?

- Теоретически рассчитайте местонахождение изображения предмета.
- Определите линейное увеличение, которое создает система линз при заданных условиях.
- Что изменится, если линзы поменять местами?
- Где будет находиться изображение предмета, если все элементы системы поменять местами?

IV. Рамка из провода сопротивлением $R = 0{,}01$ Ом равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}05$ Тл. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Площадь рамки $S = 100$ см^2.

- Определите направление индукционного тока в рамке в течение первого полупериода ее вращения.
- Определите электрический заряд, который протекает через рамку за время ее поворота на угол от 0° до 30° (угол отсчитывается между направлением B и нормалью к плоскости рамки).
- По какому закону изменяется ЭДС индукции?
- Постройте график изменения индукционного тока от времени.
- Чему численно равна площадь фигуры, ограниченной графиком и осью времени?
- Какой средний ток протекает в контуре за период? Полупериод?

V. Человек, находящийся на движущемся эскалаторе метро, перемещается на расстояние s относительно стен за время t.

- Найдите скорость человека относительно стен метро, подобрав определенные значения s и t.
- Какова скорость эскалатора, если скорость человека относительно эскалатора ϑ_1 и направлена по движению ленты?
- Сколько времени будет спускаться по эскалатору человек, движущийся по нему со скоростью $3\vartheta_1$?
- Сколько ступенек насчитает человек на неподвижном эскалаторе, если при его движении со скоростью ϑ_1 по движущемуся эскалатору он насчитывает 50 ступенек, а со скоростью $3\vartheta_1$ – 75 ступенек?
- Постройте график движения человека относительно стен метро, если он движется по эскалатору в противоположную сторону его движения со скоростью $3\vartheta_1$. Рассмотрите все возможные случаи соотношения скоростей эскалатора и человека.

Решение многоуровневых задач позволяет:

1) учесть индивидуальные способности учащихся (каждый учащийся выполняет столько требований, сколько может осилить);

2) больше времени отводить на анализ задачных ситуаций (нет необходимости решать большее количество задач);

3) решить проблему с подбором задач при обучении учащихся на разных уровнях (базовом и профильном);

4) более четко организовать самостоятельную работу учащихся (выполнение отдельных требований предоставить самим учащимся, предложить по рассматриваемой задачной ситуации составить новые требования).

1.6. Олимпиадные задачи

Республиканская физическая олимпиада проводится в *четыре этапа*.

Первым этапом является проведение олимпиад в школах (школьный этап). В школьных олимпиадах, организуемых самими учителями, могут принимать участие по желанию учащиеся 7–11 классов. Этот этап олимпиады является самым массовым. Он проводится в октябре каждого года.

Второй этап – районные (городские) олимпиады. Он проводится в ноябре по заданиям, составленным областными оргкомитетами олимпиад. В нем принимают участие учащиеся 8–11 классов, являющиеся победителями школьных олимпиад. Участники олимпиады выполняют задания двух туров – теоретического и экспериментального.

Третий этап – областные олимпиады. Он проводится в январе. Его организуют местные органы управления по образованию облисполкомов. В олимпиадах третьего этапа участвуют команды школьников 9–11 классов, сформированные из числа победителей районных (городских) олимпиад. Теоретические и экспериментальные задания для третьего этапа разрабатываются оргкомитетом по проведению олимпиады при МО РБ.

Четвертый этап – заключительный. В нем принимают участие команды школьников 9–11 классов, сформированные из числа победителей третьего этапа, а также победители четвертого этапа олимпиады предыдущего года.

Основными задачами ее проведения являются:

- повышение интереса учащихся к изучаемым учебным предметам, развитие их творческих способностей, углубление теоретических знаний и практических умений, содействие самореализации личности;

- подготовка одаренных учащихся для продолжения обучения в учреждениях высшего образования.

Рассмотрим специфику задач, предлагаемых учащимся на каждом из этапов олимпиады на примере заданий для 9 класса.

Школьный этап

Включает решение учащимися, как правило, пяти физических задач четвертого и пятого уровней сложности. При этом им могут предлагаться 1-2 задачи третьего уровня сложности.

Приведем пример структуры и содержания задач для проведения этого этапы олимпиады [26].

Задача 1. Рыбак переплывает на моторной лодке через канал первый раз при неподвижной воде со скоростью $\vartheta_1 = 1{,}5\ \frac{м}{с}$ по прямой *A—B* перпендикулярной берегам канала (рис. 38). На сколько процентов больше потребуется времени на переправу при течении воды в канале, если модуль ее скорости $\vartheta_т = 0{,}9\ \frac{м}{с}$, а лодка и во второй раз будет двигаться вдоль той же прямой при прежней мощности ее двигателя?

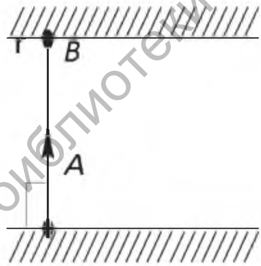


Рис. 38 Направление движения лодки

Задача 2. Стальной шар с воздушной полостью внутри подвесили к динамометру. При этом его показание было F_1. Определите объем полости $V_п$ в шаре, если при его полном погружении в воду показание динамометра стало F_2. Плотности воды $\rho_в$ и стали $\rho_{ст}$, а также коэффициент g считайте известными.

Задача 3. Охлажденный до температуры $t_1 = -2{,}4$°C алюминиевый шарик радиусом $R = 30$ мм опустили в большой водоем, температура воды в котором $t_2 = 0{,}0$°C. Спустя длительное время на шарике образовалась тонкая корочка льда. Определите ее толщину, если плотность алюминия $\rho_а = 2{,}7\ \frac{г}{см^3}$, его удельная теплоемкость

$c_2 = 0{,}92\ \frac{кДж}{кг \cdot К}$, плотность льда $\rho_л = 0{,}90\ \frac{г}{см^3}$, а его удельная теплота плавления $\lambda = 33 \cdot 10^5\ \frac{Дж}{кг}$.

Задача 4. В медной проволоке при напряжении на ее концах $U = 1{,}7$ В течет электрический ток, плотность которого $j = 0{,}1\ \frac{А}{мм^2}$. Определите площадь поперечного сечения S этой проволоки, если ее удельное сопротивление ρ.

Задача 5. Конический и полусферический сосуды заполнены водой (рис. 39). Во сколько раз модуль силы ее давления на дно одного сосуда больше, чем на дно другого, если объемы сосудов одинаковы?

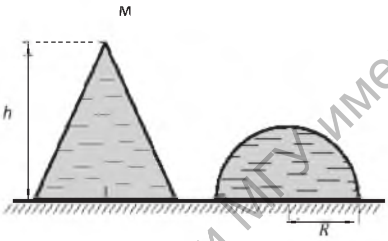


Рис. 39 Сосуды с водой

Примечание. Объем первого сосуда определяется по формуле $V_к = \frac{1}{3}hS$, объем шара – $V_ш = \frac{4}{3}\pi R^3$, площадь круга – $S_к = \pi R^2$, где h – высота сосуда; S – площадь его основания; R – радиус круга или шара; π – постоянный коэффициент.

Районный (городской) этап

Проводится в два тура: теоретический и экспериментальный. На теоретическом туре учащимся предлагается решить, как правило, пять физических задач четвертого и пятого уровней сложности.

Экспериментальный тур включает две-три экспериментальные задачи.

Приведем пример структуры и содержания задач для проведения этого этапа олимпиады. [26]

Теоретический тур

Задача 1. Брусок толщиной $h = 5$ см плавает на поверхности воды, погрузившись в нее на глубину $h_1 = 3{,}5$ см. Поверх воды наливают слой керосина толщиной $h_2 = 2$ см. Какой будет высота выступающей в воздух части бруска? Плотность керосина $\rho_2 = 0{,}8\ \frac{г}{см^3}$, плотность воды $\rho_1 = 1\ \frac{г}{см^3}$.

Задача 2. Учащийся, выполняя лабораторную работу, в один из калориметров налил m = 100 г воды комнатной температуры и вставил в него очень точный термометр, который показал значение температуры $t_к$ = 20,3 ^{0}С. Во второй калориметр он налил m = 100 г кипящей воды. Затем он достал из первого калориметра термометр и поместил его во второй. Термометр дал показания t_1 = 99,2 ^{0}С. Удивившись, учащийся опять поместил термометр в первый калориметр. Что показал термометр в этом случае? (Атмосферное давление нормальное, теплоемкости калориметров пренебрежительно малы, потери теплоты отсутствуют.)

Задача 3. Для измерения сопротивления резистора R собирают схему из батарейки, амперметра и вольтметра. Вольтметр подключен параллельно резистору и показывает U_1 = 1 В, амперметр подключен к ним последовательно и показывает I_1 = 1 А. После того как приборы в схеме поменяли местами, вольтметр стал показывать U_2 = 2 В, а амперметр I_2 = 0,5 А. Считать батарейку идеальной. Определите по этим данным сопротивления резистора, амперметра и вольтметра.

Задача 4. Поезд прошел за время t_1 = 9 с мимо встречной электрички, двигавшейся с такой же скоростью и имевшей в два раза большую длину. За какое время поезд пройдет мимо встречного пассажирского поезда, который в два раза длиннее электрички и едет в два раза быстрее?

Задача 5. Катер пересекает реку шириной h = 360 м, текущую со скоростью $\vartheta_1 = 2\ \frac{м}{с}$. Катер держит курс перпендикулярно течению. Двигатель обеспечивает постоянное ускорение $a = 0{,}1\ \frac{м}{с^2}$. Начальная скорость катера относительно воды равна нулю. Через какое время катер пересечет реку? На сколько он будет снесен течением? С какой скоростью подойдет катер к противоположному берегу и под каким к нему углом?

Экспериментальный тур

Задача 1. Определите удельную теплоту растворения поваренной соли.

Оборудование: соль в одноразовом стакане (пол стакана); ложка одноразовая чайная; калориметр; сосуд с теплой водой (40–30 градусов); термометр электронный; линейка 40 см (любая); грузик от 5 до 10 грамм; карандаш с гранями или ручка.

Примечание: при взвешивании можно использовать монетки (1 рубль – 5,6 г, 50 коп – 3,8 г).

Задача 2. Определить наиболее точно внутренний диаметр иглы шприца.

Оборудование: шприц одноразовый на 5 или 2 мл; линейка 40 см; штатив (для крепления линейки); миллиметровая бумага; сосуд с водой (достаточно 100 грамм воды); скотч и ножницы на класс; бумажные салфетки (10 штук на человека); секундомер.

Примечание: осторожно с иглой шприца – не уколоться и не сломать. Провести с участниками олимпиады инструктаж по технике безопасности.

Областной и заключительный этапы

Проводится в два тура: теоретический и экспериментальный. На теоретическом туре учащимся предлагается решить, как правило, три физические задачи. Причем первая из них несложная, название которой – разминка, а две другие многоуровневые.

Экспериментальный тур включает две экспериментальные многоуровневые задачи.

Приведем пример структуры и содержания задач для проведения этих этапов олимпиады. [26]

Задача 1. Двойная разминка

1.1 Длины ребер первого кубика в 2 раза больше длины ребер второго. При этом их массы равны. Чему равно отношение плотностей материалов кубиков?

1.2. Вода налита в цилиндрический сосуд. Как изменится давление воды на дно сосуда, если объем воды в сосуде увеличить в 2 раза?

1.3. Брусок в форме параллелепипеда лежит на столе. Во сколько раз изменится сила давления параллелепипеда на стол, если все его размеры увеличить в два раза (при сохранении его плотности)?

1.4. Сила сопротивления, действующая на горизонтально летящий самолет, пропорциональна скорости самолета. Во сколько раз увеличилась мощность двигателей самолета, если его скорость возросла в 2 раза?

1.5. Во сколько раз изменится мощность электроплитки, если увеличить напряжение источника в 2 раза?

1.6. Во сколько раз изменится электрическое сопротивление проволоки, если ее согнуть пополам и концы соединить?

1.7. Шарик бросают вверх с некоторой постоянной начальной скоростью. Как изменится высота подъема шарика, если ускорение свободного падения увеличится в два раза? Сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

Задача 2. Водяное отопление

Часто для обогрева помещений используют горячую воду. В данной задаче анализируются различные способы такого обогрева, если имеется ограниченная порция горячей воды.

Итак, необходимо обогреть комнату (например, парилку в бане), начальная температура которой $t_0 = 10°C$. Теплоемкость комнаты равна C_0 (это полная теплоемкость, т.е. сумма произведений удельных теплоемкостей на массы различных предметов в комнате, включая и воздух ($C_0 = cm$). Для нагревания используется горячая вода, температура которой равна $t_1 = 70°C$. Теплоемкость всей имеющейся воды равна $C = 2C_0$ (это тоже произведение удельной теплоемкости воды на ее массу).

Во всех пунктах данной задачи потерями теплоты в окружающую среду будем пренебрегать.

Сначала рассмотрим примитивный способ обогрева: горячую воду целиком приносим в комнату и ждем установления теплового равновесия.

2.1 Рассчитайте конечную температуру комнаты t при таком способе обогрева.

Оказывается, что имеется более эффективный способ нагрева. Разделим воду на N одинаковых частей. Затем занесем в комнату первую порцию воды, дождемся установления теплового равновесия (обозначим установившуюся температуру в комнате после первой порции воды x_1), затем вынесем первую порцию воды и внесем вторую порцию воды (после нее температура в комнате x_2), и так до последней порции (температура в комнате x_N). Конечная температура воды $x_N = t$.

2.2 Получите формулу, позволяющую рассчитать температуру после k-той порции x_k через предыдущее значение x_{k-1} и другие известные по условию величины.

2.3. Рассчитайте значения конечной температуры в комнате при делении воды на 2 и 3 равные порции.

2.4. Получите общую формулу для конечной температуры в комнате при делении воды на N равных частей. В эту формулу должны входить только заданные в условии величины.

Подсказка: Рассмотрите величины $\Delta x_k = x_k - t$ – разность между температурой в комнате и температурой горячей воды.

2.5. Численно оцените, до какой максимальной температуры можно нагреть комнату таким способом.

Задача 3. Просто кинематика

Часть 1. Известна зависимость скорости от времени

Две частицы начинают одновременно двигаться из начала координат вдоль оси Ox. Зависимости скоростей (точнее, проекций скоростей на ось Ox) частиц от времени показаны на рисунке 40.

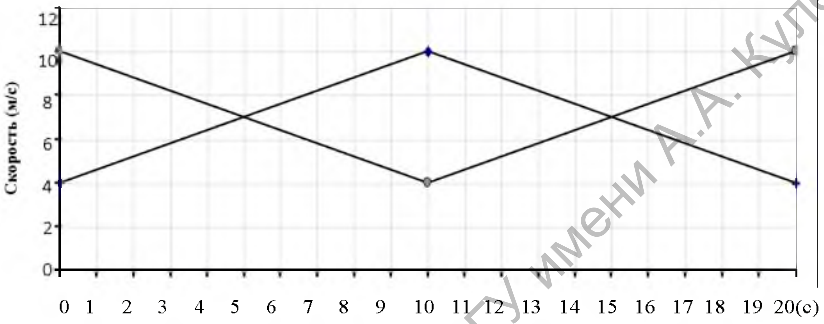


Рис. 40. Зависимости скоростей частиц от времени

Первая частица начинает двигаться с отрицательным ускорением, а затем с положительным. Вторая – наоборот, сначала с положительным ускорением, а затем с отрицательным.

3.1 Укажите, в какие моменты времени расстояние меду частицами максимально.

3.2 Укажите, в какие моменты времени координаты частиц равны.

3.3 Постройте на бланке листа ответов зависимости разности координат частиц $(x_1 - x_2)$ от времени. Приведите формулы, описывающие эту зависимость.

Часть 2. Известна зависимость скорости от координаты.

Частицы движутся вдоль оси x. Каждая частица начинает движение из начала координат. Первая начинает движение в момент времени $t = 0$, вторая стартует через время $\tau = 10$ с.

На рисунке 41 показан график зависимости скорости частиц от координаты (эти зависимости одинаковы для обеих частиц).

3.4 Получите формулу, описывающую зависимость расстояния между частицами от времени, отсчитываемого от старта второй частицы.

3.5 Чему будет равно расстояние между частицами через 40 с после старта второй частицы?

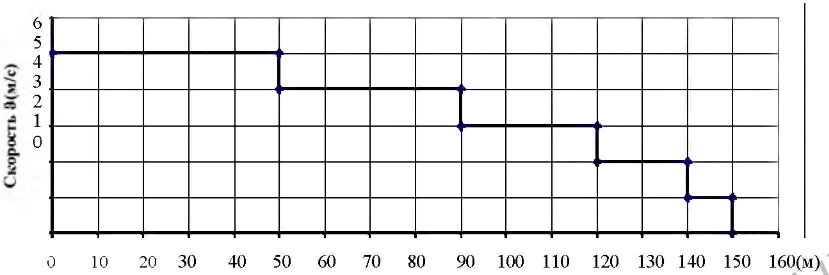


Рис. 41. Зависимости скоростей частиц от ее координаты

Экспериментальный тур

Задача 1. Архимед и объем шарового сегмента

Знаменитый древнегреческий ученый Архимед прославился не только законом о выталкивающей силе, но и многочисленными достижениями в математике. Например, он доказал, что площадь боковой поверхности цилиндра равна площади поверхности сферы, вписанной в этот цилиндр.

В данном задании Вам предстоит экспериментально повторить некоторые открытия Архимеда.

Приборы и оборудование: динамометр, мензурка, мерный стакан, цилиндр алюминиевый, шар новогодний, шприц, нить, вода.

Подсказка: Закон Архимеда формулируется так: на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, равная $F = \rho g V$, где ρ – плотность жидкости, g – ускорение свободного падения, V – объем погруженной части тела.

Часть 1. Проверка закона Архимеда

Прикрепите цилиндр к динамометру с помощью нити. Частично опуская цилиндр в мензурку с водой (рис. 42), можно измерять как объем погруженной части, так и силу, с которой цилиндр действует на динамометр (далее эту силу будем называть *показания динамометра).*

1.1.1 Измерьте зависимость показаний динамометра F от объема погруженной части цилиндра V. Постройте график полученной зависимости $F(V)$.

1.1.2 Получите теоретическую формулу, описывающую зависимость $F(V)$.

1.1.3. Подтверждают ли полученные экспериментальные данные закон Архимеда? Ответ обоснуйте.

1.1.4 Используя все экспериментальные данные, рассчитайте плотность воды. Оцените погрешность найденного значения.

Проведите аналогичные измерения для новогоднего шарика. Чтобы шарик тонул, заполните его водой с помощью шприца.

1.1.5 Измерьте зависимость показаний динамометра F от объема погруженной части шара V. Постройте график полученной зависимости $F(V)$.

1.1.6 Используя все экспериментальные данные, полученные в п. 1.5, рассчитайте плотность воды. Оцените погрешность найденного значения.

Часть 2. Объем шарового сегмента

Рис. 42 Схема опыта

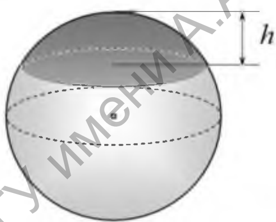


Рис. 43 Шаровой сегмент

Шаровым сегментом называется часть шара, отсекаемая от него плоскостью (рис. 43). Объем шарового сегмента рассчитывается по формуле $V = \pi R^3 (a\varepsilon^2 + b\varepsilon^2)$, где R – радиус шара, $\varepsilon = \dfrac{h}{R}$ – отношение высоты сегмента к радиусу шара, a и b – численные коэффициенты, которые вам необходимо определить на основе проведенных измерений.

Измерения предстоит проводить в мерном стакане. Шкала стакана слишком груба, чтобы получать надежные результаты. Поэтому прикрепите с помощью скотча полоску миллиметровой бумаги рядом со шкалой.

1.2.1 Измерьте показания высоты h по полоске миллиметровой бумаги (рекомендуем измерять в см, но с точностью до мм) от отметок шкалы стакана V (в мл). Постройте график зависимости $h(V)$.

1.2.2 Найдите по результатам измерений п.1.1 коэффициенты зависимости объема жидкости в стакане от высоты уровня жидкости по миллиметровой бумаге ($V = kh + c$).

Укажите размерности коэффициентов k и c. Укажите геометрический смысл коэффициента k.

1.2.3 Проведите измерения зависимости объема сегмента шара V от высоты этого сегмента h. Приведите рисунок, на котором укажите, какие величины вы измеряли, приведите формулы, по которым проведены расчеты. Постройте график зависимости $V(h)$.

1.2.4 Используя полученные экспериментальные данные, рассчитайте значения коэффициентов $a,\ b$ в формуле для расчета шарового сегмента. Кратко опишите, как вы получили значения этих коэффициентов.

Задача 2. Уравнение теплового баланса

Приборы и оборудование: термометр электронный, калориметр, мензурка, стаканы одноразовые, цилиндр металлический.

В данном задании вам необходимо экспериментально проверить справедливость уравнения теплового баланса и проанализировать возможные причины его кажущегося нарушения.

Расчет погрешности в данной задаче не требуется.

Часть 1. Смешение воды

Налейте в калориметр V_0 = 50 *мл* горячей воды, ее температура должна быть не менее 60 °С.

2.1.1 Измерьте температуру горячей воды $t_{гор.}$ в калориметре. Измерьте температуру холодной воды $t_{хол.}$

Небольшими порциями (примерно по 20 мл) добавляйте холодную воду в калориметр. После добавления каждой порции холодной воды, перемешивайте воду в калориметре, выждите 20-25 с, после чего проводите измерение температуры воды в калориметре.

2.1.2 Измерьте зависимость температуры воды в калориметре t от объема налитой в калориметр холодной воды V.

2.1.3 Постройте график полученной зависимости $t(V)$.

2.1.4 Получите теоретическую формулу, описывающую зависимость температуры воды в калориметре от объема налитой холодной воды. Укажите, какие приближения Вы использовали при выводе этой формулы.

2.1.5 На бланке с экспериментальной зависимостью $t(V)$ постройте график теоретической зависимости. Укажите возможные причины, объясняющие отклонения экспериментальных данных от теоретических значений. Укажите, в каких диапазон температур, какая из причин является преобладающей.

2.1.6 Проведите линеаризацию полученной зависимости, т.е. предложите такую функцию от температуры смеси $f(t)$ (она может включать и другие известные параметры), чтобы она была пропорциональна отношению объема налитой холодной воды к начальному объему горячей воды $f(t) = \mathrm{A}\frac{V}{V_0}$. Рассчитайте теоретическое значение коэффициента пропорциональности $A_{теор}$ в этой формуле.

2.1.7 На основании экспериментальных данных постройте график зависимости введенной вами функции $t\ (V)$ от $\frac{V}{V_0}$ отношения. Найдите коэффициент наклона полученной экспериментальной зависимости $A_{экспер}$.

2.1.8 Укажите основную причину различия экспериментального и теоретического значений коэффициентов $\mathrm{A}_{эксп.}$ и $\mathrm{A}_{теор.}$.

Часть 2. Теплообмен с металлическим цилиндром.

Повторите измерения Части 1, если в калориметр помещен металлический цилиндр. Поместите в калориметр металлический цилиндр, добавьте в калориметр 50 мл горячей воды.

2.2.1 Измерьте температуру горячей воды $t_{гор.}$ в калориметре. Измерьте температуру холодной воды $t_{хол.}$

Небольшими порциями (примерно по 20 мл) добавляйте холодную воду в калориметр. После добавления каждой порции холодной воды перемешивайте воду в калориметре, выждите 20-25 с, после чего проводите измерение температуры воды в калориметре.

2.2.2 Измерьте зависимость температуры воды в калориметре t от объема налитой в калориметр холодной воды V.

2.2.3 На основании экспериментальных данных постройте график зависимости введенной вами функции $t\ (V)$ от отношения $\frac{V}{V_0}$. Найдите коэффициент наклона полученной экспериментальной зависимости $\mathrm{A}_{эксп}$.

2.2.4 Выразите теоретическое значение коэффициента наклона зависимости $t\ (V)$ через теплоемкости воды и цилиндра.

2.2.5 Можно ли по найденному экспериментальному значению коэффициента наклона найти теплоемкость цилиндра?

1.7 Тестовые задачи

В текстологии (науке о тестах) рассматриваются различные виды тестов. При проведении централизованного тестирования (ЦТ) и централизованного экзамена (ЦЭ) по физике широкое применение нашли тестовые задачи. *Под тестовой задачей* понимают физическую учебную проблемную ситуацию, решение которой требует от учащихся применения усвоенных мыслительных и практических действий на основе использования законов и методов физики со стандартизированной формой ввода ответа.

Основными формами тестовых задач являются:

✓ тестовые задачи закрытого типа, предполагающие выбор одного или нескольких правильных ответов из множества предложенных;

✓ тестовые задачи открытого типа, где ответы в численном виде дают сами испытуемые;

✓ задачи на восстановление соответствия. Это задания, в которых необходимо восстановить соответствие между элементами нескольких списков. Классической формой записи ответов является запись сочетаний цифр и букв, под которыми значатся элементы списков [25].

Приведем примеры тестовых задач.

Тестовые задачи закрытого типа.

• На подставке лежит груз массой $m = 0{,}2$ кг, прикрепленный легкой пружиной к потолку. В начальный момент пружина не растянута, а подставку начинают опускать с ускорением $a = 0{,}5g$. Через какое время t груз оторвется от подставки, если коэффициент жесткости пружины $k = 10\ \frac{\text{Н}}{\text{м}}$?

1) 0,1 с 2) 0,2 с 3) 0,3 с 4) 0,5 с 5) 0,6 с

• Два баллона емкостью $V_1 = 4$ л и $V_2 = 6$ л соединены трубкой с краном. В первом баллоне находится газ под давлением $p_1 = 300$ kПа, а во втором под давлением $p_2 = 600$ kПа. Какое давление устанавливается в баллонах при открытом кране?

1) 240 kПа 2) 300 kПа 3) 360 kПа 4) 480 kПа 5) 560 kПа

• Пройдя ускоряющую разность потенциалов $\Delta\varphi = 3{,}52$ kВ, электрон попадает в магнитное поле с индукцией В = 0,01 Тл перпендикулярно силовым линиям. Окружность какого радиуса он описывает?

1) 2 см 2) 3 см 3) 6 см 4) 8 см 5) 10 см

• Проволочное кольцо радиусом r = 0,1 м лежит на столе. Какой заряд q пройдет по кольцу, если его расположить перпендикулярно поверхности стола? Вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли В = 0,05 мТл, сопротивление кольца R = 3,14 Ом.

1) 0,3 мкКл; 2) 0,5 мкКл; 3) 0,5 мКл; 4) 1 мКл; 5) 2 мКл.

• Высота Солнца над горизонтом составляет $\varphi = 50^\circ$. Под каким углом α к горизонту следует расположить зеркало, чтобы осветить «зайчиком» дно глубокого колодца?

1) 30° 2) 45° 3) 60° 4) 70° 5) 85°

Тестовые задачи открытого типа.

✓ В горизонтальное магнитное поле с индукцией B = 50 мТл поместили перпендикулярно силовым линиям проводник массой m = 10 г. Если по проводнику пропускают электрический ток силой I = 10А и он находится в равновесии, то длина проводника l равна ……..см.

✓ Электроплитка имеет две спирали из проволоки длиной L и 0,5L. При подключении к сети спирали длиной L выделяется тепловая мощность P_1 = 100 Вт. Если подключить к той же сети две спирали, соединенные параллельно, то плиткой выделяется тепловая мощность P_2, равная …….Вт.

✓ В герметичном сосуде находится $\nu = \frac{2}{3}$ моля идеального одноатомного газа при температуре T_1 = 300 К. Для увеличения температуры газа до T_2 = 400 К ему необходимо передать количество теплоты равное ………Дж.

✓ Если шарик массой m = 50 г и зарядом q, подвешенный на непроводящей нити длиной l = 1,0 м, вращается вокруг вертикальной оси, образуя с вертикалью угол α, а неподвешенный точечный заряд q находится в точке подвеса и при этом циклическая частота вращения шарика ω = 4,47 c, то величина угла α равна ……… градусов.

✓ *К* источнику тока с ЭДС ξ = 4В и внутренним сопротивлением r = 1 Ом подключена катушка с нихромовой проволоки с удельным сопротивлением $\rho = 110 \cdot 10^{-8}$ Ом ·м. Если площадь поперечного сечения проволокой S = 1,1 мм² и сила тока в цепи I = 2А, то длина проволоки равна …….м.

Задачи на восстановление соответствия

✓ Установите соответствие между физической величиной, ее обозначением и единицей ее измерения (таблица 8):

Таблица 8. Характеристики физических величин

Физическая величина	Обозначение	Единица измерения
А) Количество вещества	1) M	k) Дж
Б) Внутренняя энергия	2) Q	m) Дж/моль
	3) ν	n) моль

✓ Тележка движется по окружности против часовой стрелки с постоянной угловой скоростью ω (рис. 44). Установите соответствие между линейной скоростью, направлением и ускорением ее движения.

Физическая величина	Направление
А) Линейная скорость движения тележки Б) Ускорение тележки	1 – Стрелка 1 2 – Стрелка 2 3 – Стрелка 3 4 – Стрелка 4

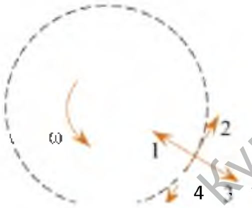


Рис. 44 Траектория движения

✓ Луч света переходит из воды в воздух. Установите соответствие между физическими величинами и их возможными изменениями при этом.

Физические величины	Изменения
А. Скорость распространения световой волны	1) уменьшится
Б. Частота световой волны	2) увеличится
В. Длина световой волны	3) не изменится

✓ Установите соответствие между физическими величинами, их обозначением и учеными-физиками, в честь которых названы единицы этих величин (таблица 9).

Таблица 9. Характеристики физических величин

Физическая величина	Обозначение	Ученый-физик
А. Магнитный поток Б. Сила В. Электрическое сопротивление	1) F 2) R 3) Ф 4) M	k) Ом l) Ньютон m) Вебер n) Ампер

✓ Установите соответствие между физической величиной, единицей и прибором для ее измерения (таблица 10).

Таблица 10. Характеристики физических величин

Физическая величина	Единица измерения	Физический прибор
А. Сила тока	1) В	k) Вольтметр
Б. Электрическое напряжение	2) Па	*l*) Амперметр
В. Атмосферное давление	3) Ом	m) Омметр
	4) А	n) Барометр

1.8 Двухэтапные тестовые задачи [14, 17]

Применяемые виды тестовых задач наиболее отвечают специфике содержания учебных знаний по физике. Однако при этом до настоящего времени остаются неиспользованными их дидактические возможности в плане повышения надежности и в общей конструкции педагогического теста.

Уменьшить вероятность угадывания правильных ответов в тестовых заданиях закрытого типа можно частично заменив стандартные тестовые задачи закрытого типа с выборочным ответом на двухэтапные.

Под *двухэтапной тестовой задачей* понимают физическую задачу, которая включает два взаимосвязанных требования и решение которой оценивается по двум этапам его выполнения учащимися.

Приведем примеры таких задач по механике.

1. Автомобиль, двигаясь равномерно со скоростью $\vartheta_1 = 54\ \frac{км}{ч}$, в течении времени $t_1 = 10$ с проехал такой же путь, как и автобус, двигающийся в том же направлении, за $t_2 = 15$ с.

1.1. Скорость автобуса ϑ_2 относительно Земли равна ... $\frac{км}{ч}$.

А) 15; Б) 20; В) 25; Г) 30; Д) 36.

1.2. Скорость автомобиля относительно автобуса $\vartheta_{1,2}$ равна ... $\frac{км}{ч}$.

1) 10; 2) 18; 3) 20; 4) 25; 5) 30.

2. Металлический маленький шарик из состояния покоя свободно падает с высоты $h = 80$ м.

2.1. Время свободного падения шарика t равно ... с.

А) 2; Б) 3; В) 3,5; Г) 4; Д) 5.

2.2. Модуль перемещения шарика за последнюю секунду падения Δr равен ... м.

1) 10; 2) 15; 3) 20; 4) 30; 5) 35.

3. Камень брошен с обрыва со скоростью $\vartheta_0 = 20\ \frac{м}{с}$ под углом $\alpha = 30°$ к горизонту. Если высота обрыва $h = 15$ м, то:

3.1. Время полета камня с обрыва до земли t равно ... с.

А) 1; Б) 2; В) 3; Г) 4; Д) 5.

3.2. Расстояние от основания обрыва до точки падения камня равно ... м.

1) 46; 2) 48; 3) 50; 4) 52; 5) 54.

4. В пружине длиной $L_0 = 5$ см, растянутой до длины $L = 8$ см, возникает сила упругости $F_у = 30$ Н.

4.1. Коэффициент жесткости пружины k равен ... $\frac{Н}{м}$.

А) 500; Б) 600; В) 700; Г) 800; Д) 1000.

4.2. Работа силы упругости при растяжении пружины на $\Delta L = 4$ см равна ... Дж.

1) 0,6; 2) 0,8; 3) 1; 4) 1,2; 5) 1,4.

5. Автомобиль движется по горизонтальной дороге. Спустя $t = 4$ с после выключения двигателя скорость автомобиля уменьшается вдвое. Если коэффициент сопротивления качению колес автомобиля $\mu = 0{,}2$, то:

5.1. Начальная скорость автомобиля ϑ_0 равна ... $\frac{м}{с}$.

А) 14; Б) 16; В) 18; Г) 20; Д) 22.

5.2. До остановки автомобиль пройдет путь s, равный ... м.

1) 42; 2) 45; 3) 48; 4) 52; 5) 64.

К преимуществам таких тестовых задач кроме уменьшения вероятности угадывания учащимися ответа можно отнести:

- уменьшение количества случайных ошибок по сравнению с вводом свободно конструируемых ответов;
- возможность для учащихся проводить самооценку успешности решения тестовых задач;
- наличие некоторой подсказки учащимся об идее решения задачи;
- возможность более объективной оценки знаний и умений учащихся по физике.

1.9 Физические задачи как средство организации познавательной деятельности учащихся [12]

Рассмотренное разнообразие физических задач и их отличительных особенностей позволяет определить их место в системе учебной познавательной деятельности учащихся.

Деятельностью называют динамическую систему взаимодействия субъекта с окружающим его миром. В процессе этого взаимодействия происходит возникновение психического образа и его воплощение в объекте, а также реализация субъектом своих отношений с окружающей реальностью.

Любой простейший акт деятельности является формой проявления активности субъекта, а это означает, что любая деятельность имеет побудительные причины и направлена на достижение определенных результатов.

Учебная деятельность – специфический вид деятельности, направленный на самого обучающегося как ее субъекта – совершенствование, развитие, формирование его как личности, благодаря осознанному, целенаправленному присвоению им общественного опыта.

Учебную познавательную деятельность, как и любую другую деятельность человека, можно описать следующей обобщенной схемой, приведенной на рисунке 45.

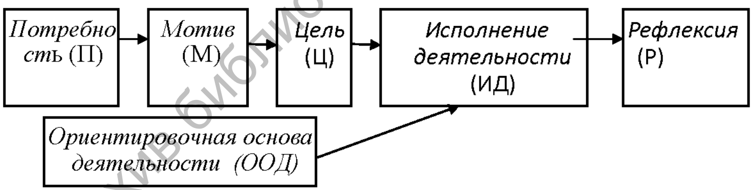


Рис. 45 Обобщенная схема деятельности человека

Основным понятием всех теорий учебной деятельности является *усвоение*, вне зависимости от того, выделяется оно как самостоятельный процесс или отождествляется с учением. Усвоение, представляя собой сложное, многозначное понятие, может трактоваться с точки зрения разных подходов как:

✓ Механизм, путь формирования человеком индивидуального опыта через приобретение социокультурного общественно-исторического опыта как совокупности знаний, обобщенных способов действий (умений и навыков), нравственных норм, этических правил поведения. Такое усвоение осуществляется на протяжении всей жизни человека в результате наблюдения, обобщения, принятия решений и собственных действий независимо от того, как оно протекает – стихийно или в специальных образовательных заведениях.

- ✓ Сложная интеллектуальная деятельность человека, включающая все познавательные процессы, обеспечивающие прием, смысловую обработку, сохранение и воспроизведение предметных знаний.
- ✓ Результат учения, учебной деятельности.

В самом общем виде усвоение определяют как процесс приема, смысловой переработки, сохранения усвоенных знаний и применения их в новых ситуациях решения практических и теоретических задач.

Структурность усвоения отмечается всеми исследователями этого процесса, хотя сами компоненты называются по-разному. К понятию психологических компонентов усвоения относят:

- ✓ положительное отношение учащихся к усвоению;
- ✓ процесс непосредственного чувственного ознакомления с содержанием обучения;
- ✓ мышление как процесс активной переработки полученной информации;
- ✓ процесс запоминания и сохранения полученной и обработанной информации.

Эти психологические компоненты усвоения могут быть представлены определенными состояниями учащихся, которыми эти компоненты выражаются. Так, первый компонент усвоения – положительное отношение учащихся – выражается в их интересе и внимании.

Чувственное ознакомление с содержанием обучения реализуется через наглядность самого содержания обучения и воспитание наблюдательности у обучаемых. При этом необходима связь предметной, изобразительной (включая символическую) и словесной наглядности.

Процесс мышления как третий компонент усвоения рассматривается в терминах осмысливания и понимания всех связей и отношений. В процессе мышления происходит включение новых знаний в уже имеющуюся в опыте учащегося систему.

Четвертый компонент усвоения связан с процессами запоминания и сохранения учебных знаний в памяти. Наибольшая эффективность этих процессов определяется конкретностью установки на условия запоминания (время, цель, характер использования в практике и т. д.) и включенностью обучающегося в активную собственную деятельность.

Процесс усвоения знаний и способов деятельности, согласно С. Л.

Рубинштейну, включает следующие стадии: первичное ознакомление с содержанием обучения, или его восприятие в широком смысле слова, его осмысление, специальная работа по его запоминанию и, наконец, овладение знаниями – в смысле возможности оперировать им в различных условиях, применяя их на практике. Каждая из них определяет конечный эффект усвоения. Рассмотрим их психологическую характеристику.

Восприятие – процесс отражения в сознании человека предметов или явлений при их непосредственном воздействии на органы чувств. В восприятие входят не только данные непосредственных ощущений учащихся, но и данные его прежнего опыта. Восприятие, в отличие от ощущений, в которых отражаются лишь отдельные свойства раздражителя, отражает предмет в целом, в совокупности его свойств, предполагает узнавание предметов и явлений, отнесение их к определенным группам, известным ученику по его прежнему опыту.

В процессе усвоения происходит восприятие не только предметной наглядности, но и знаковых ее форм, а также словесной информации преподавателя. Современный подход к процессу усвоения предполагает не пассивное, а активное самостоятельное восприятие учебной информации и жизненной реальности. Задача педагога состоит в том, чтобы подключить к восприятию как можно более широкий спектр чувств учащихся, полнее опереться на их жизненный опыт, сочетать предметную и знаковую наглядность.

При организации восприятия как целенаправленной деятельности необходимо исходить из того, что наибольшей пропускной способностью обладает зрительный анализатор. Однако в обучении пропускную способность регулирует не сам анализатор, а мозг, поэтому, как установлено в экспериментах и подтверждено опытным путем, на одну единицу информации, подлежащей усвоению, необходимо давать две единицы пояснений, т. е. дополнительной информации.

Осмысление усваиваемой информации осуществляется через установление первичных, в значительной мере обобщенных связей и отношений между предметами, явлениями и процессами, выявление их состава, назначения, причин и источников функционирования. В основе понимания лежит установление связей между новыми знаниями и ранее изученными, что, в свою очередь, является основанием для более глубокого и разностороннего осмысления учебных знаний.

Осмысление изучаемой информации характеризуется протеканием процессов сравнения, анализа связей между изучаемыми явлениями, вскрытия разносторонних причинно-следственных зависимостей. В ходе осмысления значительно обогащается понимание изучаемого, оно становится более содержательным. На этом этапе появляется определенное отношение к изучаемому, зарождаются убеждения, крепнут умения доказывать справедливость определенных выводов.

Изучаемые предметные знания нужно не только понимать, но и сохранять их в памяти и уметь свободно и логично воспроизводить. *Запоминание* учебных знаний должно базироваться на глубоком и всестороннем понимании усваиваемых знаний и способствовать умственному развитию учащихся. Лучшим средством запоминания является активное воспроизведение изучаемого, но не механическое заучивание.

В ходе усвоения ценность, прочность и действенность знаний проверяется практикой. В основе *применения знаний на практике* лежит процесс обратного восхождения от абстрактного к конкретному, т. е. конкретизация. Конкретизация как мыслительная операция выражается в умении применять абстрактные знания к решению конкретных практических задач, к частным случаям учебно-познавательной деятельности. В учебной практике конкретизация начинается с умения привести свой пример.

Важно обеспечить не только прочность, высокий уровень и осознанность, но и действенность знаний, т. е. умение применять их на практике в учебе и жизни. Вот почему в акте усвоения обязательно должен присутствовать элемент применения. Применение знаний осуществляется в самых разнообразных видах и во многом зависит от специфики содержания обучения.

Особенно глубоким по своему воздействию является применение изучаемых вопросов в решении физических задач. Применение знаний способствует более свободному овладению ими, усиливает мотивацию учения, раскрывая практическую значимость изучаемых вопросов, делает знания более прочными, жизненными и реально осмысленными.

Осмысление непосредственно перерастает в процесс *обобщения* знаний, в ходе которого выделяются и объединяются общие существенные черты предметов и явлений действительности, изучаемых в соответствующий период обучения. Именно в выделении главного, существенного в учебной информации особенно ярко проявляет себя обобщение. Но чтобы осуществить выделение главного, надо анализировать факты и свойства, синтезировать их определенным образом, абстрагироваться от деталей и конкретностей, сравнивать их значимость и делать обоснованный вывод о том, какие из них наиболее существенны. При обучении все это проявляется в движении мысли учащегося к усвоению смысла и определению понятия, к составлению плана, выводов, резюме, к осуществлению классифицирующих и систематизирующих схем, таблиц.

Обобщение характеризуется выделением и *систематизацией* общих существенных признаков предметов и явлений. Это более высокая по сравнению с осмыслением ступень абстрагирования от конкретного, момент перехода от уяснения смысла к определению понятия. Оперирование научными понятиями на этапе обобщения знаний приводит к установлению связей между ними, к формированию суждений.

Все описанные элементы усвоения существуют не изолированно. Так, уже сам процесс восприятия включает некоторые начальные элементы осмысления. Но при этом восприятие доминирует на данном этапе усвоения. Важно заметить, что в каждом элементе усвоения проявляются предшествующие элементы этого процесса, так как при осмыслении учащийся воспринимает некоторые дополнительные свойства объектов.

Последовательность этапов усвоения нельзя представить себе раз и навсегда предопределенной. Возможны случаи, когда усвоение учебных знаний начинается с решения проблемной жизненной задачи, которая ведет учащихся от жизненного применения к его теоретическому объяснению, пониманию и осмыслению.

Вместе с тем, каждый из этих элементов имеет свои особенности, свою относительную самостоятельность. Все это придает устойчивость структуре учебного познания в целом.

Познавательная деятельность учащихся в структуре образования довольно специфична. Она определяется и особенностями преподавания, и спецификой предмета познавательной деятельности – научного знания. А научное знание имеет две стороны: *логико-операционную (процедурно-операционную) и содержательную.*

Логико-операционную сторону знания составляют слова, знаки, символы, их структурные связи.

Содержание знаний – содержание структурных элементов физических знаний. Учащиеся воспринимают это содержание, осмысливают его, перерабатывают, применяют на практике.

В ходе познавательной деятельности учащиеся усваивают не только содержание научного знания, но и форму, в которую это знание облачено как неразрывное целое: слова, знаки, символы и логические связи между ними.

Исходя из структуры деятельности человека и процесса усвоения учебной информации можно представить учебное познание обобщенной схемой, приведенной на рисунке 46.

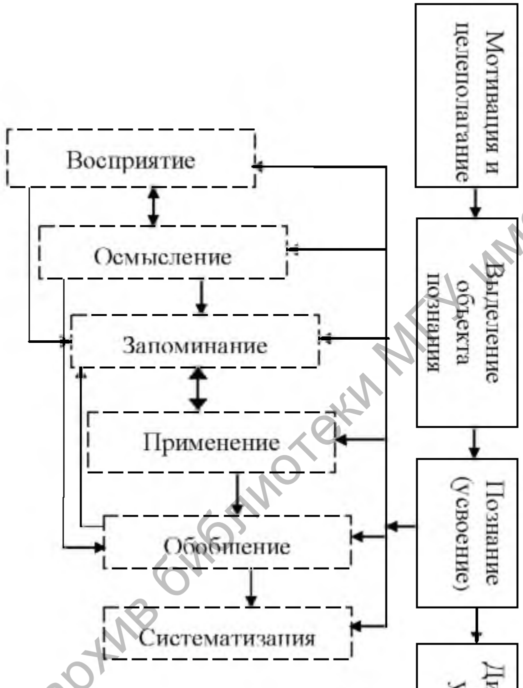


Рис. 46 Обобщенная схема учебного познания

Выделенные и рассмотренные виды физических задач могут применяться на разных этапах учебной познавательной деятельности учащихся. Представим приоритетное их применение в виде таблицы (таблица 11).

Таблица 11 Применение физических задач на разных этапах учебного познания

Этапы познания	Мотивация	Выделение объекта познания	Познание				Диагностика усвоения
			Осмысление	Запоминание	Применение	Обобщение	
Физические задачи	С практикоориентированным содержанием	С историческим содержанием	Качественные	Задачи-рисунки	Экспериментальные	С межпредметным содержанием	Тестовые. Двухэтапные. Многоуровневые
		Задачи-рисунки	Графические	Тестовые на установление соответствия	Творческие. Абстрактные. Многоуровневые	С техническим содержанием	Олимпиадные

2. Общелогические методы решения физических задач

2.1 О содержании понятия «метод»

В содержание определенной деятельности человека включаются и методы ее выполнения. Это в полной мере касается и такой сложной мыслительной деятельности учащихся, как решение физических задач.

В научно-методической и учебно-методической литературе [1, 3, 10, 22, 32] приводятся различные методы решения физических задач, но при этом не описывается содержание понятия «метод решения задач по физике», и, как указывает А. В. Усова, в литературе и на практике нет четкого разделения понятий «метод» и «способ решения физических задач», при этом одно понятие подменяется другим [30, с. 37].

Определимся вначале в содержании понятий «метод» и «способ решения физических задач». Метод (от греч. *methodos* – путь, способ исследования, обучения, изложения) определяется как:

- способ достижения какой-либо цели: совокупность приемов и операций познания и практической деятельности; способ достижения определенных результатов в познании и практике (*психологический словарь*);
- способ познания, подход к изучению явлений природы и общественной жизни; прием или система приемов, совокупность определенных операций над материалом, нацеленных на решение определенной, ясно очерченной задачи (*большой современный толковый словарь русского языка*);
- способ, порядок, основания; принятый путь для хода, достижения чего-либо, в виде общих правил (*словарь Даля*);
- путь, способ, прием теоретического исследования или практического осуществления чего-нибудь (*толковый словарь русского языка Ушакова*);
- способ познания, подход к изучению явлений природы и общественной жизни; система приемов в какой-либо области деятельности (*толковый словарь Ефремовой*);
- способ действовать, поступать каким-нибудь образом, прием воздействия, внушения; способ теоретического исследования или практического осуществления чего-нибудь (*словарь русского языка*

Ожегова).

Из анализа описаний содержания понятия «метод» следует, что:

- ✓ это понятие в основном определяется через понятие «способ»;
- ✓ второй важной компонентой описания содержания является понятие «путь».

Это может свидетельствовать о том, что эти понятия близки по содержанию или содержание понятия «способ деятельности» шире, чем содержание понятия «метод». Получается, что метод - это частное проявление, разновидность более общего понятия - способа как системы действий, применяемых для достижения какой-либо цели.

Содержание понятия «способ деятельности» в приведенных словарях трактуется как:

- ✓ конкретный путь достижения цели деятельности. Способ деятельности определяется условиями, в которых она протекает (*энциклопедический словарь по психологии и педагогике*);
- ✓ действие или система действий, применяемые при исполнении какой-нибудь работы, при осуществлении чего-нибудь (*словарь русского языка Ожегова*);
- ✓ образ действий, прием, метод для осуществления, достижения чего-либо; возможность, средство, реальные условия для осуществления чего-либо (*толковый словарь Ефремовой*);
- ✓ тот или иной порядок, образ действий, метод в исполнении какой-нибудь работы, в достижении какой-нибудь цели (*толковый словарь русского языка Ушакова*).

Способ деятельности можно определить как категорию, выражающую ту комбинацию реальных составляющих деятельности, благодаря которой достигается запланированный результат. Таким образом рассматриваемые понятия можно охарактеризовать как:

- метод – алгоритм для решения задачи, достижения цели;
- способ – непосредственные действия по выполнению данного алгоритма, то есть для достижения цели.

Понятия «метод» и «способ» близки по смыслу, имеют небольшие различия по содержанию, и их очень часто используют как синонимы.Так, в математике метод рассматривают синонимом способа, алгоритма решения задачи, достижения цели. В информатике метод – единый обобщенный способ решения задач определенного класса.

Поэтому и в теории решения физических задач, исходя из цели и содержания этого вида познавательной деятельности учащихся, имеет смысл придерживаться такой же позиции.

Тогда под *методом решения физических задач будем понимать последовательность выполнения действий или мыслительных операций, направленных на достижение цели (требования), заданной в рамках проблемной физической ситуации – задачи.*

Разнообразные методы и приемы исследовательской деятельности в теории познания образуют следующие группы методов:

1. Общелогические (общие принципы научного мышления: анализ, синтез, индукция, дедукция, абстрагирование, умозаключение и т.д.).

2. Методы исследования, используемые только в научном познании:

- методы построения эмпирического знания (наблюдение, эксперимент, измерение);
- методы построения теоретического знания (идеализация, аналогия, формализация, выдвижение гипотез, моделирование, мысленный эксперимент).

3. Сугубо специальные методы и приемы, процедуры экспериментального характера, непосредственно связанные с сущностью явления и применяемые в узкой области или науке [21].

Такой подход к выделению методов познания целесообразно применить и к классификации методов решения физических задач. При этом к общелогическим методам следует отнести аналитический и синтетический методы.

Ко второй группе методов нужно отнести методы, определяемые применяемым математическим аппаратом (общематематические). Тогда третью группу методов должны составлять специальные методы, которые базируются на физических принципах и подходах к изучению окружающей действительности.

Рассмотрим примеры методов решения физических задач, отнесенные к каждой из перечисленных групп, и их краткую аннотацию в форме таблицы (таблица 12).

Таблица 12 Методы решения физических задач

№ п/п	Метод	Краткая аннотация
1	*Общелогические методы*	
1.1	Аналитический	Заключается в разделении задачи на ряд более простых. Начинается решение с поиска формулы, устанавливающей взаимосвязь искомой величины с другими величинами. Если она содержит, кроме искомой еще неизвестные величины, то находят другие закономерности, устанавливающие взаимосвязь «новых неизвестных» величин с величинами, значения которых известны по условию задачи. Так поступают до тех пор, пока искомая величина не будет полностью выражаться через известные.
1.2	Синтетический	Предусматривает выяснение отношений между физическими величинами данных в условии с другими величинами до тех пор, пока в полученное уравнение в качестве неизвестного войдет искомая величина.
2	*Общематематические методы*	
2.1	Арифметический	Предполагает применение математических действий или тождественных преобразований над числами или буквенными выражениями без составления уравнений. При этом методе над физическими величинами производят только арифметические действия.
2.2	Алгебраический	Основан на использовании физических формул для составления уравнений, из которых определяется искомая физическая величина. При этом вводятся переменные и составляются соответствующие уравнения или неравенства (системы уравнений или неравенств).
2.3	Геометрический	Заключается в применении при решении физических задач геометрических и тригонометрических свойств фигур. При этом его реализация не сводится к построению чертежей и схем, сопровождающих анализ всех задач, допускающих графическое изображение.

Продолжение таблицы 12

2.4	Векторно-координатный	Состоит в описании движения материальной точки (тела) в некоторой декартовой системе координат, которая связана с телом отсчета. Применяются уравнения движения, скорости, второй закон Ньютона, условие равновесия тела, не имеющего оси вращения, закон сохранения импульса и другие векторные равенства, записанные в проекции на выбранные оси координат.
2.5	Графический	Представляет собой метод решения задачи с помощью графиков в прямоугольной системе координат. При этом строится график зависимости двух физических величин, произведение которых дает значение другой искомой величины. Поэтому значение этой величины будет равно площади фигуры, лежащей под графиком.
2.6	Метод дифференцирования и интегрирования	Основан на применении к исследованию функциональных зависимостей между физическими величинами производной (определение наименьшего или наибольшего значения той или иной физической величины) и дифференциала. Многие физические законы являются дифференциальными уравнениями, относительно некоторых функций, которые характеризуют эти процессы. Дифференциальные уравнения являются одним из основных средств для математического решения физических задач.
2.7	Метод математической индукции	Успешно применяется в экспериментальной физике. Обобщается достаточно большое количество опытных данных и формулируются научные выводы и утверждения (базис индукции или неполная индукция). Чтобы доказать справедливость полученных утверждений на основе неполной индукции, следует исследовать их с позиции математической индукции.

Продолжение таблицы 12

3	*Специальные методы*	
3.1	Метод решения задач с переходом в систему отсчета, связанную с одним из движущихся тел	Переход в систему отсчета, связанную с одним из движущихся тел, заключается в том, что это тело в его системе отсчета становится неподвижным, а скорость и ускорение других тел относительно данного тела определяются исходя из закона сложения скоростей и ускорений: $\vec{\vartheta}_{21} = \vec{\vartheta}_2 - \vec{\vartheta}_1$; $\vec{a}_{21} = \vec{a}_2 - \vec{a}_1$
3.2	Метод решения задач с переходом в систему отсчёта, связанную с центром масс системы тел	Состоит в том, что центр масс системы движется так, как двигалась бы воображаемая точка с массой, равной массе системы, под действием результирующей внешней силы. Если сумма внешних сил, действующих на систему, равна нулю, то центр масс такой системы движется с постоянной скоростью, т. е. равномерно и прямолинейно. Если первоначально центр масс покоился, то он будет покоиться и в дальнейшем. Система отсчета, связанная с центром масс замкнутой системы, является инерциальной.
3.3	Метод отрицательных масс	Заключается в том, что тело, имеющее свободные полости, считают сплошным, а массу свободных полостей – отрицательной. Применяется при решении задач на определение положения центра масс фигуры, имеющей удалённые из неё участки. Вид формул для определения координат центра тяжести тела при этом не меняется.
3.4	Метод объединения и разъединения равно потенциальных узлов	Позволяет упрощать схемы электрических цепей путём объединения или разъединения узлов, имеющих равные потенциалы.

Окончание таблицы 12

3.5	Метод зеркальных отражений	Заключается в сведении исходной задачи, в которой рассматриваются заряды и граничные проводящие поверхности, к задаче, в которой есть те же заряды и добавочные (фиктивные) заряды-изображения в безграничной среде. Эти заряды-изображения помещаются вне той области, в которой определяется поле. Правила построения зарядов-изображений полностью аналогичны тем, по которым строятся изображения точечных источников в оптике в системе плоских зеркал. Зеркала имеют ту же форму, что и граничные поверхности.
3.6	Метод векторных диаграмм	Основан на графическом представлении меняющихся по закону синуса (косинуса) величин и соотношений между ними при помощи направленных отрезков – *векторов*. Векторные диаграммы широко применяются для расчета электрических цепей переменного тока, в акустике и оптике. Для цепей переменного гармонического тока векторные диаграммы строятся с учетом сдвига фаз между током и напряжением в катушке индуктивности, конденсаторе и резисторе. Графическое представление гармонических колебаний с помощью вращающегося вектора используют для определения результирующих колебаний, которые возникают при наложении нескольких гармонических колебаний одинаковой частоты. Использование векторных диаграмм существенно упрощает расчеты и их объяснения в оптике. Так, принцип Гюйгенса- Френеля можно представить в наглядной форме в виде векторной диаграммы.

2.2 Этапы решения задач

Под решением задачи в широком смысле понимают выполнение действий или мыслительных операций, направленных на достижение цели, заданной в рамках проблемной ситуации – задачи.

С понятием «решение задачи», как и с определением понятия «задача», в каждой области знаний используют различные подходы.

Процесс решения задач с точки зрения когнитивного подхода является наиболее сложной из всех функций интеллекта и определяется как познавательный процесс более высокого порядка, требующий согласования и управления более элементарными или фундаментальными умениями.

С точки зрения информационного подхода задача считается решенной, когда признаки имеющегося и требуемого состояния системы идентичны. Процесс решения задачи имеет место, когда система искусственного интеллекта осуществляет переход из данного состояния в желаемое целевое состояние. При этом исходят из того, что человек, так же как компьютер, оперирует символами (знаками).

Решение задачи в психологии рассматривается как отыскание отношений, зависимостей, связей между известными и неизвестными величинами.

Для описания этого процесса психологи вводят понятие «искомое», нахождение которого составляет решение задачи. При решении физических задач в качестве искомого обычно выступают физические величины. Сущность процесса решения задачи заключается в выявлении соответствующих физических закономерностей (законов), лежащих в основе явлений, представленных в задаче, и их применении к конкретной задачной ситуации с целью определения ее требования [5, 6].

В психологии известны два типа структуры в описании деятельности решения задач – внешняя и внутренняя. Внешняя описывает решение задач через логические системы, определяя последовательность преобразований задачной ситуации. Описание внутренней структуры осуществляется мыслительными операциями. В различных науках находит преимущественное использование той или иной структуры. Психология описывает решение мыслительными операциями, дидактика в большей степени строит операционные структуры, кибернетика и теория решения, совмещая эти два подхода при описании интеллектуальной деятельности, в содержание отдельных операторов, построенных на логических операциях, включают мыслительные.

При всем разнообразии определений решения задачи можно выделить в них общее, наиболее существенное: необходимый момент волевого действия и способ его выполнения.

Волевое действие предполагает предварительное осознание целей и средств действия, мысленное совершение действия, предшествующее фактическому действию, мысленное обсуждение оснований, говорящих «за» и «против» его выполнения [2].

Такое описание понятия «решение задачи» построено на указании родового понятия и описании видовых признаков. Выделение в качестве ближайшего рода понятия волевого действия относит его к психологическим. Но указанные видовые признаки не позволяют полностью отделить данное понятие от других видовых. В связи этим понятие «решение задачи» выступает в двух смыслах – как процесс и как его результат.

Состав структуры решения в первом понимании можно представить в виде следующих элементов: подготовка решения, принятие его схемы и ее осуществление. К основным операциям отнесем:

− выбор одного из способов осуществления действия из множества альтернатив. В ходе выполнения данной операции проявляется волевой фактор действия;

− осознание взаимосвязи целей и средств выполнения действий. Осознание предполагает выделение, восприятие данной цели действия и информации о средствах его выполнения. Для реализации поставленной цели с заданными средствами необходимо осознать связь между ними. Осознание целей и средств осуществления действия включается в волевой акт;

− моделирование действия, позволяющее четко выделить главную идею и возможность оценить его последствия;

− мысленное обсуждение результатов смоделированного действия с помощью определенного аппарата на основе принятых критериев;

− принятие решения по выполнению данного действия.

Подготовка решения по выполнению заданного действия предусматривает этапы:

1. Прием, восприятие, селекция, хранение, представление информации. Из всей поступающей информации отбирается та, которая имеет отношение к решению и подается в определенном виде.
2. Распознавание заданной ситуации на основе классификаций их видов. При этом происходит преобразование информации за счет рассмотрения ее как возможного вида родового понятия. В таком случае воспринятая информация считается достоверной.
3. Разработка и оценка вариантов решений, подготовка его проекта на основе усвоенных методов.
4. Оценка эффективности разработанного проекта, базирующегося на определенных критериях и способах оценки. Итогом является количественная или качественная оценка обоснованного варианта решения. Оценкой завершается процесс подготовки решения и создания условий для его принятия. [2]

Психологической основой обучения решению задач можно рассматривать теорию поэтапного формирования умственных действий, с которой ассоциируется имя П. Я. Гальперина.

В основу теории П. Я. Гальперина положена общепсихологическая идея о единстве психической и материальной деятельности человека и о первичной роли последней в этом единстве.

Согласно исследованиям П. Я. Гальперина и Н. Ф. Талызиной, процесс усвоения включает следующие этапы:

1. Формирование мотивационной основы действия. При этом определяется отношение субъекта к целям и задачам предстоящего действия, к содержанию обучения, намеченного для усвоения.

2. Становление первичной схемы ориентировочной основы действия (ООД), т.е. системы ориентиров и указаний, учет которых необходим для выполнения осваиваемого действия с требуемыми качествами и в заданном диапазоне.

3. Формирование действия в материальной (материализованной) форме. Субъект осуществляет ориентировку и исполнение осваиваемого действия с опорой на внешне представленные компоненты схемы ориентировочной основы действия.

4. Этап громкой социализованной речи – опора на внешне представленные средства постепенно замещается опорой на представленные во внешней речи значения этих средств и действий с их помощью.

5. Формирование действия во «внешней речи про себя», происходит постепенное исчезновение внешней, звуковой стороны речи.

6. Завершение усвоения действия. Оно очень быстро приобретает автоматическое течение и становится недоступным самонаблюдению [4].

При этом действие рассматривается как единица анализа деятельности учащихся.

Кроме того, Гальперин П. Я. приводил «шкалу» поэтапного формирования действия в процессе его становления:

На *первом этапе* формируется мотивационная основа действия, закладывается отношение субъекта к целям и задачам предстоящего действия, к содержанию материала, намеченного для усвоения.

На *втором этапе* происходит становление первичной схемы ориентировочной основы действия, т.е. системы ориентиров и указаний, учет которых необходим для выполнения осваиваемого действия с требуемыми качествами и в заданном диапазоне.

Третий этап – формирование действия в материальной (материализованной) форме. Здесь субъект осуществляет ориентировку и исполнение осваиваемого действия с опорой на внешне представленные компоненты схемы ориентировочной основы действия.

На четвертом этапе – громкой социализованной речи – опора на внешне представленные средства постепенно замещается опорой на представленные во внешней речи значения этих средств и действий с их помощью.

На пятом этапе (формирование действия во «внешней речи про себя») происходит постепенное исчезновение внешней, звуковой стороны речи.

Он подчеркивает, что формирование действия, понятия или образа может происходить с пропуском некоторых этапов [4].

В методике обучения физике этапы решения учебной задачи рассматриваются с различных точек зрения. С. Е. Каменецкий, В. П. Орехов [10] исходят из того, что методика решения задачи зависит от многих условий: от ее содержания, подготовки учащихся, целей, которые поставил учитель и т.д. Тем не менее, существует ряд общих для большинства задач положений, которые следует иметь в виду при их решении с учащимися.

В. А. Балаш [6] решение большинства физических задач расчетного характера делит на четыре этапа:

а) анализ условия задачи и его наглядная интерпретация схемой или чертежом;

б) составление уравнений, связывающих физические величины, которые характеризуют рассматриваемое явление с количественной стороны;

в) совместное решение полученных уравнений относительно той или иной величины, считающейся в данной задаче неизвестной;

г) анализ полученного результата и числовой расчет.

Б. С. Беликов [3] в решении задач различает три этапа: физический, математический и анализ решения.

Физический этап начинается с ознакомления с условием задачи и заканчивается составлением замкнутой системы уравнений, в число неизвестных которой входят и искомые величины. После составления замкнутой системы уравнений задача считается физически решенной.

Математический этап начинается решением замкнутой системы уравнений и заканчивается получением числового ответа. Этот этап можно разделить на два следующих:

а) получение решения задачи в общем виде;

б) нахождение числового ответа задачи.

После получения решения в общем виде и числового ответа проводят этап анализа решения. На этом этапе выясняют, как и от каких физических величин зависит найденная величина, при каких условиях эта зависимость осуществляется, реальность полученного результата.

А. В. Усова и Н. Н. Тулькибаева [30] выделяют следующие этапы решения задач:

1) подготовка решения (прием, восприятие, представление информации, распознавание заданной ситуации на основе известных, разработка вариантов решения, выбор решения, оценка эффективности выбранного решения);

2) принятие схемы решения (волевое действие);

3) решение (осуществление принятого решения).

Фактически все рассмотренные методики предполагают построение рисунка, схемы или графика (В. А. Балаш, С. Е. Каменецкий, В. П. Орехов).

Проанализировав предлагаемые этапы решения физических задач и опираясь на новую парадигму в образовании (гуманистическая, личностно-ориентированная, личностная), можно выделить следующие этапы решения задач:

− восприятие задачной ситуации (методы восприятия – словесные, текстовые, экспериментальные);

− анализ задачной ситуации (выделение взаимодействующих элементов, изменение условий взаимодействия тел, изменение состояний взаимодействующих тел, введение параметров состояний, выполнение рисунка, схемы или чертежа);

− краткая запись условия и требования задачи (перевод единиц измерения в СИ);

− составление плана решения (выделение и установление функциональных зависимостей между параметрами, установление очередности выполнения действий, составление графов решения);

− реализация плана решения (составление системы уравнений, решение уравнений, выполнение действий, расчет искомой величины);

− анализ полученного результата.

Выполнение перечисленных этапов решения физических задач обеспечивает постепенное всестороннее осмысление учащимися ее содержания и хода решения. Она является примерной. Не все этапы обязательны при решении каждой задачи.

Кратко охарактеризуем отдельные этапы решения задачи.

Восприятие задачной ситуации. Это важный этап в решении задач, на котором происходит восприятие не только предметной наглядности, но и знаковых ее форм, а также словесной информации преподавателя.

На восприятие информации в процессе решения задач оказывают влияние многие факторы, в частности частота передачи информации, скорость (темп), психическое состояние обучаемого, день недели и т. д. Содержание восприятия зависит и от поставленной перед учащимся задачи, от мотивов его деятельности и установок, а также эмоций, которые могут изменять содержание восприятия.

Для управления процессом восприятия существенным является факт его зависимости от особенностей личности учащего, его интересов, мировоззрения, убеждений и направленности в целом.

Обучаемый должен четко представить себе: о чем эта задача?

Можно выделить следующие возможные приемы выполнения первого этапа решения текстовой задачи:

1. Представление той жизненной ситуации, которая описана в задаче, мысленное участие в ней (если это возможно).

2. Разбиение текста задачи на смысловые части.

3. Переформулировка текста задачи: замена данного в нем описания ситуации другим.

4. Моделирование ситуации, описанной в задаче, с помощью:

а) реальных предметов, о которых идет речь в задаче;

б) предметных моделей;

в) графических моделей в виде рисунка или чертежа.

Каждый из перечисленных выше приемов начинается с чтения или слушания задачи. От того, как будет прочитана или прослушана задача, зависит ее понимание, а значит, и эффективность дальнейших действий по ее решению.

Основное требование к чтению задачи – правильное произношение всех слов, сочетаний слов, соблюдение знаков препинания. Этому нужно уделить внимание. Важное требование к чтению задачи – правильная расстановка логического ударения, которое при чтении задачи оказывает значительное воздействие на ее понимание. Особенно важна правильная его постановка в вопросе задачи, так как выделение в нем различных слов по-разному характеризует ситуацию, породившую этот вопрос, и либо помогает понять задачу, либо препятствует такому пониманию.

Анализ задачной ситуации. Предметом исследования физики является материя: *строение и простейшие ее формы движения и взаимодействия.* В современной науке рассматривается два вида материи: *вещество* и *поле*. К простейшим формам движения материи относят *механическое, тепловое, электромагнитное и взаимные превращения элементарных частиц и поля*. Все взаимодействия, наблюдаемые в окружающей человека действительности, можно свести к четырем основным типам: *гравитационное, электромагнитное, слабое и сильное*.

Физические знания имеют определенную структуру и включают следующие составные элементы: научные факты, понятия, законы и закономерности, теории, методы познания.

Физические понятия можно разделить на следующие основные группы:

- *о материальных объектах* – структурных элементах вещества и проявлениях физического поля;
- *о свойствах и состояниях материальных объектов* – качествах, признаках, составляющих отличительную особенность чего-нибудь;
- *о явлениях* (всякое обнаружение проявления чего-нибудь) и *процессах* (ход, развитие какого-нибудь явления или последовательная смена состояний в развитии чего-нибудь);
- *об особенностях протекания процессов*;
- *о моделях материальных объектов и процессов* – схемах какого-нибудь физического объекта или процесса, уменьшенных (или в натуральную величину) воспроизведениях или макетах чего-нибудь;
- *о физических величинах* – количественных характеристиках свойств материальных объектов и их состояний, особенностей протекания явлений и процессов, того, что можно измерить, вычислить;
- *о приборах и механизмах* – приспособлениях, специальных устройствах, аппаратах для выполнения какой-нибудь работы, управления, регулирования, измерения;

Физические законы выражают необходимые, устойчивые, существенные связи между величинами, обусловленные существованием причинно-следственных связей между свойствами физических объектов или между явлениями и процессами, которые происходят в природе [21].

В задачных ситуациях могут рассматриваться структурные элементы материи, их свойства и состояния, явления и процессы, особенности их протекания, приборы и механизмы.

В анализе условия задачи можно выделить определенные этапы, на которых учащиеся должны дать ответы на следующие вопросы:

- Какие физические объекты и их свойства рассматриваются в задаче?
- Какими параметрами (физическими величинами) описывается их состояние?
- Происходит ли изменение их состояния и какие при этом протекают физические явления или процессы?
- Какими параметрами (физическими величинами) описываются особенности их протекания?
- Какими законами или закономерностями описываются рассматриваемые в задаче явления и процессы?
- В чем состоит сущность требования задачи?

При анализе задачных ситуаций при разных способах задания и содержании условия имеются свои особенности. Так, в задачах с техническим содержанием важно обратить внимание обучаемых на:

✓ технические, химические, физические и иные свойства компонентов, деталей; особенности технологий;

✓ области и условия применения технических устройств и технологий;

✓ физические принципы работы технических устройств и осуществления технологий [15].

В задачах с межпредметным содержанием следует:

- актуализировать знания учащихся по другим учебным дисциплинам;
- выделить особенности изучаемого объекта, описанного в задачной ситуации;
- обосновать возможность описания его состояния или изменения состояния с использованием физических законов и закономерностей;
- обосновать практическую значимость объекта изучения.

Анализу экспериментальных задач способствует приведение в условии поясняющего рисунка. Однако важно при этом обратить внимание на параметры и возможности применяемого учебного оборудования и необходимые условия для проведения эксперимента.

В графических задачах взаимосвязь между параметрами состояния или изменения состояния физических объектов представлена графиками. Чтобы успешно решать графические задачи, их нужно уметь «читать», видеть характер зависимости между величинами. Можно применять при решении таких задач следующие этапы чтения графика:

– установить, зависимость каких величин выражает данный график. Это позволит выявить физические объекты и их свойства, рассматриваемые в задаче;

– указать на то, в каких единицах измерения выражены физические величины;

– анализ отдельных участков графика: разбить график на участки, описать особенность проявления взаимосвязи величин на каждом из них. Это позволит выявить особые состояния физических объектов, проявления их свойств или особенности рассматриваемых явлений и процессов;

– анализ параметров особых точек графика.

Краткая запись условия и требования задачи. Учащимся необходимо на языке физики с помощью общепринятых буквенных обозначений изложить условие и требование задачи. При этом текстовая форма задачи, с одной стороны, перекладывается на формальную, а с другой – происходит выделение понятийного аппарата задачи.

Возможны две формы записи условия задачи. При одной из них сначала записывается неизвестное, подводится черта, а под ней пишутся все данные из условия задачи и табличные значения величин. При другой форме записи неизвестное пишется после записи всех данных из условия задачи. Более удачной является вторая форма записи, так как позволяет проверить, все ли известное выявляет учащийся при чтении задачи, т.е. насколько осмысленно он читает задачу и извлекает из нее информацию.

Краткая запись условия и требования должна отражать полностью содержание задачи, т.е. она должна включать запись данных значений физических величин и величин, которые нужно определить.

Запись требования задачи в виде «ϑ–?» означает, что необходимо определить модуль скорости. Если требуется определить значение модуля скорости и при этом указываются ее единицы, то требование задачи записывается так: «ϑ (м/с)–?».

Если нужно дать объяснение различных значений величин, характеризующих вещество или изменение состояния вещества (например, плотности одного и того же вещества в различных состояниях), то требование задачи записывается термином, требующим объяснения причины заданной ситуации: «Почему – ?».

Планирование решения задачи. Процесс решения задачи заключается в постепенном соотношении условия задачи с ее требованием, выборе метода решения.

Установление законов или закономерностей взаимосвязи параметров состояния материальных объектов или особенностей протекания физических явлений и процессов позволяет сформулировать идею и план решения задачи.

Под идеей решения задачи будем понимать наиболее общее представление о задачной ситуации, направлении деятельности учащихся по достижению требования задачи.

Существуют различные способы представления плана решения задачи, среди которых выделение и запись этапов решения задачи и графический способ.

Графически план решения задачи можно представить в виде графа. Под графом понимают графическое представление последовательности применения физических законов и закономерностей для выражения искомой физической величины через физические величины, значения которых известны (рис. 47) [18].

$З_1$, $З_2$, $З_3$ – физические закономерности или законы, применяемые при решении задачи; a, b, c, d, e, f, m, n – физические константы и величины, значения которых известны; *X* – физическая величина, значение которой нужно определить.

Реализация плана решения. После анализа задачной ситуации и составления плана переходят к решению задачи. Решается уравнение или система уравнений. Получается расчетная формула – равенство, в левой части которой находится обозначение «искомой» величины, а в правой – буквенное выражение из обозначений физических констант и величин, значения которых известны.

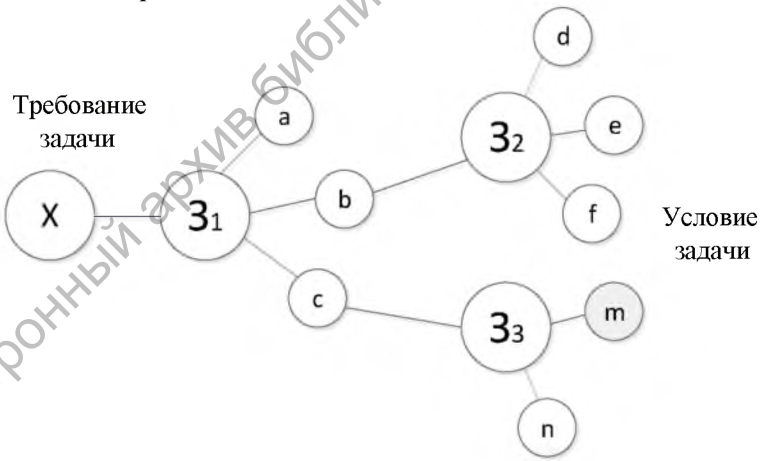


Рис. 47 Граф решения задачи

Решение задачи целесообразно сопровождать краткими пояснениями. Вычисления следует производить рациональными приемами.

Большинство задач следует решать в общем виде, а уже затем производить числовые расчеты. Это экономит время, так как промежуточные числовые вычисления могут оказаться лишними, а также облегчает проверку решения и его анализ.

Анализ полученного результата. Полученный результат решения задачи необходимо проанализировать. Прежде всего, нужно обратить внимание учащихся на реальность ответа:

– соответствие полученного числового ответа физически возможным значениям искомой величины; например, если скорость какого-либо тела превышает скорость света в вакууме, то ответ явно ошибочен;

– при получении многозначного ответа соответствие полученных ответов условиям задачи.

Кроме этого, часто целесообразно по расчетной формуле решения физической задачи, выполняя действия деления и умножения над единицами физических величин, находящихся в правой части равенства, определить единицу измерения искомой физической величиной и сравнить ее с установленной единицей измерения в системе физических величин СИ. Если эти единицы измерения искомой физической величины совпадают, то с точностью до постоянного коэффициента расчетная формула получена верно. При этом следует, что при наличии в расчетной формуле суммы величин их единицы измерения должны быть одинаковыми.

Приведем в соответствие этапы формирования умственных действий и этапы решения физических задач (таблица 13):

Таблица 13. Соответствие этапов решения задачи и этапов умственных действий

№ этапа	Психологическая концепция	Методическая концепция
1	Ознакомление с составом будущего действия в практическом плане, а также требованиями, которым оно в конечном счете должно будет соответствовать	Восприятие задачной ситуации
2	Выполнение заданного действия во внешней форме в практическом плане с реальными предметами или их заменителями	Анализ задачной ситуации (выделение взаимодействующих объектов, изменение условий взаимодействия тел, изменение состояний взаимодействующих тел, введение параметров состояний, краткая запись условия)
3	Выполнение действия без непосредственной опоры на внешние предметы или их заменители (перенесение действия в речевой план)	Составление плана решения (выделение и установление функциональных зависимостей между параметрами, установление очередности выполнения действий)
4	Перенесение громкоречевого действия во внутренний план (речь «про себя»)	Реализация плана решения (составление системы уравнений, решение уравнений, выполнение действий, расчет искомой величины)
5	Выполнения действия в плане внутренней речи с соответствующими его преобразованиями и сокращениями, с уходом действия, его процесса и деталей выполнения из сферы сознательного контроля и переходом на уровень интеллектуальных умений и навыков	Анализ полученного результата

2.3 Алгоритмы решения физических задач

Под алгоритмом понимают описание последовательности действий (план), строгое исполнение которых приводит к решению поставленной задачи за конечное число шагов. Термин «алгоритм» происходит от *algorithmi* – латинской формы написания имени выдающегося математика IX в. Аль-Хорезми, который сформулировал правила выполнения арифметических действий.

Существует множество разнообразных вариантов определения этого понятия, которые можно найти в учебной литературе (чаще всего это математические книги, а также учебники по информатике и программированию, теории алгоритмов).

Основная мысль, выраженная в них, состоит в том, что алгоритм – это некий замкнутый перечень действий, модель дискретного процесса, у которого есть входная и выходная точки. И результат исполнения (решение) достигается за счет пошагового выполнения конкретной последовательности (арифметической, логической и т. п.).

Роль алгоритмизации в жизни людей определяется не только учебными, научными или техническими аспектами ее использования. Алгоритмический подход применяется к решению «бытовых задач» (вождение автомобиля, приготовление обеда, планирование бюджета семьи, ремонт и т.д.). В подавляющем большинстве случаев результат деятельности человека прямо зависит от того, насколько четко он прогнозирует алгоритмическую сущность своих действий, а именно:

1. *Дискретность* (прерывность). Алгоритм должен являться упорядоченной совокупностью отделенных друг от друга указаний, образующих дискретную (прерывную) структуру, что предполагает, что два любых последовательных указания при исполнении разделяются ненулевым промежутком времени. Дискретность алгоритма часто подчеркивается нумерацией указаний.

2. *Определенность* (детерминированность). Алгоритм не может содержать указаний, смысл которых может восприниматься исполнителем неоднозначно или требовать от него свободно принимаемых решений, то есть одно и то же указание, выполняемое разными исполнителями, должно давать один и тот же результат.

3. *Понятность*. Алгоритм содержит только те указания (команды), которые входят в систему команд исполнителя этого алгоритма.

4. *Массовость*. Алгоритм должен быть применим для решения не одной задачи, а целого класса задач одного типа. В простейшем случае массо-

вость обеспечивает возможность использования различных наборов исходных данных для одного типа (вида) задач. Даже подставляя в абстрактную последовательность новые значения физических величин, исполнитель должен получать верный результат.

5. *Результативность* (конечность). При точном исполнении всех указаний алгоритма результат решения задачи должен быть получен за конечное число шагов.

6. *Формальность.* Все указания алгоритма исполнитель должен выполнять формально, не вникая в смысл того, что он делает и даже, возможно, не понимая этого смысла [8].

Многообразие алгоритмов для решения разных задач очень велико. Тем не менее среди этого многообразия выделяют три вида алгоритмов: *линейные, разветвляющиеся и циклические.*

Алгоритм называют *линейным*, если все его указания (команды) выполняются в порядке их следования в алгоритме независимо от исходных и промежуточных данных. Свое название – линейный – алгоритм получил потому, что его указания (команды) «выстроены в одну линию». При исполнении линейного алгоритма все его указания всегда задействованы.

Разветвляющимся называют алгоритм, в котором содержится несколько путей достижения результата, причем выбор пути зависит от исходных данных. Каждый путь называется ветвью алгоритма.

Циклический алгоритм предполагает возможность *многократного повторения* выполнения описанных действий, которые должны повторяться указанное число раз или до тех пор, пока не выполнится заданное условие. Алгоритмы можно записывать разными способами, называемыми формами представления алгоритма, приведенными на рисунке 48.

Рис. 48 Формы представления алгоритма

На практике наиболее распространены следующие формы представления алгоритмов:

– *словесная* (записи на естественном языке). Широко используется при алгоритмизации обучения математике, физике и другим учебным дисциплинам в учреждениях образования различного типа, так как не требует использования специальных знаков и символов и понятна всем обучаемым;

– *графическая* (изображения из графических символов). Графический способ оказался очень удобным средством изображения алгоритмов и получил широкое распространение в научной и учебной литературе. Структурная схема (блок-схема) алгоритма – графическое изображение алгоритма в виде схемы связанных между собой с помощью стрелок (линий перехода) блоков – графических символов, каждый из которых соответствует одному шагу алгоритма (рис. 49). Внутри каждого блока дается описание соответствующего действия.

– *псевдокоды* (полуформализованные описания алгоритмов на условном алгоритмическом языке, включающие в себя как элементы языка программирования, так и фразы естественного языка, общепринятые математические обозначения и др.).

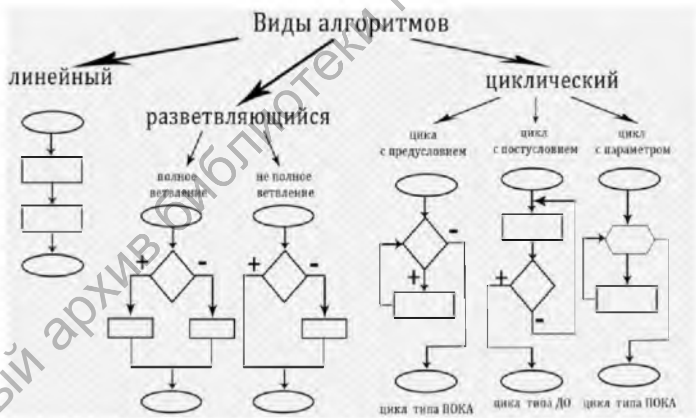


Рис. 49 Виды алгоритмов

Псевдокод представляет собой систему обозначений и правил, предназначенную для единообразной записи алгоритмов. Он занимает промежуточное место между естественным и формальным языками. С одной стороны, псевдокод близок к обычному естественному языку, поэтому алгоритмы могут на нем записываться и читаться как обычный текст. С другой стороны, в псевдокоде используются некоторые формальные конструкции и математическая символика, что приближает запись алгоритма к общепринятой математической записи.

В псевдокоде не приняты строгие синтаксические правила для записи команд, присущие формальным языкам, что облегчает запись алгоритма на стадии его проектирования и дает возможность использовать более широкий набор команд, рассчитанный на абстрактного исполнителя. Однако в псевдокоде обычно имеются некоторые конструкции, присущие формальным языкам, что облегчает переход от записи на псевдокоде к записи алгоритма на формальном языке. В частности, в псевдокоде, так же как и в формальных языках, есть служебные слова, смысл которых определен раз и навсегда. Они выделяются в печатном тексте жирным шрифтом, а в рукописном тексте подчеркиваются. Единого или формального определения псевдокода не существует, поэтому возможны различные псевдокоды, отличающиеся набором служебных слов и основных (базовых) конструкций. К таким конструкциям обычно относят ветвления (*если… то… иначе…*) и циклы (*цикл от… до…*, *цикл пока*, *цикл до...*).

В стратегии алгоритмизации решения физических задач важно определить соотношение между этапами и алгоритмом их решения. Алгоритмы решения в данном контексте могут рассматриваться как пошаговое описание выполнения действий по выполнению таких этапов решения того или иного типа (вида) задач, как анализ задачной ситуации, планирование и выполнение решения [8].

Приведем примеры линейных и разветвленных алгоритмов решения физических задач [6, 18].

Алгоритм решения задач на применение закона сохранения импульса.

1. Выделить систему взаимодействующих тел и выяснить, какие силы для нее являются внутренними, а какие – внешними.
2. Выполнить рисунок, на котором изобразить векторы импульсов взаимодействующих тел до и после взаимодействия.
3. Применить закон сохранения импульса для системы тел, если:
   - ✓ система тел замкнутая;
   - ✓ в целом система незамкнутая, но сумма проекций сил на одну из осей равна нулю, и рассматриваемую систему тел можно считать замкнутой в направлении этой оси;
   - ✓ внешние силы пренебрежительно малы в сравнении с внутренними (как в случае удара тел).
4. Записать закон сохранения импульса в виде:

$$m_1 \cdot \overrightarrow{\vartheta_1} + m_2 \cdot \overrightarrow{\vartheta_2} + \ \ldots + m_n \cdot \overrightarrow{\vartheta_n} = m_1\overrightarrow{\vartheta_1'} + m_2\overrightarrow{\vartheta_2'} + \cdots \ldots + m_n\overrightarrow{\vartheta_n'}.$$

5. Записать закон сохранения импульса в проекции на выбранную ось, например, 0х:

$$m_1 \cdot \vartheta_{1x} + m_2 \cdot \vartheta_{2x} + \ldots + m_n \cdot \vartheta_{nx} = m_1 \cdot \vartheta'_{1x} + m_2 \cdot \vartheta'_{2x} \ldots + m_n \cdot \vartheta'_{nx}.$$

6. Определить знак и значение проекций скоростей, взаимодействующих тел.
7. Подставить значения проекций скоростей тел относительно неподвижной системы отсчета с учетом их знаков в закон сохранения импульса в проекции на выбранную ось.
8. Из полученного равенства выразить искомую величину.
9. Провести расчет значения искомой величины.
10. Оценить реальность полученного результата.

Алгоритм решения задач на применение уравнения теплового баланса при изменении внутренней энергии тел и фазовых превращениях вещества [19].

1. Выделить изолированную систему тел.
2. Определить тепловые процессы, происходящие с участием тел системы и описать их математически (уравнениями):
   - ✓ нагревание и охлаждение тел:
     $Q = cm(t_k - t_n)$ или $Q = C(t_k - t_n)$;
   - ✓ плавление и кристаллизация вещества:
     $Q = \pm \lambda m$
   - ✓ Испарение при кипении и конденсация вещества:
     $Q = \pm Lm$
3. Составить уравнение теплового баланса:
   $Q_1 + Q_2 + \ldots \ldots + Q_n = 0$:
   - знак Q для нагревания и охлаждения определяется знаком разности температур (нужно вычитать из конечной температуры тела начальную);
   - положительный знак (+) приписывается *Q* для плавления и испарения вещества при кипении;
   - отрицательный знак (–) приписывается *Q* для кристаллизации и конденсации вещества.
4. Решить полученное уравнение относительно искомой величины.
5. Провести расчет значения искомой величины.
6. Оценить реальность полученного результата.

Алгоритм решения задач на движение заряженных частиц в магнитном поле [20].

1. Выделить взаимодействующие материальные объекты и их параметры.
2. Выполнить рисунок, на котором:

- изобразить вектор магнитной индукции магнитного поля и вектор напряженности электрического поля, если частица разгоняется в нем;
- указать вектор начальной скорости частицы и отметить знак ее заряда;
- установить угол между векторами скорости частицы и вектором магнитной индукции магнитного поля;
- указать силы, действующие на заряженную частицу, и установить какие из них пренебрежимо малы и могут не учитываться при описании движения частицы;
- нарисовать траекторию движения частицы;
- указать направление ускорения (или его составляющих) движения частицы;
- определить по правилу левой руки направление силы Лоренца и изобразить ее на рисунке.

3. Составить основное уравнение динамики материальной точки в векторном виде.
4. Выбрать координатные оси и записать основное уравнение динамики материальной точки в проекции на них.
5. Исходя из физической природы сил выразить силы через величины, от которых они зависят.
6. Решить полученную систему уравнений относительно неизвестной величины.
7. Провести расчет значения искомой величины.
8. Оценить реальность полученного результата.

Алгоритм решения задач на применение газовых законов (рис. 50)

Рис.50 Алгоритм решения задач

*Алгоритм решения задач на описание прямолинейного движения материальных точек (*рис. 51)

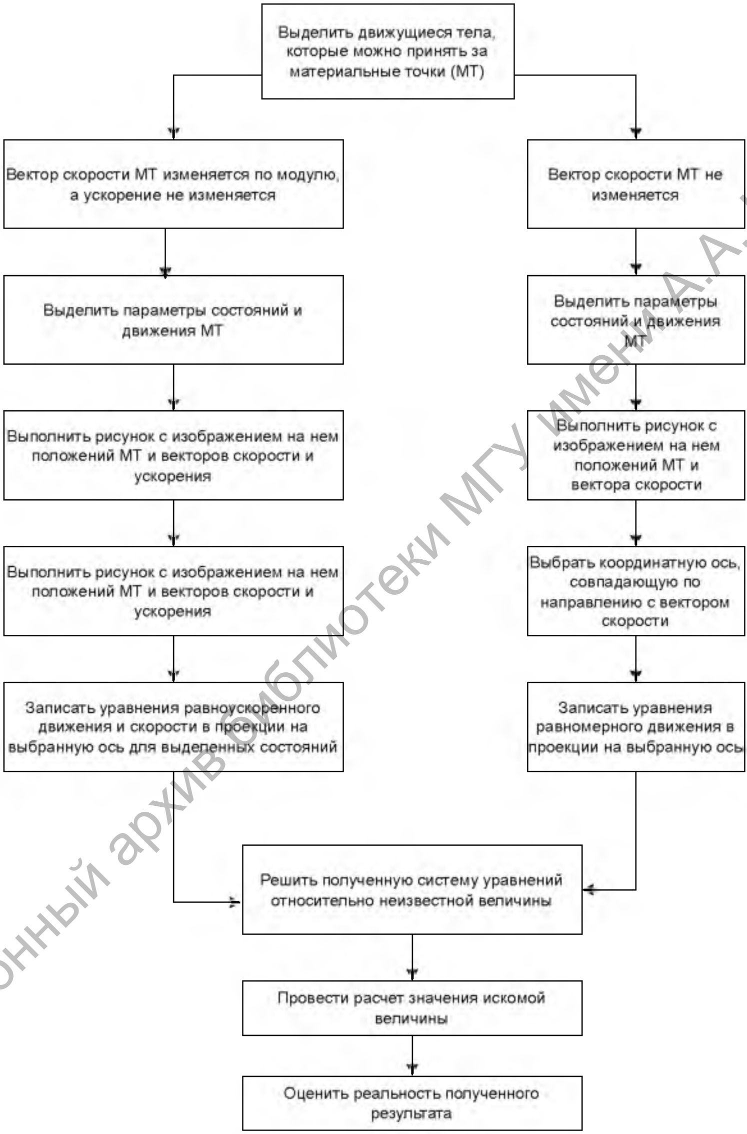


Рис. 51 Алгоритм решения задач

2.4 Аналитический метод решения задач

Этот метод решения задач обусловливается применением такой логической операциями, как анализ. Анализ – это методология исследования, включающая в себя разбор и нахождение причинно-следственных связей в изучении любого объекта, явления, системы.

Под анализом (др. греч. ἀνάλυσις «разложение, разделение, расчленение, разборка») понимают метод исследования, характеризующийся выделением и изучением отдельных частей объектов исследования.

Аналитический метод решения задач заключается в разделении задачи на ряд более простых. Решение начинается с поиска закономерности, которая устанавливает взаимосвязь искомой величины с другими. Если выражающая эту закономерность формула включает, кроме искомой, еще неизвестную величину, то находят другую закономерность, устанавливающую взаимосвязь «новой неизвестной» величины с величинами, значения которых известны по условию задачи. Так поступают до тех пор, пока искомая величина не будет полностью выражаться через известные. Сущность этого *метода* можно отразить следующей блок-схемой (графом) (рис. 52) [18].

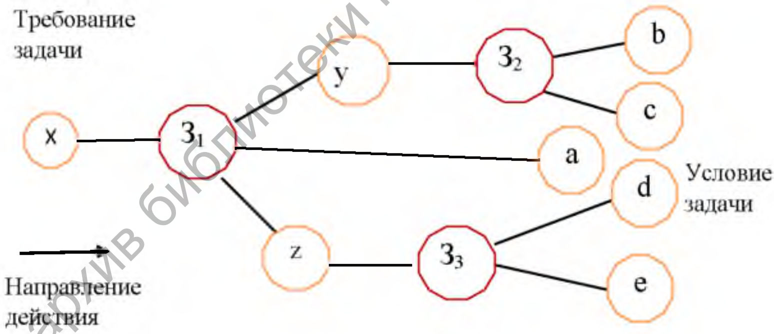


Рис. 52 Граф решения задач аналитическим методом

Проиллюстрируем применение этого метода решения на примере следующей задачи.

1. *Тело поднимают вертикально вверх за привязанную к нему веревку с ускорением а =2 $\frac{м}{с^2}$. Через время t_1= 5 с веревка обрывается. Сколько времени тело двигалось до падения на землю?*

Рассматриваемая задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, конкретной по содержанию.

Объект исследования в задаче – движущееся тело. Его можно принять за материальную точку. Воздействующие тела на определенных участках движения – нить и Земля. Результат воздействия указанных тел на движущееся тело – сообщение ему ускорения, т.е. движение материальной точки является равноускоренным (на первоначальном этапе с ускорением $\vec{a}$, а на последующем $\vec{g}$).

Характеристики движения материальной точки (координата x, y или z): скорость, ускорение и время движения ($\vec{\vartheta}$, $\vec{a}$, t).

Информационный базис: уравнение движения и проекции скорости на выбранную координатную ось.

Требование задачи: определить время свободного падения тела.

Решение:

Выполним поясняющий рисунок к задаче (рис. 53).

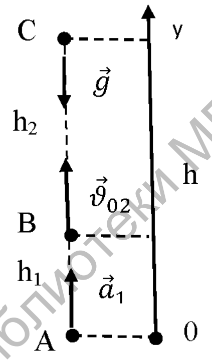


Рис. 53 Рисунок к задаче

Выделим три участка траектории тела – AB, BC и CA. Движение на каждом участке прямолинейное и равноускоренное. Пусть t_2 – время движения тела на участке BC, а t_3 – время движения тела на участке CA.

- З$_1$: $t = t_2 + t_3$;
- З$_2$: $\vartheta_2 = \vartheta_{02} - gt_2$; $\vartheta_2 = 0$; $t_2 = \frac{\vartheta_{02}}{g}$;
- З$_3$: $\vartheta_{02} = \vartheta_1 = a_1 t_1$; $t_2 = \frac{a_1 \cdot t_1}{g}$;
- З$_4$: $h = 0{,}5gt_3^2$; $t_3 = \sqrt{\frac{2h}{g}}$;
- З$_5$: $h = h_1 + h_2$;

- З$_6$: $h_1 = \frac{a_1 \cdot t_1^2}{g}$;
- З$_7$: $2gh_2 = \vartheta_{02}^2 = a_1^2 t_1^2$; $h_2 = \frac{a_1^2 t_1^2}{2g}$.

Тогда $h = \frac{a_1 t_1^2}{2} + \frac{a_1^2}{2g} t_1^2$; $t_3 = \sqrt{\frac{a_1 t_1^2}{g} + \frac{a_1^2 t_1^2}{g^2}} = \frac{a_1 t_1}{g}\sqrt{\frac{g+a_1}{a_1}}$;

$t = \frac{a_1 t_1}{g}\left[1 + \sqrt{1 + \frac{g}{a_1}}\right]$- расчетная формула.

Составим граф решения задачи (рис. 54).

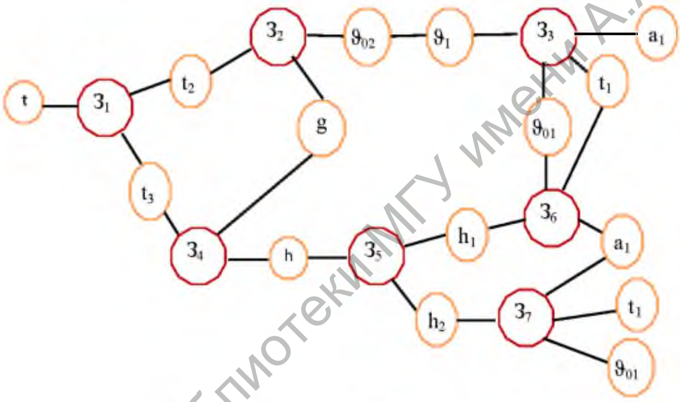


Рис. 54 Граф решения задачи

Проведем вычисление t: $= \frac{2\frac{м}{с^2}\cdot 5с}{9,8\frac{м}{с^2}}\left[1 + \sqrt{1 + \frac{9,8\frac{м}{с^2}}{2\frac{м}{с^2}}}\right]$=3,5с.

Ответ: t = 3,5 с.

2.5 Синтетический метод решения задач

Под синтезом понимают метод исследования, который заключается в определении взаимосвязей и объединении различных элементов в единое целое. Он состоит в изучении предмета, явления в его целостности, в единстве и взаимной связи его частей.

Синтетический метод решения задач предусматривает выяснение отношений между физическими величинами данных в условии с другими до тех пор, пока в полученное уравнение в качестве неизвестного войдет искомая величина.

Сущность синтетического метода решения физических задач можно представить блок-схемой (графом), приведенной на рисунке 55 [18].

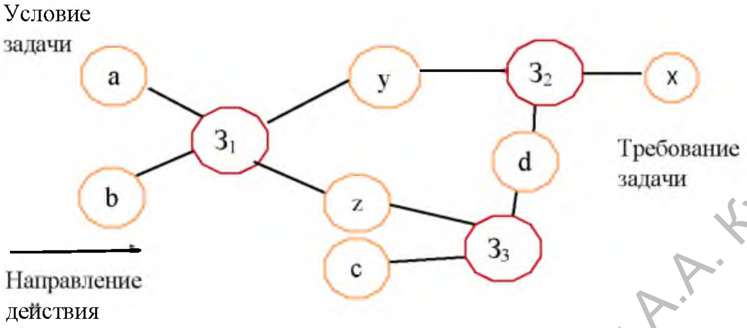


Рис. 55 Граф решения задач синтетическим методом

Проиллюстрируем применение синтетического метода к решению предыдущей задачи. Составим граф ее решения этим методом.

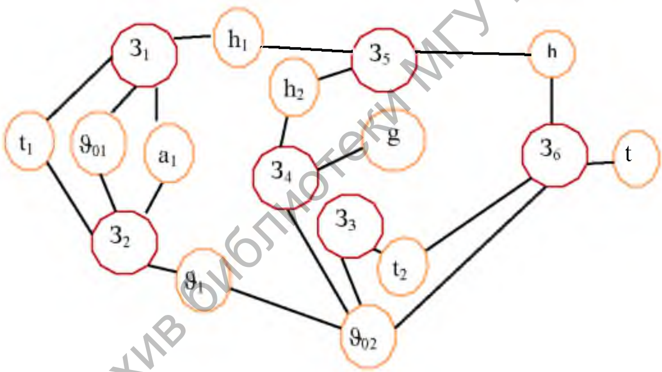


Рис. 56 Граф решения задачи

Реализуем этот метод при ее решении.

- ✓ З$_1$: $h_1 = \frac{a_1 t_1^2}{2}$;
- ✓ З$_2$: $\vartheta_1 = \vartheta_{02} = a_1 t_1$;
- ✓ З$_3$: $t_2 = \frac{\vartheta_{02}}{g} = \frac{a_1 t_1}{g}$;
- ✓ З$_4$: $h_2 = a_1 t_1 t_2 - \frac{g t_2^2}{2}$; $h_2 = \frac{\vartheta_{02}^2}{2g} = \frac{a_1^2 t_1^2}{2g}$;
- ✓ З$_5$: $h = h_1 + h_2 = \frac{a_1 t_1^2}{2} + \frac{a_1^2 t_1^2}{2g} = \frac{a_1 t_1^2}{2}\left(1 + \frac{a_1}{g}\right)$;

✓ $З_6$: $\frac{a_1 t_1^2}{2}\left(1+\frac{a_1}{g}\right)=\frac{g}{2}\,(t-t_2)^2$.

После преобразований последнего равенства получим уравнение: $gt^2 - 2tt_1a_1 - a_1t_1^2 = 0$.

Решения этого уравнения относительно t:

$$t_1=\frac{a_1t_1}{g}\left[1+\sqrt{1+\frac{g}{a_1}}\right] \text{ и } t_2=\frac{a_1t_1}{g}\left[1-\sqrt{1+\frac{g}{a_1}}\right]$$ (не подходит по физическому смыслу).

Поэтому $t=\frac{a_1t_1}{g}\left[1+\sqrt{1+\frac{g}{a_1}}\right]$ – расчетная формула.

3. Общематематические методы решения задач

3.1 Арифметический метод решения задач

Арифметический метод предполагает применение математических действий или тождественных преобразований над числами или буквенными выражениями без составления уравнений.

При этом методе над физическими величинами производят только арифметические действия. Физические задачи решают примерно так же, как задачи на уроках арифметики (по действиям).

Иногда, представляется, что отличительная черта арифметического метода – отсутствие буквенных выражений. Дело как раз не в буквенных выражениях, а в том, что при этом методе не составляют и не решают уравнений.

Приведем примеры решения физических задач арифметическим методом.

1. *Шар объемом $V = 14{,}0$ дм^3, имеющий внутреннюю полость объемом $V_0 = 13{,}0$ дм^3, плавает в воде $\rho_1 = 1{,}0 \cdot 10^3\ \frac{кг}{м^3}$, погрузившись в нее ровно наполовину* (рис. 57). *Массой воздуха в полости шара можно пренебречь. Чему равна плотность ρ_2 вещества, из которого изготовлен шар?*

Примечание. Объем V шара равен сумме объема полости V_0 и объема вещества, из которого изготовлен шар.

Рассматриваемая задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, конкретной по содержанию.

Объект исследования в задаче – плавающее в жидкости тело. Воздействующие тела на это тело – жидкость и Земля. Результат воздействия указанных тел на данное тело – его равновесное состояние.

Характеристики состояния и взаимодействия тел рассматриваемой системы – плотность жидкости (ρ_1), плотность вещества (ρ_2), объем вещества ($V_в$), масса вещества (m), сила Архимеда, сила тяжести.

Информационный базис: формулы для определения плотности вещества, силы тяжести и силы Архимеда.

Требование задачи: определить плотность вещества, из которого изготовлен шар.

Решение:

- Сила тяжести, действующая на шар: $F_т = F_A = 0,5\rho_1\, g\, V =$ $= 1\cdot 103\frac{кг}{м^3}\cdot 9,8\frac{м}{с^2}\cdot 7\cdot 10^{-3}м^3 = 68,6Н$;
- Масса вещества шара: $m = \frac{F_т}{g} = \frac{8,6Н}{9.8\frac{м}{с^2}} = 7$ кг;
- Объем вещества шара: $V_в = V - V_0 = 14\cdot 10^{-3}м^3 - 13\cdot 10^{-3}м^3 = 1\cdot 10^{-3}м^3$;
- Плотность вещества шара: $\rho_2 = \frac{m}{V_в} = \frac{7кг}{10^{-3}м^3} = 7\cdot 10^3\frac{кг}{м^3}$.

Ответ: $\rho_2 = 7\cdot 10^3\frac{кг}{м^3}$

2. *Участок цепи, состоящий из четырех резисторов* (рис. 58), *сопротивления которых R_1 = 10,0 Ом, R_2 = 20,0 Ом, R_3 = 30,0 Ом и R_4 = 40,0 Ом, подключен к источнику тока с ЭДС ε = 20,0 В и внутренним сопротивлением r = 20,0 Ом. Чему равна тепловая мощность P_4, выделяемая в резисторе R_4?*

Данная задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, конкретной по содержанию.

Объект исследования в задаче – замкнутая электрическая цепь. При прохождении электрического тока в резисторах электрическая энергия преобразуется в тепловую (внутреннюю) энергию.

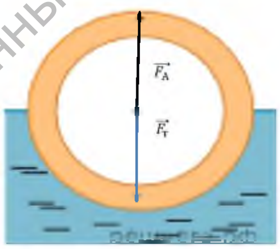


Рис. 57 Рисунок к задаче 1

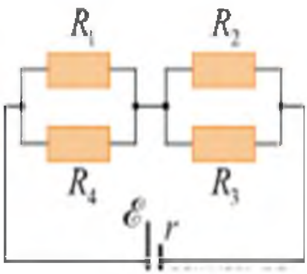


Рис. 58 Рисунок к задаче 2

Характеристики состояния рассматриваемой системы резисторов и источника тока – сила электрического тока в цепи (I), сила электрического тока в резисторах (I_1, I_2, I_3, I_4), ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока (ξ, r), мощность электрического тока (P).

Информационный базис: формулы для определения общего сопротивления резисторов при их последовательном и параллельном соединении, мощности электрического тока, математической записи закона Ома для замкнутой электрической цепи.

Требование задачи: определить тепловую мощность P_4, выделяемую в резисторе R_4.

Решение:

✓ Общее сопротивление резисторов 1 и 4:

$$R_{1,4} = \frac{\cdot R_4}{+R_4} = \frac{10\ \text{Ом}\cdot 40\text{Ом}}{50\ \text{Ом}} = 8\text{Ом};$$

✓ Общее сопротивление резисторов 2 и 3:

$$R_{2,3} = \frac{{}_2\cdot R_3}{{}_2+R_3} = \frac{20\ \text{Ом}\cdot 30\text{Ом}}{50\ \text{Ом}} = 12\text{Ом};$$

✓ Общее внешнее электрическое сопротивление цепи:

$$R = R_{1,4} + R_{2,3} = 8\text{Ом} + 12\text{Ом} = 20\text{Ом};$$

✓ Сила тока в электрической цепи:

$$\mathrm{I} = \frac{\xi}{\mathrm{R}+r} = \frac{20\text{В}}{40\text{Ом}} = 0{,}5\ \text{А};$$

✓ Сила тока в резисторе 4: $\mathrm{I}_4 = 0{,}2\cdot 0{,}5\ \text{А} = 0{,}1\text{А};$

✓ Тепловая мощность, выделяемая в резисторе 4:

$$R_4 = 0{,}1\text{А}\cdot 0{,}1\text{А}\cdot 40{,}0\ \text{Ом} = 0{,}4\ \text{Вт}.$$

Ответ: $P_4 = 0{,}4$ Вт

3. Диаметр *велосипедного колеса $d = 65$ см, число зубьев ведущей звездочки $N_1 = 24$, ведомой – $N_2 = 18$* (рис. 59). *Велосипедист равномерно крутит педали с частотой $\nu_1 = 1{,}5\ \frac{\text{об}}{\text{с}}$. Чему равен модуль скорости ϑ велосипеда?*

Эта задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, конкретной по содержанию.

Объекты исследования в задаче – колесо, ведущая и ведомая звездочки велосипеда. Они находятся во вращательном движении.

Рис. 59 Рисунок к задаче 3

Характеристики вращательного движения колеса и звездочек – частота вращения звездочек и колес, радиус колес, линейная скорость велосипеда.

Информационный базис: формула взаимосвязи линейной и угловой скорости точек при их вращательном движении.

Требование задачи: определить модуль скорости ϑ велосипеда.

Решение:

- Частота вращения ведомой звездочки:

  $v_2 = v_1 \frac{N_1}{N_2} = 1{,}5\ \text{с}^{-1} \cdot \frac{24}{18} = 2\text{с}^{-1}$;

- Скорость движения велосипеда:

  $\Theta = 2\pi\ v_2 \cdot 0{,}5d = 6{,}28 \cdot 2\ \text{с}^{-1} \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}65\text{м} = 4\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

  Ответ: $\vartheta = 4\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

3.2 Алгебраический метод решения задач

Алгебраический метод основан на использовании физических ф мул для составления уравнений, из которых определяется искомая фи ческая величина. При этом вводятся переменные и составляются соответствующие уравнения или неравенства (системы уравнений или неравенств). Решим алгебраическим методом рассмотренные в п. 3.1 задачи.

Задача 1.

Информационный базис:

✓ $\overrightarrow{F_\text{А}} + \overrightarrow{F_\text{т}} = 0$ – условие равновесия плавающего шара. В проекции на вертикальную координатную ось (0y): $F_А = F_т$.

✓ $F_А = \rho_1 g V_п$ – формула для расчета силы Архимеда.

✓ $F_т = mg = \rho_2 V_в g$ – формула для расчета силы тяжести.

✓ $V = V_в + V_0$ – объем V шара равен сумме объема полости V_0 и объема вещества, из которого изготовлен шар.

Решение:

$F_A = F_т$; $0{,}5\rho_1 gV = \rho_2(V - V_0)g$; $\rho_2 = \frac{\rho_1 V}{2(V - V_0)}$ – расчетная формула.

$\rho_2 = \frac{1\cdot 10^3 \frac{кг}{м^3}\cdot 14\cdot 10^{-3}\ м^3}{2\cdot 10^{-3} м^3} = 7\cdot 10^3\ \frac{кг}{м^3}$.

Ответ: $\rho_2 = 7\cdot 10^3\ \frac{кг}{м^3}$.

Задача 2.

Информационный базис:

$I = \frac{\xi}{R + r}$ – Закон Ома для замкнутой цепи.

$R = R_1 + R_2$, $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ – формулы для определения общего (эквивалентного) сопротивления резисторов, соединенных последовательно и параллельно.

$I = I_1 + I_2$, $U = U_1 = U_2$ – закономерности параллельного соединения проводников.

$P = I^2 \cdot R$ – формула для расчета мощности постоянного тока.

Решение

$$R_{1,4} = \frac{R_1 \cdot R_4}{R_1 + R_4};\ R_{2,3} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3};\ R = R_{1,4} + R_{2,3} = \frac{R_1 \cdot R_4}{R_1 + R_4} + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}.$$

$$I = \frac{\xi}{\frac{R_1 \cdot R_4}{R_1 + R_4} + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} + r} = \frac{\xi(R_1 + R_4)(R_2 + R_3)}{R_1 \cdot R_4(R_2 + R_3) + R_2 \cdot R_3(R_1 + R_4) + r(R_1 + R_4)(R_2 + R_3)}.$$

$$U_1 = U_4;\ I_1 \cdot R_1 = I_4 \cdot R_4;\ I_1 = \frac{I_4 \cdot R_4}{R_1};\ I = I_1 + I_4 = \frac{I_4 \cdot R_4}{R_1} + I_4 =$$

$$= I_4\left(\frac{R_1 + R_4}{R_1}\right).$$

$$I_4 = \frac{I \cdot R_1}{R_1 + R_4} = \frac{\frac{R_1 \xi(R_1 + R_4)(R_2 + R_3)}{R_1 \cdot R_4(R_2 + R_3) + R_2 \cdot R_3(R_1 + R_4) + r(R_1 + R_4)(R_2 + R_3)}}{R_1 + R_4} =$$

$$= \frac{R_1 \xi(R_2 + R_3)}{R_1 \cdot R_4(R_2 + R_3) + R_2 \cdot R_3(R_1 + R_4) + r(R_1 + R_4)(R_2 + R_3)}.$$

$$P_4 = I_4^2 \cdot R_4.\; P_4 = \left[\frac{R_1\xi(R_2+R_3)}{R_1 \cdot R_4(R_2+R_3)+R_2 \cdot R_3(R_1+R_4)+r(R_1+R_4)(R_2+R_3)}\right]^2 R_4 -$$

расчетная формула.

$$P_4 = \left[\frac{10\ \text{Ом} \cdot 20\text{В} \cdot 50\ \text{Ом}}{400\text{Ом}^2 \cdot 50\text{Ом} + 600\text{Ом}^2 \cdot 50\text{Ом} + 20\text{Ом} \cdot 50\text{Ом} \cdot 50\text{Ом}}\right]^2 \cdot 40\text{Ом} = 0{,}4\ \text{Вт}.$$

Ответ: P_4=0.4 Вт.

Задача 3.

Информационный базис:

$\vartheta = \omega \cdot R$ – уравнение связи между линейной и угловой скоростями движения материальной точки по окружности.

$\omega = 2\pi\nu$ – формула для определения угловой скорости движения материальной точки по окружности по известному значению частоты вращения.

Решение:

$\vartheta = \omega_2 \cdot R = 2\pi\nu_2 \cdot R = \pi\nu_2 \cdot d;\ \nu_1 \cdot N_1 = \nu_2 \cdot N_2;\ \nu_2 = \frac{\nu_1 \cdot N_1}{N_2}.$

$\vartheta = \frac{\pi d \nu_1 \cdot N_1}{N_2}$ – расчетная формула.

$$\vartheta = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}65\text{м} \cdot 24 \cdot 1{,}5\frac{1}{\text{c}}}{18} = 4\frac{\text{м}}{\text{c}}.$$

Ответ: $\vartheta = 4\ \frac{м}{c}$.

3.3 Геометрический метод решения задач

Геометрический метод решения физических задач заключается в применении при решении задач геометрических и тригонометрических свойств фигур. Однако его реализация не сводится к построению чертежей и схем, сопровождающих анализ всех задач, допускающих графическое изображение [31].

Рассмотрим сущность этого метода на примере решения задач по механике. Так, информационный базис решения многих физических задач по кинематике составляют векторные уравнения движения и скорости:

$$\overrightarrow{\Delta r} = \overrightarrow{\vartheta_0}\,t + \frac{\vec{a}}{2}t^2;\ \ \vec{\vartheta} = \overrightarrow{\vartheta_0} + \vec{a}t.$$

Поэтому при решении этих задач можно пользоваться векторными треугольниками скоростей и перемещений. Изобразим эти треугольники для случая движения тела, брошенного с начальной скорость ϑ_0 под некоторым углом α к горизонту. Так треугольник скоростей имеет вид, представленный на рисунке 60.

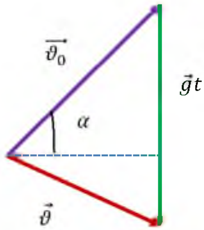


Рис. 60 Треугольник скоростей

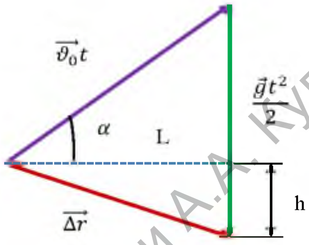


Рис. 61 Треугольник перемещений

Треугольник перемещений будет иметь вид, изображенный на рисунке 61.

Высота этого треугольника – дальность полета L, h – перепад высот для точек бросания и падения тела.

Приведем пример решения задач по кинематике геометрическим методом.

1. Мячик бросили со скоростью ϑ_0 под углом к горизонту. В полете он находился время t. Чему равна дальность полета мячика, если точки бросания и приземления находятся на одном горизонтальном уровне? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Рассматриваемая задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактной по содержанию.

Объект исследования в задаче – мячик. Воздействующее тело на мячик – Земля. Результат воздействия Земли на данное тело – его равноускоренное движение.

Характеристики движения исследуемого тела – начальная скорость (ϑ_0), ускорение движения (g), время движения (t).

Требование задачи: определить дальность полета мячика.

Решение:

Составим треугольник перемещений для ситуации, описанной в задаче (рис. 62). Из треугольника: $L = \sqrt{\vartheta_0^2 t^2 - \frac{g^2 t^4}{4}}$.

Ответ: $L = \sqrt{\vartheta_0^2 t^2 - \frac{g^2 t^4}{4}}$.

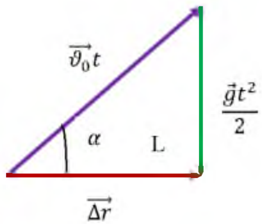


Рис. 62 Рисунок к задаче 1

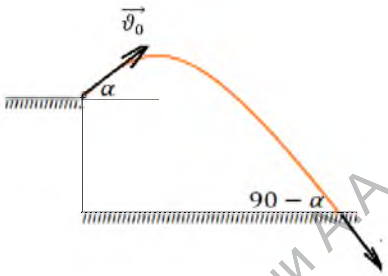


Рис. 63 Рисунок к задаче 2

2. С обрыва под углом α к горизонту бросили камушек со скоростью $\vartheta_0 = 6\ \frac{м}{с}$ (рис. 63). *Сколько времени камушек находился в полете, если его конечная скорость составила $\vartheta = 8\ \frac{м}{с}$ и была направлена под углом β = 90°– α к горизонту? Сопротивлением воздуха пренебречь.*

Эта задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, конкретной по содержанию.

Объект исследования в задаче – камушек. Воздействующее тело на мячик – Земля. Результат воздействия Земли на данное тело – его равноускоренное движение.

Характеристики движения исследуемого тела – начальная скорость (ϑ_0), ускорение движения (g), время движения (t).

Требование задачи: определить врея движения камушка.

Решение:

Составим треугольник скоростей для ситуации, описанной в задаче (рис. 64).

Так как треугольник прямоугольный, то: $g^2t^2 = \vartheta_0^2 + \vartheta^2$.

Тогда $t = \frac{1}{g}\sqrt{\vartheta_0^2 + \vartheta^2}$ – расчетная формула.

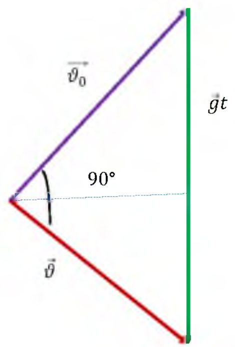


Рис. 64 Треугольник скоростей к задаче 2

$$t = \frac{1}{9{,}8\frac{\text{м}}{\text{с}^2}}\sqrt{36\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} + 64\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = 1 \text{ с.}$$

Ответ: t = 1 с.

3. *Через реку переправляется лодка, выдерживающая курс, перпендикулярный берегу. Модули скорости лодки относительно воды $\vartheta_1 = 1{,}8\ \frac{м}{с}$ и скорости течения $\vartheta_2 = 0{,}6\ \frac{м}{с}$, ширина реки $h = 0{,}30$ км. Найдите промежуток времени Δt, за который лодка пересечет реку. На какое расстояние l «снесет» лодку течением?*

Данная задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, конкретной по содержанию.

Объект исследования в задаче – лодка, находящаяся в сложном равномерном движении.

Характеристики движения исследуемого тела – относительная скорость (ϑ_1), скорость подвижной системы отсчета (ϑ_2), время движения (t), абсолютная скорость (ϑ), перемещение лодки: относительное, переносное ($\Delta\vec{r_1}$, $\Delta\vec{r_2}$).

Информационный базис: законы сложения перемещений и скоростей.

Требование задачи: определить время движения лодки и расстояние, на которое перемещается лодка вдоль берега.

Решение:

Изобразим треугольники скоростей и перемещений (рис. 65):

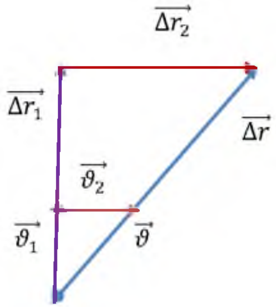


Рис. 65 Треугольник скоростей и перемещений к задаче 3

Из подобия треугольников следует:

$$\frac{\Delta r_1}{\Delta r_2} = \frac{h}{l} = \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2}; \quad l = \frac{h \cdot \vartheta_2}{\vartheta_1}$$ – расчетная формула,

$$l = \frac{300\text{м} \cdot 0{,}6\frac{\text{м}}{\text{с}}}{1{,}8\frac{\text{м}}{\text{с}}} = 100 \text{ м.}$$

$$\Delta t = \frac{h}{\vartheta_1} = \frac{300\text{м}}{1{,}8\frac{\text{м}}{\text{с}}} = 167 \text{ с.}$$

Ответ: $\Delta t = 167$ с.

4. Шар с массой m = 15 кг подвешен на шнуре, как показано на рисунке 66. Шнур образует с вертикалью угол α = 60°. Какова сила давления шара на стену $F_д$ *?*

Рассматриваемая задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, конкретной по содержанию.

Объект исследования в задаче – шар. Воздействующие тела на шар– стенка, Земля, шнур.

Характеристики состояния и взаимодействия исследуемого тела– масса шара (m), сила тяжести, действующая на шар ($F_т$), сила реакции стенки (N), сила натяжения нити ($F_н$).

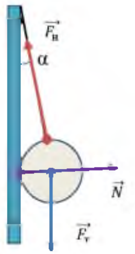
Информационный базис: условие равновесия тела, не имеющего оси вращения.

Требование задачи: определить силу давления шара на стенку.

Решение:

Изобразим силы, действующие на шар (рис. 66). Из условия равновесия шара следует, что $-\vec{F_н} = \vec{F_т} + \vec{N}$. Это равенство можно представить как параллелограмм сил (рис. 67). Из нижнего треугольника следует, что tgα = $\frac{N}{mg}$. Тогда N = $F_д$= tg α·mg – расчетная формула.

$F_д$ = 1,73 · 15 кг · 9,8 м/с^2 Н ≈ 255Н



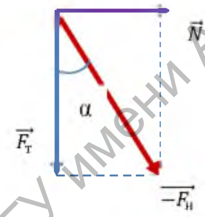


Рис. 66 Рисунок к задаче 4 Рис. 67 Параллелограмм сил

Ответ: $F_д$=255Н.

5. Два шарика массами m_1 = 2,0 г и m_2 = 3,0 г движутся по горизонтальной плоскости со скоростями, модули которых ϑ_1 = 6,0 $\frac{м}{с}$ и ϑ_2 = 4,0 $\frac{м}{с}$ соответственно. Направления движения шариков составляют друг с другом угол α = 90°. Шарики неупруго сталкиваются. Какова скорость их движения после взаимодействия?

Эта задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, конкретной по содержанию.

Объекты исследования в задаче – взаимодействующие шарики.

Характеристики состояния и взаимодействия исследуемого тела – массы шариков (m_1 и m_2), скорости движения шариков (ϑ_1 и ϑ_2).

Информационный базис: закон сохранения импульса для замкнутой системы тел, теорема Пифагора.

Требование задачи: определить скорость шаров после взаимодействия.

Решение:

Изобразим параллелограмм векторов импульсов тел (рис. 68).

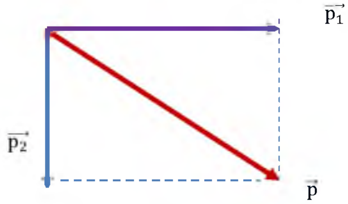


Рис. 68 Параллелограмм векторов импульсов

По теореме Пифагора $p^2 = p_1^2 + p_2^2 = m_1^2\vartheta_1^2 + m_2^2\vartheta_2^2 = (m_1 + m_2)^2u^2$

$u = \frac{1}{(m_1+m_2)}\sqrt{m_1^2\vartheta_1^2 + m_2^2\vartheta_2^2}$ – расчетная формула.

$u = \frac{1}{5\cdot10^{-3}\text{ кг}}\sqrt{144\cdot10^{-6}\frac{\text{кг}^2\text{м}^2}{\text{с}^4} + 144\cdot10^{-6}\frac{\text{кг}^2\text{м}^2}{\text{с}^4}} = 3{,}4\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Ответ: $u = 3{,}4\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

3.4 Векторно-координатный метод решения задач [21, 22]

Физика исследует строение материи и простейшие формы ее движения и взаимодействия. Под движением понимают всякое изменение состояния материи. К простейшим формам движения материи относят *механическое, тепловое, электромагнитное.*

Под взаимодействием понимают взаимное влияние материальных объектов (*физических тел*), приводящее к изменению их состояния (движения).

Наиболее простой физической формой движения материи является механическое движение. Как и любое явление, механическое движение всегда происходит где-то и когда-то, т.е. в пространстве и во времени.

Все тела имеют некоторую протяженность и занимают некоторое определенное положение относительно друг друга. Эти наиболее общие свойства материальных тел в результате многовековой практической деятельности людей отразились и закрепились в их сознании в виде понятия пространства.

В процессе развития физики с древних времен до настоящего времени открывались различные свойства пространства. Поэтому созданы различные его модели: классическая механическая, релятивистская и квантовая.

Одним из основных свойств классической механической модели пространства является его трехмерность.

Существует 3 способа аналитического описания движения материальной точки в пространстве: естественный, векторный и координатный.

Естественный способ описания движения заключается в том, что положение материальной точки в пространстве определяется по заданной траектории.

Координатный метод описания движения материальной точки состоит в выборе некоторой системы координат, которая связана с телом отсчета. Рассматрим декартову систему координат Oxyz (рис. 69).

Положение материальной точки в любой момент времени определяется тремя координатами *x, y* и *z*, являющимися функциями времени, т.е. $x = x(t);\ y = y(t);\ z = z(t)$. Эти три уравнения называют кинематическими уравнениями движения материальной точки.

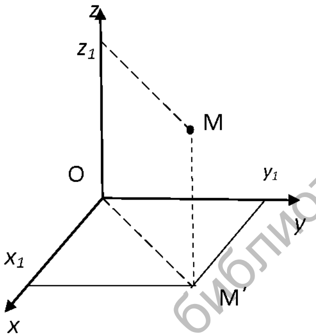


Рис. 69 Декартова система координат

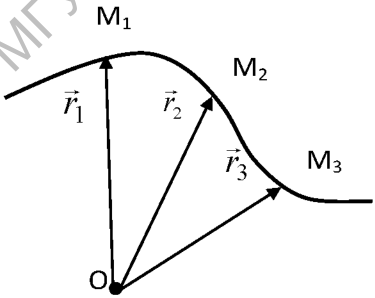


Рис.70 Радиус-вектор материальной точки

Векторный способ предусматривает задание радиус-вектора $\vec{r}$ материальной точки как функции времени *t*, т.е. $\vec{r} = \vec{r}(t)$. Начало радиус-вектора $\vec{r}$ выбирается в некоторой точке *O* тела отсчета, а конец – в положении материальной точки в данный момент времени *t* (рисунок 70). При движении материальной точки радиус-вектор изменяется и по величине, и по направлению и, следовательно, полностью характеризует положение материальной точки в пространстве в любой момент времени.

Рассмотрим связь между векторным и координатным способами описания движения (рис. 71). $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – единичные векторы; $\vec{r}_x, \vec{r}_y, \vec{r}_z$ – составляющие радиус-вектора $\vec{r}$.

Из рисунка следует, что $\vec{r} = \vec{r}_x + \vec{r}_y + \vec{r}_z$. Из математики известно, что $\vec{r} = r_x \cdot \vec{i} + r_y \cdot \vec{j} + r_z \cdot \vec{k}$; $r_x = x$, $r_y = y$, $r_z = z$ – проекции радиус-вектора на соответствующие оси декартовой системы координат. Модуль радиус-вектора равен $|\vec{r}| = r = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + r_z^2} = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$.

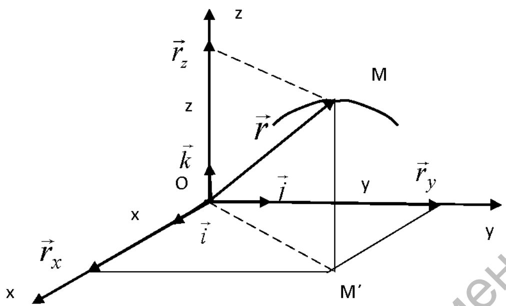


Рис. 71 Связь между радиус-вектором материальной точки и ее координатами

Для определения положения материальной точки в любой момент времени, кроме выбора системы координат, необходимо также задать начало отсчета времени. *Система координат, тело отсчета, с которым она связана, и указание начала отсчета времени образуют* ***систему отсчета****.*

Система отсчета является моделью (образом, сохраняющим основные свойства) пространства-времени, позволяющей решить основную задачу механики.

Существование связи между координатным и векторным способами описания состояния и движения материальной точки позволяет выделить векторно-координатный метод решения физических задач. Этот метод может успешно применяться при решении задач по кинематике, динамике, статике, электростатике и по другим разделам курса физики.

Приведем примеры решения задач векторно-координатным методом.

1. *Тело А свободно падает с высоты Н = 2 м, тело В, находящееся на расстоянии L = 2 м от предполагаемой точки падения тела А, бросают под углом α к горизонту. С какой минимальной скоростью и под каким углом к горизонту нужно бросить тело В, чтобы оно в полете столкнулось с телом А?*

Рассматриваемая задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, конкретной по содержанию.

Объекты исследования в задаче – тела А и В. Воздействующее тело на объекты исследования – Земля. Результат воздействия Земли на данные тела – их равноускоренное движение.

Характеристики движения и положения исследуемых тел - начальная скорость (ϑ_0), ускорение свободного падения (g), координаты (x, y), угол бросания (α).

Информационный базис: уравнения движения в проекции на оси 0х и 0у.

Требование задачи: определить минимальную начальную скорость тела А и угол его бросания для столкновения с телом В.

Решение:

Начало координат совмещаем с точкой, в которой находится тело В (рис. 72).

Запишем уравнения движения тел для тел А и В:

$x_A = L$; $x_B = \vartheta_0 \cdot cos\alpha \cdot t$; $y_A = H - \frac{gt^2}{2}$; $y_B = \vartheta_0 \cdot \sin\alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$.

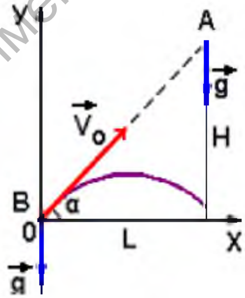


Рис. 72 Рисунок к задаче 1

Условие встречи тел: $x_A = x_B$; $y_A = y_B$;

$$L = \vartheta_0 cos\alpha \cdot t;\ H - \frac{gt^2}{2} = \vartheta_0 \cdot \sin\alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}.$$

$H = \vartheta_0 \cdot \sin\alpha \cdot t$ Разделим второе равенство на первое:

$\frac{H}{L} = \mathrm{tg}\alpha$; $\alpha = \mathrm{arctg}\,\frac{H}{L}$ – расчетная формула, α=45°.

Минимальная скорость второго тела может быть определена из условия столкновения тел в точке падения на Землю.

Тогда: $x_B = L = \upsilon_0 \cdot \cos\alpha \cdot t$; $y_A == 0 = H - \frac{gt^2}{2}.$; $t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$; $\vartheta_0 = \frac{L}{cos\alpha}\sqrt{\frac{g}{2H}}$

$$\vartheta_0 = \frac{L}{cos\alpha}\sqrt{\frac{g}{2H}}$$ – расчетная формула.

$$\vartheta_0 = \frac{2\text{м} \cdot 2}{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{9{,}8\frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{2 \cdot 2\text{м}}} = 4{,}4\,\frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Ответ: α=45°; $\vartheta_0 = 4{,}4\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

2. Шарик, падая вертикально, отскакивает от абсолютно твердой наклонной плоскости, расположенной под углом α к горизонту, со скоростью ϑ_0 (рис. 73). *Определить, на каком расстоянии L от точки падения шарик снова упадет на наклонную плоскость.*

Эта задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактной по содержанию.

Объект исследования в задаче – шарик. Воздействующие тела на объект исследования – Земля. Результат воздействия Земли на шарик-его равноускоренное движение.

Характеристики движения и взаимодействия тел – начальная скорость (ϑ_0), ускорение свободного падения (g), координаты (x, y), угол бросания (α).

Информационный базис: уравнения движения в проекции на оси 0x и 0y.

Требование задачи: определить расстояние между местами ударов на плоскости.

При абсолютно упругом ударе шарика о наклонную плоскость угол его отскока α от наклонной плоскости равен углу падения шарика на наклонную плоскость.

В этой задаче удобно направить ось 0x вдоль наклонной плоскости.

Запишем уравнения движения в проекции на оси 0x и 0y для точки падения шарика на плоскость:

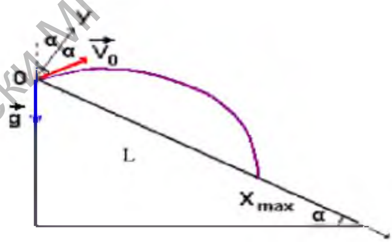


Рис. 73 Рисунок к задаче 2

$$L = \vartheta_0 \cdot \sin\alpha \cdot t + \frac{g\sin\alpha \cdot t^2}{2}; \; 0 = \vartheta_0 \cos\alpha \cdot t - \frac{g\cos\alpha \cdot t^2}{2}.$$

Из последнего равенства выразим t: $t = \frac{2\vartheta_0}{g}$.

Тогда $L = \vartheta_0 \cdot \sin\alpha \cdot \frac{2\vartheta_0}{g} + \frac{g\sin\alpha}{2} \cdot \frac{4\vartheta_0^2}{g^2} = \frac{4\vartheta_0^2 \cdot \sin\alpha}{g}$.

Ответ: $L = \frac{4\vartheta_0^2 \cdot \sin\alpha}{g}$.

3. К вершине прямого кругового конуса прикреплена небольшая шайба с помощью нити длиной L = 1 м (рис. 74). Вся система вращается вокруг оси конуса, расположенной вертикально. Угол при вершине конуса $2\varphi = 120°$. При какой минимальной частоте вращения конуса ν относительно этой оси сила давления шайбы на его боковую поверхность равна нулю?

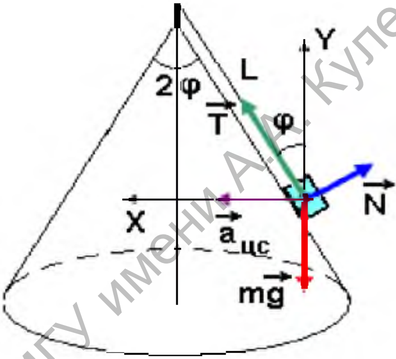


Рис. 74 Рисунок к задаче 3

Данная задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, конкретной по содержанию.

Объект исследования в задаче – шайба. Воздействующие тела на объект исследования – Земля, нить, поверхность конуса. Результат воздействия тел на шайбу – ее равномерное движение по окружности.

Характеристики движения и взаимодействия тел – частота вращения (ν), центростремительное ускорение ($a_ц$), масса шайбы (m), сила тяжести ($F_т$); сила реакции опоры (N); сила натяжения нити (Т).

Информационный базис: второй закон Ньютона, уравнение взаимосвязи центростремительного ускорения материальной точки и частоты ее вращения по окружности.

Требование задачи: определить минимальную частоту вращения конуса, при которой сила давления шайбы на его боковую поверхность равна нулю.

Решение:

При вращении конуса шайба неподвижна относительно его. Частота вращения шайбы и конуса одинаковы.

Запишем второй закон Ньютона в векторной форме для движения шайбы: $m\vec{a}_ц = m\vec{g} + \vec{T} + \vec{N}$.

Выбираем систему координат, как указано на рисунке.

В проекции на оси координат записанное векторное равенство будет иметь вид: $ma_ц = T\sin\varphi - N\cos\varphi$; $0 = T\cos\varphi + N\sin\varphi - mg$.

В момент отрыва шайбы от поверхности конуса

$$N = 0, a\ a_ц = \frac{\vartheta^2}{R} = \frac{4\pi^2\nu^2R^2}{R} = 4\pi^2\nu^2 L\sin\varphi .$$

Тогда $m \cdot a_ц = T \sin\varphi$; $m4\pi^2\nu^2 L = T$; $0 = T \cdot \cos\varphi - mg$ или

$mg = T\cos\varphi$; $\dfrac{4\pi^2\nu^2 L}{g} = \dfrac{1}{cos\varphi}$; $\nu = \dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{g}{Lcos\varphi}}$ – расчетная формула.

$$\nu = \frac{1}{6{,}28}\sqrt{\frac{10\,\frac{м}{с^2}}{1м \cdot 0{,}5}} = 0{,}7\ Гц.$$

Ответ: $\nu = 0{,}7$ Гц.

4. Протон и α-частица, двигаясь с одинаковой скоростью, влетают в плоский конденсатор параллельно пластинам (рис.75). *Во сколько раз отклонение протона полем конденсатора от прямолинейной траектории будет больше отклонения α-частицы?*

Рассматриваемая задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактной по содержанию.

Объекты исследования в задаче – *протон* и *α-частица*. Воздействующие тела на объект исследования – электростатическое поле конденсатора. Результат воздействия электростатического поля на частицы – их равноускоренное движение.

Характеристики движения и взаимодействия тел – начальная скорость (ϑ_0), ускорение движения (a), масса частиц (m), напряженность электростатического поля (E) ,электрическая сила ($F_э$).

Информационный базис: второй закон Ньютона, уравнения движения в проекции на оси 0x и 0y.

Требование задачи: сравнить отклонение протона полем конденсатора от прямолинейной траектории с отклонением α-частицы.

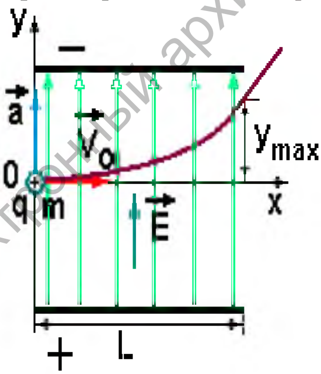


Рис. 75 Рисунок к задаче 4

Решение

Электростатическое поле конденсатора считается однородным. Силовые линии такого поля перпендикулярны пластинам конденсатора и параллельны друг другу. Напряженность поля E является постоянной величиной. Поскольку протон и α – частица имеют положительный заряд, то сила, действующая на них со стороны электростатического поля, направлена по направлению вектора напряжённости $\vec{E}$ поля. Такое же направление будет иметь вектор ускорения a.

вызванный действием этой силы (рис. 75).

Выберем оси координат, как показано на рисунке 75.

Уравнения движения частицы в проекции на оси 0x и 0y для рассматриваемой ситуации: $L = \vartheta_0 \cdot t$; $y_{max} = \dfrac{a\,t^2}{2}$. $a = \dfrac{qE}{m}$. Из записанных уравнений следует: $y_{max} = \dfrac{qEL^2}{2m\vartheta_0^2}$.

С учетом того, что $m_2 = 4\,m_1$ и $q_2 = 2q_1$ $\dfrac{y_{1max}}{y_{2max}} = \dfrac{q_1\,m_2}{q_2\,m_1} = 2$

Ответ: $\dfrac{y_{1max}}{y_{2max}} = 2$.

5. Лестница массой m и длиной l прислонена к стене. Чему равен минимальный угол φ между лестницей и полом, при котором лестница еще находится в равновесии, если коэффициент трения между лестницей и стеной равен μ_1, а между лестницей и полом μ_2?

Данная задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактной по содержанию.

Объект исследования в задаче – лестница. Воздействующие тела на объект исследования тела – пол, стена, Земля. Результат воздействия этих тел – равновесное состояние лестницы.

Характеристики состояния и взаимодействия исследуемого объекта: масса (m); сила тяжести ($F_т$), сила трения ($F_{тр}$); сила реакции опоры (N).

Информационный базис: первое и второе условия равновесия тела, имеющего неподвижную ось вращения.

Требование задачи: определить угол между лестницей и полом.

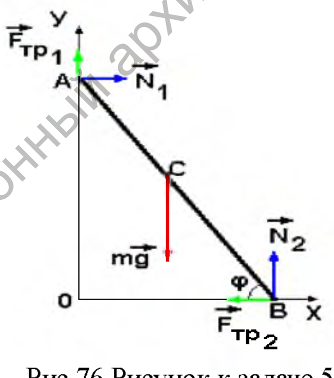


Рис.76 Рисунок к задаче 5

Решение:

Лестницу считаем телом однородным по всей длине, поэтому C – точка приложения силы тяжести mg лежит в середине лестницы АВ (рис. 76). На лестницу в точке А действуют сила трения $F_{тр1}$ и сила реакции стены N_1, в точке B – сила трения $F_{тр2}$ и сила реакции пола N_2.

Запишем условия равновесия лестницы:

$$\vec{F}_{тр1} + \vec{F}_{тр2} + \overrightarrow{mg} + \vec{N}_1 + \vec{N}_2 = 0;$$

$M_1 + M_1 + M_1 + M_1 + M_1 = 0$.

Выберем оси координат так, как показано на рис. 76. В проекции на выбранные оси координат первое уравнение имеет вид:

$-F_{ТР2} + N_1 = 0$; $F_{ТР1} - mg + N_2 = 0$;.

Выберем мгновенную ось вращения лестницы, перпендикулярную плоскости рисунка и проходящую через точку В. Второе условие равновесия лестницы относительно выбранной оси имеет вид:

$$F_{тр1} \cdot lcos\varphi + N_1 lsin\varphi - 0{,}5\, mglcos\varphi = 0 \cdot$$

С учетом того, что $F_{ТР1} = \mu_1 N_1$ и $F_{ТР2} = \mu_2 N_2$

$\mu_1 N_1 \cdot lcos\varphi + N_1 lsin\varphi - 0{,}5\, mglcos\varphi = 0$; или $N_1 \cdot (sin\varphi + \mu_1 cos\varphi) =$
$= 0{,}5\, mgcos\varphi$.

$N_1 = F_{ТР2} = \mu_2 N_2$; $\mu_1 N_1 - mg + N_2 = 0$; $N_1 = \mu_2 N_2 = (mg - \mu_1 N_1)$;

$N_1 = \mu_2 mg - \mu_2 \mu_1 N_1$; $N_1 = \frac{\mu_2 mg}{1+\mu_2\mu_1}$; $\frac{\mu_2 mg}{1+\mu_2\mu_1} \cdot (sin\varphi + \mu_1 cos\varphi) = 0{,}5\, mgcos\varphi$,

$$\frac{\mu_2}{1+\mu_2\mu_1} \cdot (sin\varphi + \mu_1 cos\varphi) = 0{,}5\, cos\varphi;$$

Разделим обе части последнего равенства на $\cos\varphi$:

$\mu_2 sin\varphi + \mu_2\mu_1 cos\varphi = 0{,}5\, cos\varphi(1 + \mu_2\mu_1)$.

$\mu_2 tg\varphi + \mu_2\mu_1 = 0{,}5\,(1+\mu_2\mu_1)$. Тогда $tg\varphi = \frac{1-\mu_2\mu_1}{2\mu_2}$, а $\varphi = \mathrm{arc}tg\, \frac{1-\mu_2\mu_1}{2\mu_2}$.

Ответ: $\varphi = \mathrm{arc}tg\, \frac{1-\mu_2\mu_1}{2\mu_2}$.

3.5 Графический метод решения задач

Графический метод решения физических задач представляет собой метод решения задач с помощью графиков в прямоугольной системе координат. Он может применяться при:

- решении задач по кинематике на описание места и времени встречи тел;
- нахождении физических величин как коэффициентов пропорциональности в некоторой функциональной зависимости;
- определении физических величин, имеющих геометрический смысл. При этом строится график зависимости двух физических величин, произведение которых дает значение другой искомой величины. Поэтому значение этой величины будет равно площади фигуры, лежащей под графиком.

По такому принципу могут быть, например, определены:

- ✓ Пройденный путь и проекция вектора перемещения материальной точки за определенное время по графику проекции ее скорости как функции времени.
- ✓ Изменение проекции скорости материальной точки за некоторое время по графику проекции ее ускорения как функции времени.
- ✓ Изменение количества движения (импульса тела) по графику зависимости силы от времени.
- ✓ Механическая работа силы при некотором перемещении тела по графику зависимости силы от перемещения.
- ✓ Электрический заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за некоторое время по графику зависимости силы тока от времени.
- ✓ Работа газа при расширении или сжатии по графику зависимости давления газа от занимаемого им объема.
- ✓ Работа, совершенная источником тока по зарядке конденсатора по графику зависимости заряда конденсатора от напряжения на его обкладках.

Приведем примеры решения физических задач графическим методом.

1. Определить перемещение тела за пятую секунду равноускоренного движения с ускорением а = 2 $\frac{м}{с^2}$ *из состояния покоя.*

Рассматриваемая задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, конкретной по содержанию.

Объект исследования в задаче – движущееся равноускоренно тело.

Характеристики движения тела – ускорение (a), перемещение тела (Δr), время движения (t).

Информационный базис: графическое изображение зависимости проекции скорости шарика от времени.

Требование задачи: определить перемещение тела за пятую секунду движения.

Решение:

Построим график зависимости проекции скорости от времени (рис. 77).

Перемещение тела за пятую секунду численно равно площади заштрихованной трапеции:

$$\Delta r = \frac{a(t_1+t_2)}{2}(t_2 - t_1) = \frac{a\,(t_2^2 - t_1^2)}{2}.$$

$\Delta r = \dfrac{a\,(t_2^2 - t_1^2)}{2}$ – расчетная формула.

$\Delta r = \dfrac{2\frac{м}{с^2}\cdot 9с^2}{2} = 9м.$

Ответ: $\Delta r = 9$ м.

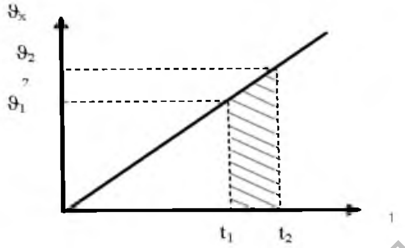


Рис. 77 Рисунок к задаче 1

2. Пассажир, опоздавший к поезду, заметил, что предпоследний вагон прошел мимо него за $t_1 = 10$ с, а последний – за $t_2 = 8$ с. Считая движение поезда равноускоренным, определить время опоздания пассажира.

Эта задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, конкретной по содержанию.

Объект исследования в задаче – движущееся равноускорено тело.

Характеристики движения тела – ускорение (a), перемещение тела (Δr), время движения тела (t).

Информационный базис: графическое изображение зависимости проекции скорости шарика от времени.

Требование задачи: определить время опоздания пассажира.

Решение:

Построим график зависимости проекции скорости от времени (рис. 78). На графике отметим интервалы времени прохождения предпоследнего t_1 и последнего t_2 вагонов. Пройденный вагонами путь определяется площадью фигур S_1 и S_2. Поскольку длины вагонов одинаковы, то одинаковы и расстояния, пройденные поездом за время t_1 и t_2, следовательно, площади трапеций, высоты которых равны t_1 и t_2, равны, т.е. $S_1 = S_2$.

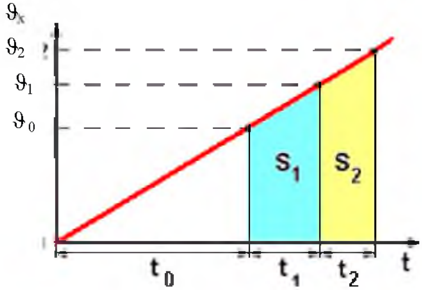


Рис. 78 Рисунок к задаче

Площадь первой трапеции $S_1 = 0{,}5(\vartheta_0 + \vartheta_1)t_1$.

Площадь второй трапеции $S_2 = 0{,}5(\vartheta_1 + \vartheta_2)t_2$.

Приравняв правые части этих равенств, получаем

$(\vartheta_0 + \vartheta_1)t_1 = (\vartheta_1 + \vartheta_2)t_2$, где $\vartheta_0 = a\,t_0$;

$\vartheta_1 = a\,(t_0 + t_1)$; $\vartheta_2 = a\,(t_0 + t_1 + t_2)$.

Подставив эти выражения для скоростей в предыдущее равенство и произведя преобразования, получим выражение

$$t_0 = \frac{t_2^2 + 2t_1 t_2 - t_1^2}{2(t_1 - t_2)}$$ – расчетная формула.

$$t_0 = \frac{64c^2 + 160c^2 - 100c^2}{4c} = 31c$$

Ответ: $t_0 = 31$с.

3. Шарик толкнули вверх вдоль гладкой наклонной плоскости. Точку, отстоящую на расстоянии L = 30 см от начала движения, шарик проходит дважды: через $t_1 = 1$ с и $t_3 = 2$ с после начала движения. Определите начальную скорость и ускорение шарика.

Данная задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, конкретной по содержанию.

Объект исследования в задаче – шарик. Воздействующие тела на объект исследования – наклонная плоскость, Земля. Результат воздействия этих тел – равноускоренное движение шарика.

Характеристики движения и взаимодействия исследуемого объекта – начальная скорость шарика (ϑ_0), ускорение движения шарика (a); сила тяжести ($F_т$), координаты положения шарика (x); сила реакции опоры (N).

Информационный базис: графическое изображение зависимости проекции скорости шарика от времени.

Требование задачи: определить начальную скорость и ускорение шарика.

Решение:

Построим график зависимости проекции скорости шарика от времени (рис. 79). От момента начала движения до момента остановки (верхняя часть графика) и при движении обратно в исходную точку (нижняя часть графика) шарик проходит одинаковый путь. Площади заштрихованных трапеций численно равны L, t_4 момент времени возврата в исходную точку. Из графика видно, что шарик оста-

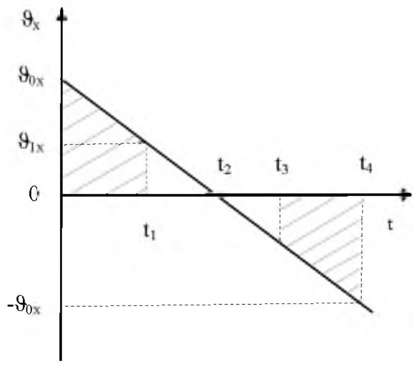


Рис. 79 Рисунок к задаче 3

новится в момент времени $t_2 = 1{,}5$с, а затем катится обратно.

Из подобия треугольников $0\vartheta_{0x}t_2$ и $t_1\vartheta_{1x}t_2$ следует: $\frac{t_2}{t_2 - t_1} = \frac{\vartheta_{0x}}{\vartheta_{1x}}$.

Откуда $\vartheta_{1x} = \frac{\vartheta_{0x}\,(t_2 - t_1)}{t_2} = \frac{\vartheta_{0x}}{3}$ Площадь заштрихованной трапеции равна $L = \frac{(\frac{\vartheta_{0x}}{3} + \vartheta_{0x})t_1}{2} = \frac{2}{3}\vartheta_{0x}t_1$; $\vartheta_{0x} = \frac{3L}{2t_1}$ – расчетная формула.

$\vartheta_{0x} = \frac{3\cdot 0{,}3\text{м}}{2\cdot 1\text{с}} = 0{,}45\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Ускорение шарика $\vartheta_{0x} = \frac{3\cdot 0{,}3\text{м}}{2\cdot 1\text{с}} = 0{,}45\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Ответ: $\vartheta_{0x} = 0{,}45\ \frac{м}{c}$; $a_x = 0{,}3\ \frac{м}{c^2}$.

4. Из колодца глубиной h=20 м ведром достают воду. Внизу колодца ведро заполнено водой до краев. Из-за течи при подъеме ведра часть воды выливается обратно в колодец. Считая, что подъем производится равномерно, а скорость вытекания воды постоянна, определить работу по подъему ведра, если к концу подъема в нем остается $\frac{2}{3}$ первоначальной массы воды. Масса пустого ведра m = 2 кг, объем V = 15 л.

Данная задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, конкретной по содержанию.

Объект исследования в задаче – ведро с водой. Воздействующие тела на объект исследования – шнур, Земля. Результат воздействия этих тел – равномерное движение ведра.

Характеристики движения и взаимодействия исследуемого объекта – скорость ведра (ϑ), сила тяжести ($F_т$), координаты положения ведра (x); сила натяжения шнура (T).

Информационный базис: условие равновесия тела, не имеющего оси вращения, формула для определения силы тяжести, графический смысл механической работы.

Требование задачи: определить работу по подъёму ведра.

Построим график зависимости силы натяжения шнура от высоты подъема ведра (рис. 80).

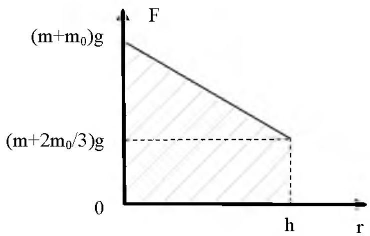


Рис. 80 Рисунок к задаче 4

Исходя из условия равномерного движения ведра с водой сила натяжения шнура при его подъеме убывает по линейному закону. Работа же по подъему ведра с водой из колодца численно равна площади заштрихованной трапеции:

$$A = \frac{1}{2}g\,(m+m_0 + m+2m_0/3)h = \frac{gh}{2}(2m + \frac{5}{3}\rho V).$$

$$A = \frac{gh}{2}(2m + \frac{5}{3}\rho V)$$ – расчетная формула.

$$A = \frac{9{,}8\frac{м}{с^2}\cdot 20м}{2}\left(2\cdot 2кг + \frac{5}{3}\cdot 10^3\frac{кг}{м^3}\cdot 15\cdot 10^{-3}м^3\right) = 2{,}8 \text{ кДж}$$

Ответ: A = 2,8 кДж.

5. Один моль идеального газа нагревают от T_1 до T_2 при этом, температура газа изменяется пропорционально квадрату давления. Найти работу газа.

Эта задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактной по содержанию.

Объект исследования в задаче – идеальный газ. Воздействующие тела на объект исследования – источник внешний энергии. Результат воздействия этого источника – расширение газа.

Характеристики движения и взаимодействия исследуемого объекта – Объем (*V*), давлениет (*p*), температура (*T*).

Информационный базис: уравнение состояния идеального газа.

Требование задачи: определить работу газа.

Решение:

По условию задачи $T=\alpha p^2$, где α коэффициент пропорциональности.

Подставим это выражение для температуры в уравнение состояния идеального газа: $pV = \nu RT = \nu R\alpha p^2$. Тогда $p = \frac{1}{\nu R\alpha}V$.

Построим график полученной зависимости p от V (рис. 81). Работа газа численно равна площади заштрихованной фигуры:

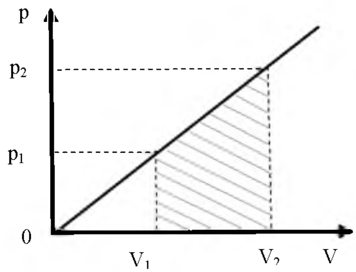


Рис. 81 Рисунок к задаче 5

$$A = \frac{1}{2}(p_1 + p_2)(V_2 - V_1) = \frac{1}{2}(p_1 + p_2)(\nu R\alpha p_2 - \nu R\alpha p_1) =$$

$$= \frac{1}{2}\nu R\alpha\,(p_2^2 - p_1^2) = \frac{1}{2}\nu R(\alpha p_2^2 - \alpha p_1^2) = \frac{1}{2}\nu R(T_2 - T_1).$$

Итак, $A = \frac{1}{2}\nu R(T_2 - T_1)$.

Ответ: $A = \frac{1}{2}\nu R(T_2 - T_1)$.

3.6 Метод дифференцирования и интегрирования [7]

Дифференциальное исчисление – раздел математического анализа, в котором изучаются производные, дифференциалы и их применение к исследованию функций. Методы дифференциального исчисления широко используются для решения физических задач.

По своей сути, производная равна мгновенной скорости изменения функции при изменении аргумента. Так, производная координаты материальной точки (радиус-вектора) по времени даст скорость ее движения в пространстве:

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{\partial}{\partial t}(\vec{\imath}x + \vec{\jmath}y + \vec{k}z) = \vec{\imath}\frac{\partial x}{\partial t} + \vec{\jmath}\frac{\partial y}{\partial t} + \vec{k}\frac{\partial z}{\partial t} = \vec{\imath}\vartheta_x + \vec{\jmath}\vartheta_y + \vec{k}\vartheta_z = \vec{\vartheta}$$

Аналогично мощность силы есть скорость совершения этой силой работы $P = \frac{\partial A}{\partial t}$. Сила тока в проводнике $I = \frac{\partial q}{\partial t}$, где q – положительный электрический заряд.

В физике часто встречаются задачи на определение наименьшего или наибольшего значения той или иной физической величины, т.е. исследование полученной функциональной зависимости на экстремум. Задачи на нахождение максимума или минимума – наибольшего и наименьшего значений – называют экстремальными задачами.

Экстремальные задачи возникают в самых разных областях физики. Так, условием равновесия физической системы является экстремум ее потенциальной энергии. При неустойчивом равновесии будет наблюдаться максимум потенциальной энергии, а при устойчивом – минимум.

Необходимо разделять «локальные» и «абсолютные» экстремумы (максимумы и минимумы).

- *Локальным максимумом (минимумом*) функции называется такая точка, что значение функции в некоторой ее окрестности не больше (не меньше) значения в этой точке.
- *Абсолютным максимумом (минимумом)* функции называется точка, значение функции в которой максимально (минимально) во всем диапазоне исследования данной функции. То есть абсолютный максимум (минимум) выбирается среди локальных максимумов (ми-

нимумов) и крайних точек области исследования функции.

Для поиска точек экстремума удобно использовать теорему Ферма, в соответствии с которой функция имеет локальный экстремум в некоторой точке, если она определена и дифференцируема в ней и в ее окрестности, и производная в этой точке равна нулю.

Однако равенство нулю производной в точке лишь необходимое, но не достаточное условие существования экстремума. Так, производная функции равна нулю и в точках перегиба. Определить, является ли точка, в которой производная функции равна нулю, точкой экстремума, и выяснить в этом случае его тип (максимум или минимум) можно, например, исследуя изменение знака производной в окрестностях данной точки.

Если знак производной меняется с положительного на отрицательный, то это точка максимума, а с отрицательного на положительный – минимума. Если же знак производной не меняется, то это точка перегиба.

Часто удобнее такой анализ проводить при помощи исследования второй производной функции в данной точке. Если она положительна, то это точка минимума, если отрицательна – максимума. В точке перегиба вторая производная равна нулю.

Решение задач по физике на исследование на экстремум состоит из следующих этапов:

✓ Установление функциональной зависимости между физическими величинами на основе физических законов и закономерностей.

✓ Исследование полученной функции на экстремум на основе использования теоремы Ферма.

✓ Установление типа экстремума (максимум или минимум).

✓ Запись формулы для экстремального значения физической величины, которая являлась функцией.

Приведем примеры решения физических задач на нахождение минимального или максимального значения физических величин.

1. Точка A движется согласно уравнениям $x_1 = 2t$, $y_1 = t$, *а точка B – согласно уравнениям* $x_2 = 10 - t$, $y_2 = 2t$ *(x, y – в метрах, t – в секундах). Оба движения происходят в одной плоскости,* x_1, y_1, x_2, y_2 *– координаты точек в прямоугольной системе координат на этой плоскости. Определить расстояние L* *между этими точками в момент их максимального сближения.*

Данная задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, конкретной по содержанию.

Объект исследования в задаче – две движущиеся равномерно прямолинейно точки.

Характеристики движения и взаимодействия исследуемого объекта – скорость движения (ϑ), координаты положения точек (x, y).

Информационный базис: уравнение прямолинейного равномерного движения в проекции на координатные оси.

Требование задачи: определить расстояние l между этими точками в момент их максимального сближения.

Решение:

Расстояние между двумя точками, положение которых задано координатами $l = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$ или с учетом условия задачи: $l = \sqrt{(10 - 3t)^2 + (t)^2} = \sqrt{10(t^2 - 6t + 10)}$; l – функция от времени движения.

Исследуем ее на экстремум:

$$l' = \frac{dl}{dt} = \frac{10(2t - 6)}{2\sqrt{10(t^2 - 6t + 10)}} = \frac{10(t - 3)}{\sqrt{10(t^2 - 6t + 10)}}.$$

$l' = 0$ при t = 3c, при t < 3c $l' < 0$, при t > 3c $l' > 0$. Итак, при t = 3c – минимум функции l (t): $l_{\min} = l$(3c) = $\sqrt{10}$ (м). Ответ: $l_{\min} = \sqrt{10}$ м.

2. С воздушного шара, опускающегося вертикально вниз с постоянной скоростью, модуль которой $\vartheta = 2\ \frac{м}{с}$, бросили вертикально вверх камень со скоростью, модуль которой $\vartheta_0 = 10\ \frac{м}{с}$ относительно земли (рис.82). Какое максимальное расстояние между камнем и шаром по ходу их движения?

Рассматриваемая задача является текстовой по способу выражения условия, количественной по методу исследования проблемы, конкретная по содержанию.

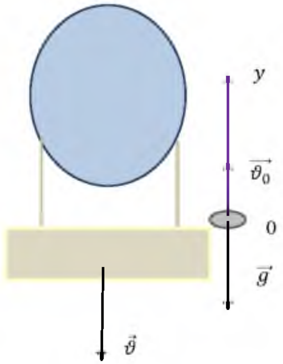


Рис. 82 Рисунок к задаче 2

Объекты исследования в задаче – движущиеся камень и воздушный шар.

Характеристики движения исследуемых объектов – скорость движения (ϑ), начальная скорость движения камня (ϑ_0), координаты положения воздушного шара и камня (y).

Информационный базис: уравнение прямолинейного равномерного и равноускоренного движения в проекции на координатные оси.

Требование задачи: определить максимальное расстояние между камнем и шаром по ходу их движения.

Решение:

Расстояние между воздушным шаром и камнем можно определить так:

$$l = y_2 - y_1 = \vartheta_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2} - \vartheta_y t = (\vartheta + \vartheta_0)t - \frac{g\,t^2}{2}.$$

l – функция от времени движения. Исследуем ее на экстремум:

$$l' = \frac{dl}{dt} = (\vartheta + \vartheta_0) - gt\ .$$

$$l' = 0; \quad t = \frac{(\vartheta+\vartheta_0)}{g} = \frac{(2\frac{м}{с}+10\frac{м}{с})}{9{,}8\frac{м}{с^2}} \approx 1.2с\ .$$

$l' = 0$ при $t = 1{,}2с$, *при* $t < 1{,}2с$ *$l' > 0$, при* $t > 1{,}2с$ *$l' < 0$. Итак, при $t = 1{,}2$ – максимум функции $l(t)$: $l_{max} = l\,(1{,}2с) \approx 7{,}3$ (м).* Ответ: *$l_{max} = 7{,}3$ м.*

3. Тело массой m, находящееся на горизонтальной поверхности, испытывает действие постоянной по модулю силы F. Угол a между вектором силы и горизонтом можно изменять (рис. 83). Определить максимально возможное ускорение тела. Коэффициент трения между телом и поверхностью равен μ.

Эта задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактной по содержанию.

Объект исследования в задаче – некоторое тело.

Воздействующие тела на объект исследования – Земля, горизонтальная поверхность. Результат воздействия этих тел – равноускоренное движение исследуемого объекта.

Характеристики движения и взаимодействия исследуемого объекта – ускорение движения тела (a), масса тела (m), сила тяжести ($F_т$), сила реакции опоры (N) .

Информационный базис: второй закон Ньютона, формулы для определения силы тяжести и силы трения.

Требование задачи: определить максимально возможное ускорение тела.

Решение:

На тело действуют следующие силы: $\vec{F}$; $m\vec{g}$ (сила тяжести); $\vec{N}$ – сила нормальной реакции; $\overrightarrow{F_{тр}}$ – сила трения (скольжения) (рис. 83).

Второй закон Ньютона в векторной форме имеет вид:

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F} + \vec{F}_{тр}$$

В проекциях на координатные оси он записывается так:

Ox: $F\cos\alpha - F_{тр} = ma$,

Oy: $F\sin\alpha + N - mg = 0$, где сила трения $F_{тр} = \mu N = \mu(mg - F\sin\alpha)$. Из записанных уравнений выражаем ускорение:

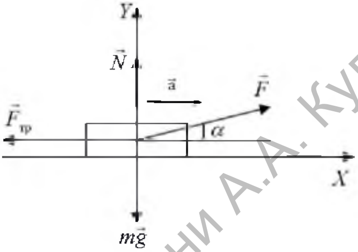


Рис. 83 Рисунок к задаче 3

$$a = \frac{F(cos\alpha + \mu sin\alpha) - \mu mg}{m}$$

Ускорение тела a – функция угла α. Находим производную от этой функции по α:

$\frac{da}{d\alpha} = \frac{F(-\sin\alpha + \mu\cos\alpha)}{m}$; $\frac{da}{d\alpha} = 0$ при $\operatorname{tg}\alpha_0 = \mu$.

При этом для определения $\sin\alpha_0$ и $\cos\alpha_0$ разложим вектор $\vec{F}$ на две составляющие $\vec{F}_x$ и $\vec{F}_y$.

Тогда $tg\alpha_0 = \mu = \frac{F_y}{F_x}$ и $F^2 = F_x^2 + F_y^2 = F_x^2(1 + \mu^2)$

$F_x = \frac{F}{\sqrt{1+\mu^2}}$, а $F_y = \frac{\mu F}{\sqrt{1+\mu^2}}$ и $\sin\alpha_0 = \frac{F_y}{F} = \frac{\mu}{\sqrt{1+\mu^2}}$; $\cos\alpha_0 = \frac{F_x}{F} = \frac{1}{\sqrt{1+\mu^2}}$.

При угле α_0 ускорение данного тела максимально (установить, что имеем максимум, а не минимум, можно по поведению производной или по знаку второй производной). Подставляя выражения для $\sin\alpha_0$ и $\cos\alpha_0$, имеем

$$a_{max} = \frac{F(1+\mu^2)}{m\sqrt{1+\mu^2}} - \mu g = \frac{F}{m}\sqrt{1+\mu^2} - \mu g.$$

Ответ: $a_{max} = \frac{F}{m}\sqrt{1+\mu^2} - \mu g.$

4. К источнику электрического тока с ЭДС ξ и внутренним сопротивлением r подключен реостат (рис. 84). Какую наибольшую тепловую мощность можно получить на внешнем участке цепи?

Данная задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактная по содержанию.

Объект исследования в задаче – электрический ток в замкнутой электрической цепи.

Характеристики электрической цепи – сила электрического тока (I), электрическое напряжение (U), электрическое сопротивление (R), мощность электрического тока (P), ЭДС (ξ) и внутреннее сопротивление (r) источника тока.

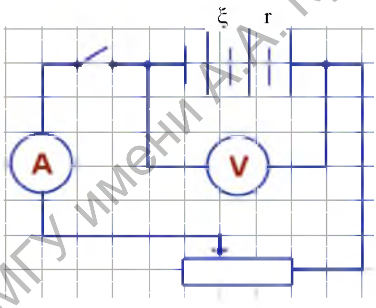


Рис. 84 Рисунок к задаче 4

Информационный базис: закон Ома для замкнутой цепи, зависимость мощности электрического тока от его параметров и параметров электрической цепи.

Требование задачи: определить максимальную тепловую мощность, выделяемую на внешнем сопротивлении электрической цепи.

Решение:

Тепловая мощность на реостате (внешнем участке) сопротивлением R определяется по формуле $P = I^2 \cdot R$, причем сила тока по закону Ома для замкнутой цепи $I = \dfrac{\xi}{R+r}$. Тогда $P = \dfrac{\xi^2}{(R+r)^2} \cdot R$

Таким образом, тепловая мощность P является функцией сопротивления R. Для ответа на вопрос задачи необходимо выяснить, при каком значении сопротивления реостата выделяющаяся на нем тепловая мощность будет максимальной.

Исследуем ее на экстремум: $\dfrac{dP}{dR} = \dfrac{\xi^2(R+r)^2 - \xi^2 R2(R+r)}{(R+r)^4}$;

$$\xi^2(R + r)^2 - \xi^2R2(R + r) = 0; \quad \xi^2R^2 + \xi^2 2Rr + \xi^2r^2 - 2\xi^2R^2 - 2\xi^2Rr = 0.$$

После простейших преобразований имеем $R^2 + r^2 - 2R^2 = 0$, или $R^2 = r^2$; $R = r$. При $R = r$ тепловая мощность на реостате максимальна (установить, что имеем максимум, а не минимум, можно по поведению производной или по знаку второй производной). $P_{max} = \frac{\xi^2}{4r}$

Ответ: $P_{max} = \frac{\xi^2}{4r}$.

Многие задачи по физике приводят к необходимости решения дифференциальных уравнений. Это можно объяснить тем, что многие физические законы являются дифференциальными уравнениями относительно некоторых функций, которые характеризуют эти процессы.

Дифференциальные уравнения являются одним из основных средств для математического решения практических задач. Решение задач физики с помощью дифференциальных уравнений состоит из трех этапов:

1. Составление дифференциального уравнения. Для этого в большинстве случаев проводят деление тел на столь малые части, чтобы их можно было принять за материальные точки, или деление большого промежутка времени на такие малые промежутки времени *dt*, чтобы в течение этих промежутков процесс можно было приближенно считать равномерным (или стационарным) и т.д.

2. Решение этого уравнения. Проводится суммирование (интегрирование) бесконечного количества бесконечно малых слагаемых. Наиболее трудным в этой части *являются выбор переменной интегрирования* и *определение пределов интегрирования*.

Для определения переменной интегрирования необходимо детально проанализировать, от каких переменных зависит дифференциал искомой величины и какая переменная является главной, наиболее существенной. Эту переменную чаще всего и выбирают в качестве переменной при интегрировании. После этого все остальные переменные выражают как функцию этой переменной. В результате дифференциал искомой величины принимает вид функции от переменного интегрирования. Затем определяются границы интегрирования как крайние (предельные) значения переменной интегрирования.

3. Исследования полученного решения.

Метод дифференцирования и интегрирования является универсальным и необходим как при изучении теории, так и при решении задач по физике. В механике с помощью этого метода проводят вычисление работы переменной силы, моментов инерции, при изучении физических полей его используют для расчета напряженностей и потенциалов полей, созданных неточечными зарядами и массами и т.п.

Рассмотрим примеры задач на применение этого метода.

1. Катер массы m движется по озеру со скоростью ϑ_0 В некоторый момент времени выключили его двигатель. Считая силу сопротивления воды движению катера пропорциональной его скорости ($\vec{F} = -k\vec{\vartheta}$), найти:

а) зависимость скорости катера от времени;

б) зависимость скорости катера от пройденного им пути с выключенным двигателем;

в) пройденный катером путь до остановки;

г) время, за которое скорость катера уменьшится в n раз.

Рассматриваемая задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактной по содержанию.

Объект исследования в задаче – движущаяся лодка. Воздействующие тела на лодку – вода и Земля.

Характеристики исследуемого объекта и результата взаимодействия – скорость движения (ϑ), пройденный путь (l), время движения (t) сила сопротивления (F_c), ускорение движения (a), сила тяжести (F_c), сила Архимеда (F_a).

Информационный базис: второй закон Ньютона, уравнение зависимости силы сопротивления от скорости.

Требование задачи: определить параметры движения катера при конкретных условиях.

Решение:

Катер изменяет свою скорость под действием силы сопротивления.

а) По условию задачи $\vec{F} = -k\vec{\vartheta}$, или $m\dfrac{\overrightarrow{d\vartheta}}{dt} = -k\vec{\vartheta}$. Так как $\overrightarrow{d\vartheta} \downarrow\uparrow \vec{\vartheta}$,

то $m\frac{d\vartheta}{dt} = -k\,\vartheta$. $\frac{d\vartheta}{\vartheta} = -\frac{k}{m}\,dt$. $\int\frac{d\vartheta}{\vartheta} = \int -\frac{k}{m}\,dt$. $ln\vartheta = -\frac{k}{m}\,t + C$.
Постоянную C определим из условия, что при t=0 $\vartheta = \vartheta_0$ и $C = ln\vartheta_0$,

а) $ln\frac{\vartheta}{\vartheta_0} = -\frac{k}{m}\,t$

Значит $\vartheta = \vartheta_0 e^{-\frac{k}{m}t}$.

б) Имеем $m\frac{d\vartheta}{dt} = -k\,\vartheta$; $d\vartheta = -\frac{k}{m}\,\vartheta dt$ или $d\vartheta = -\frac{k}{m}\,ds$.

Проинтегрируем полученное равенство: $\int_{\vartheta_0}^{\vartheta} d\vartheta = \int_0^s -\frac{k}{m}\,ds$;

$\vartheta - \vartheta_0 = -\frac{k}{m}s$. $\vartheta = \vartheta_0 - \frac{k}{m}s$.

в) При $\vartheta = 0\ s_{\text{пр}} = \frac{\vartheta_0 m}{k}$.

г) $m\frac{d\vartheta}{dt} = -k\,\vartheta; \frac{d\vartheta}{\vartheta} = -\frac{k}{m}\ dt; \int_{\vartheta_0}^{\frac{\vartheta_0}{n}} d\vartheta = \int_0^t -\frac{k}{m}\ \ dt;\ ln\frac{\vartheta_0}{n\vartheta_0} = -\frac{k}{m}\ t\ ;$

$-\ lnn = -\frac{k}{m}\ t.\ \ t = \frac{lnn\cdot m}{k}.$

Ответ: $\vartheta = \vartheta_0 e^{-\frac{k}{m}t}; \vartheta = \vartheta_0 - \frac{k}{m}s; s_{\text{пр}} = \frac{\vartheta_0 m}{k}; t = \frac{lnn\cdot m}{k}$

2. Тонкий стержень длины l в воздухе равномерно заряжен зарядом Q. Определить потенциал электрического поля этого заряда в точке O, расположенной на оси стержня на расстоянии a от его конца (рис. 85).

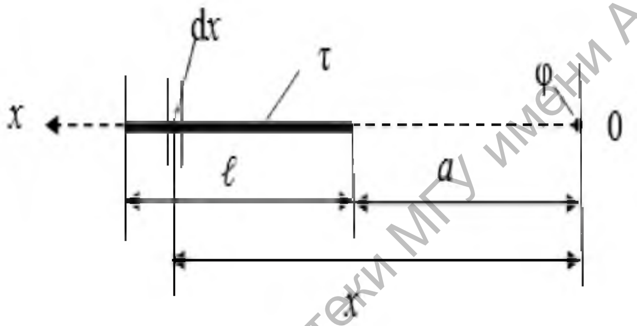


Рис. 85 Рисунок к задаче 2

Эта задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактной по содержанию.

Объект исследования в задаче – электростатическое поле.

Характеристики исследуемого объекта и результата взаимодействия – напряженность электростатического поля (*E*), потенциал электростатического поля (φ).

Информационный базис: формула для определения потенциала поля точечного заряда φ.

Требование задачи: определить потенциал электрического поля этого заряда в точке *O*.

Решение:

Разделим стержень на столь малые участки, чтобы каждый из них можно было принять за материальную точку. Поэтому заряд, расположенный на таком участке, можно считать точечным. Рассмотрим такой участок длины *dx*, отстоящий от точки *A* на расстоянии *x*. Заряд этого участка точечный и составляет $dq = \frac{q}{l}dx$, где $\frac{q}{l} = \tau$ – линейная плотность заряда.

Заряд dq создает электрическое поле, потенциал которого в точке O может быть вычислен по формуле для потенциала поля точечного заряда: $d\varphi = \frac{kdq}{x} = \frac{kq}{lx}dx$, где $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н·м}^2}{\text{Кл}^2}$.

$d\varphi = \dfrac{kq}{lx}dx$ – дифференциал искомой величины как функция одной переменной. Переменная интегрирования x изменяется в пределах от a до $a+l$.

Выполним интегрирование:

$$\varphi = \int_a^{a+l} \frac{kq}{lx}dx = \frac{kq}{l}\int_a^{a+l}\frac{dx}{x} = \frac{kq}{l}\ln\left(1+\frac{l}{a}\right).$$

Ответ: $\varphi = \frac{kq}{l}\ln\left(1+\frac{l}{a}\right)$.

3. Сила тока в проводнике сопротивлением $R=10$ Ом за время $t = 50$ с равномерно увеличивается от $I_1 = 5$А до $I_2 = 10$А. Определить количество теплоты Q, которое выделится за это время в проводнике.

Данная задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, конкретной по содержанию.

Объект исследования в задаче – электрический ток в проводнике.

Характеристики исследуемого объекта – сила электрического тока (I), электрическое напряжение (U), электрическое сопротивление (R), мощность электрического тока (P).

Информационный базис: закон Джоуля-Ленца.

Требование задачи: определить количество теплоты Q, которое выделиться в проводнике за заданный интервал времени.

Решение:

Элементарное количество теплоты, которое выделяется в проводнике за время dt в соответствии с законом Джоуля-Ленца определяется по формуле $dQ = I^2R \cdot dt$, где $I = I_1 + kt$, $k = \frac{I_2 - I_1}{\tau}$. Полное количество теплоты, выделившееся в проводнике за время τ:

$$Q = \int_0^\tau R\,(I_1 + kt)^2 dt = \int_0^\tau R\,(I_1{}^2 + 2I_1kt + k^2t^2)\,dt = R\left(I_1{}^2\tau + I_1k\tau^2 + k^2\frac{\tau^3}{3}\right) =$$

$$= R\tau\left(I_1{}^2 + I_1 k\tau \; + k^2\frac{\tau^2}{3}\right).$$

$$Q = \; R\tau\left(I_1{}^2 + I_1(I_2 - I_{1)}) + \frac{\left(I_2 - I_{1)}\right)^2}{3}\right) = R\tau\left(I_1{}^2 + I_1 I_2 - I_1{}^2 \; + \frac{\left(I_2 - I_{1)}\right)^2}{3}\right) =$$

$$= R\tau\left(\; I_1 I_2 \;\; + \frac{\left(I_2 - I_{1)}\right)^2}{3}\right).$$

$Q = R\tau\left(\; I_1 I_2 \;\; + \frac{\left(I_2 - I_{1)}\right)^2}{3}\right)$ – расчетная формула

$$Q = 10\text{Ом} \cdot 50\text{с}\left(50\text{А}^2 + \frac{25\text{А}^2}{3}\right) = 29167\text{Дж} = 29{,}17\text{кДж}.$$

Ответ: Q = 29,17 кДж.

3.7 Метод математической индукции [24]

Метод математической индукции широко используется в научных исследованиях. Слово «индукция» в переводе на русский язык означает *наведение*, а индуктивными называют *выводы, сделанные на основе наблюдений и опытов*, т. е. полученные путем рассмотрения частных случаев и последующего распространения замеченных факторов на общий случай.

Метод индукции успешно применяется в физике, особенно в экспериментальной. Обобщая достаточно большое количество опытных данных, экспериментаторы делают научные выводы и утверждения. Этот этап в математической науке называется *базисом индукции,* или *неполной индукцией*.

При использовании неполной индукции утверждается обобщенный вывод, или индуктивное предположение, справедливость которого нужно еще доказать. Таким образом, применение неполной индукции в физических исследованиях необходимо, но недостаточно. Чтобы доказать справедливость полученных утверждений на основе неполной индукции, следует исследовать их с позиции математической индукции.

Принцип математической индукции заключается в следующем:

1. Проверяется справедливость утверждения для $n = 1$, 2 и 3.
2. Предполагается справедливость этого утверждения для $n = k$.
3. Доказывается справедливость этого утверждения для $n = k + 1$ с учетом предполагаемой справедливости его для $n = k$.

После этого делается вывод, что утверждение справедливо для любого натурального числа n.

Метод индукции оказывается полезным при решении ряда физических задач. С помощью индуктивного рассуждения устанавливается некая формула на основе обобщения результатов трех или четырех частных случаев. Далее эта формула исследуется с позиции метода математической индукции.

Рассмотрим примеры решения физических задач с применением метода математической индукции.

1. Наблюдатель, стоявший в момент начала движения электропоезда у его переднего края, заметил, что первый вагон прошел мимо него за $t_1 = 4$ с. Сколько времени будет двигаться мимо него десятый вагон? Движение считать равноускоренным.

Рассматриваемая задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, конкретной по содержанию.

Объект исследования в задаче – равноускоренное движение электропоезда.

Характеристика состояния объекта исследования – начальная скорость (ϑ_0), ускорение движения (a), пройденный путь (s), время движения (t).

Информационный базис: уравнение движения и проекции скорости равноускоренного движения на координатную ось, совпадающую с направлением движения электропоезда.

Требование задачи: определить время движения десятого вагона мимо наблюдателя.

Решение

Запишем уравнение прямолинейного равноускоренного движения в проекции на горизонтальную координатную ось, совпадающую по направлению с направлением движения электропоезда и проекции скорости для первого вагона: $L = \frac{at_1^2}{2}$; $\vartheta_1 = at_1$, где ϑ_1 – скорость переднего края второго вагона, когда он проходит мимо наблюдателя, t_1 – время, за которое первый вагон пройдет мимо наблюдателя.

Для второго вагона эти уравнения будут иметь вид:

$$L = \vartheta_1 t_2 + \frac{at_2^2}{2};\ \vartheta_2 = \vartheta_1 + at_2.$$

С учетом ранее записанных уравнений для первого вагона имеем:

$$\frac{at_1^2}{2} = at_1 t_2 + \frac{at_2^2}{2}.$$

После простейших преобразований получим уравнение:

$t_2^2 + 2t_1t_2 - t_1^2 = 0$. Его решение $t_2 = t_1(\sqrt{2} - \sqrt{1})$.

Для третьего вагона уравнение движения будет иметь вид:

$\frac{at_1^2}{2} = \vartheta_2 t_3 + \frac{at_3^2}{2}$ или $\frac{at_1^2}{2} = a(t_1 + t_2)t_3 + \frac{at_3^2}{2}$.

После простейших преобразований получим уравнение

$t_3^2 + 2(t_1 + t_2)t_3 - t_1^2 = 0$. Его решение $t_3 = t_1(\sqrt{3} - \sqrt{2})$.

Из полученных выражений для t_2 и t_3 следует предположение, что $t_n = t_1(\sqrt{n} - \sqrt{n-1})$.

На основе метода математической индукции докажем справедливость этой формулы. Предположим, что данная формула справедлива для $n = k$.

$t_k = t_1(\sqrt{k} - \sqrt{k-1})$. Тогда для $n = k + 1$

$t_{k+1} = t_1(\sqrt{k+1} - \sqrt{k})$, что отражает суть исследуемой формулы.

Значит, $t_n = t_1(\sqrt{n} - \sqrt{n-1})$.

Для десятого вагона $t_{10} = 4с(\sqrt{10} - \sqrt{9}) = 0{,}65$ с.

Ответ: $t_{10} = 0{,}65$ с.

2. Поршневой насос при каждом качании захватывает объем V_0 воздуха. При откачке этим насосом воздуха из сосуда объема V насос совершил n качаний. Найдите установившееся давление в сосуде. Начальное давление внутри сосуда p_0.

Эта задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактной по содержанию.

Объект исследования в задаче – газовый изотермический процесс.

Характеристика состояния объекта исследования – объем газа (V), давление газа (p).

Информационный базис: уравнение изотермического газового процесса.

Требование задачи: определить давления газа в сосуде после его откачки.

Решение:

Запишем уравнение изотермического газового процесса для первого качка насоса: $p_0V = p_1(V + V_0)$, или $p_1 = \frac{p_0V}{V+V_0}$.

Это же уравнение для второго качка насоса: $p_1V = p_2(V + V_0)$;

$p_2 = \frac{p_1 V}{V+V_0}$.

С учетом выражения для p_1: $p_2 = \frac{p_0 V^2}{(V+V_0)^2}$. После третьего качка насо-

са $p_3 = \frac{p_0 V^3}{(V+V_0)^3}$. Для n-го качка насоса $p_n = \frac{p_0 V^n}{(V+V_0)^n}$.

На основе метода математической индукции докажем справедливость этой формулы. Предположим, что данная формула справедлива для $n = k$ $p_k = \frac{p_0 V^k}{(V+V_0)^k}$. Тогда для $n = k + 1$ $p_{k+1} = \frac{p_0 V^{k+1}}{(V+V_0)^{k+1}}$, что отражает суть исследуемой формулы. Значит, $p_n = \frac{p_0 V^n}{(V+V_0)^n}$.

Ответ: $p_n = \frac{p_0 V^n}{(V+V_0)^n}$.

3. Интенсивность звука (шума) за стеной составляет I_0=10 $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ (порог болевого ощущения). Стена сооружена из звукопоглощающего материала. Какой должна быть толщина стены, чтобы в помещении сохранилась норма интенсивности звука ($I_н$=10^{-10} $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$), если интенсивность звука через каждый 1 мм материала убывает на 10%?

Данная задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, конкретной по содержанию.

Объект исследования в задаче – поглощение звука веществом.

Характеристика состояния объекта исследования – интенсивность звука (I).

Информационный базис: зависимость интенсивности звука от степени его поглощения веществом.

Требование задачи: определить толщину стенки.

Решение:

Мысленно разделим стену на слои толщиной 1 мм. После прохождения первого слоя интенсивность звука составляет $I_1 = I_0(1 - \beta)$, где $I_0 = 10$ Вт/м², $\beta = 0{,}1$.

Аналогично: после прохождения второго слоя $I_2 = I_1(1 - \beta) = I_0(1 - \beta)^2$, после прохождения третьего слоя $I_3 = I_2(1 - \beta) = I_0(1 - \beta)^3$. Тогда для n-го слоя $I_n = I_0(1 - \beta)^n$.

Применяем метод математической индукции для этой формулы. Предположим, что данная формула справедлива для $n = k$, т. е. $I_k = I_0(1 - \beta)^k$.

Для $n = k + 1$ запишем $I_{k+1} = I_0(1 - \beta)^{k+1}$, что согласуется с исходной формулой $I_n = I_0(1 - \beta)^n$.

Тогда $n = \dfrac{lg\frac{I_н}{I_0}}{\lg(1-\beta)} = \dfrac{lg10^{-11}}{lg0{,}9} = 240.$ d= 1мм · n = 240 мм.

Ответ: d=240мм.

4. *Специальные методы решения задач.*

4.1 Метод решения задач переходом в систему отсчета, связанную с одним из движущихся тел [22]

Переход в систему отсчета, связанную с одним из движущихся тел, заключается в том, что это тело в его системе отсчета становится неподвижным, а скорость и ускорение других тел относительно данного тела определяются исходя из закона сложения скоростей и ускорений:

$$\vec{\vartheta}_{21} = \vec{\vartheta}_2 - \vec{\vartheta}_1; \quad \vec{a}_{21} = \vec{a}_2 - \vec{a}_1$$

Пусть в неподвижной системе отсчета два тела A и B имеют скорости ϑ_A и ϑ_B, векторы которых направлены так, как показано на рисунке 86а.

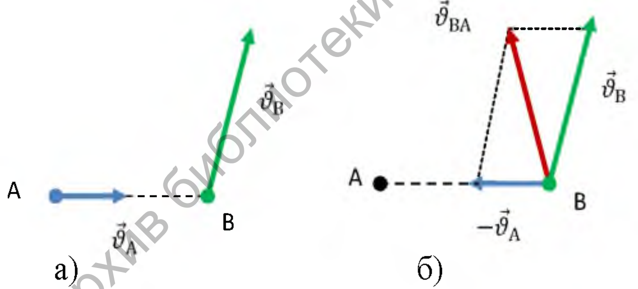


Рис. 86 Относительная скорость движения тел

Вектор скорости тела B относительно тела A изображен на рис. 86б.

Приведем примеры решения задач с применением этого метода.

1. Катер, двигаясь против течения реки, проплывает около стоящего на якоре буя и встречает там плот. Через время t_1 после встречи катер повернул обратно и догнал плот на расстоянии s метров от якоря (рис. 87). Какова скорость течения реки $\vartheta_в$?

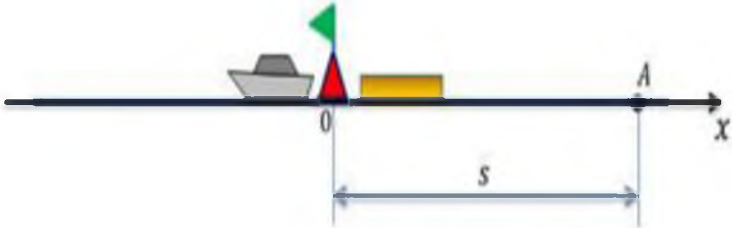


Рис. 87 Рисунок к задаче 1

Рассматриваемая задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактной по содержанию.

Объекты исследования в задаче – движущиеся равномерно плот и катер.

Характеристики исследуемых объектов – скорость движения (ϑ), время движения (t), пройденный путь (s).

Информационный базис: уравнение равномерного прямолинейного движения.

Требование задачи: определить скорость течения реки.

Решение

Систему отсчета «свяжем» с плотом. Тогда уравнения движения плота и катера будут иметь вид: $\begin{cases} x_п = 0 \\ x_к = -\vartheta_1 . t_1 + \vartheta_1 . (t - t_1) \end{cases}$, где ϑ_1 – скорость дивжения катера относительно воды

Для точки A имеем $x_п = x_к$; $0 = -\vartheta_1 \cdot t_1 + \vartheta_1 \cdot t - \vartheta_1 \cdot t_1$. Из полученного уравнения выражаем t (время движения катера до встречи с плотом): $t = 2t_1$. Тогда скорость течения воды $\vartheta_0 = \dfrac{s}{2t_1}$

Ответ: $\vartheta_0 = \dfrac{s}{2t_1}$

2. Спортсмены бегут колонной длины L со скоростью ϑ. Навстречу бежит тренер со скоростью u, причем u < ϑ (рисунок 88а). Каждый спортсмен, поравнявшись с тренером, разворачивается и начинает бежать назад с той же по модулю скоростью ϑ. Какова будет длина колонны, когда все спортсмены развернутся.

Данная задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактной по содержанию.

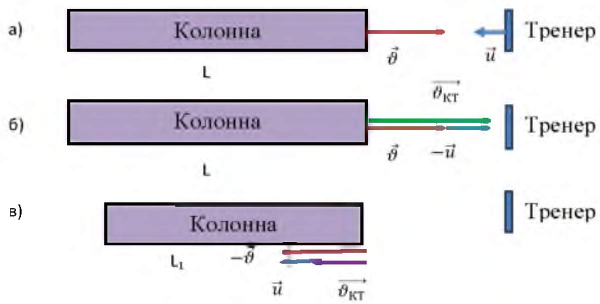


Рис. 88 Рисунок к задаче 2

Характеристики исследуемых объектов – скорость их движения (ϑ, u)

Информационный базис: уравнение равномерного прямолинейного движения, закон сложения скоростей.

Требование задачи: определить длину колонны после разворота всех спортсменов.

Решение:

Задачу решим в системе отсчета, связанной с тренером. В этой системе отсчета тренер неподвижен, а спортсмены при беге навстречу тренеру и имеют скорость относительно его, равную сумме скоростей (ϑ + u) (рис. 88б), а при беге от тренера (ϑ –u) (рис. 88 в).

Время, за которое все спортсмены, поравнявшись с тренером, повернут назад, равно $t = \frac{L}{\vartheta + u}$.

Расстояние, на которое удалится первый поравнявшийся с тренером спортсмен, за это время и будет определять новую длину колонны.

Спортсмены бегут от тренера со скоростью (ϑ – u), поэтому первый спортсмен за время t убежит на расстояние L_1, которое определится по формуле

$$L_1 = (\vartheta - u)t = \frac{L(\vartheta - u)}{\vartheta + u}.$$

Ответ: $L_1 = \frac{L(\vartheta - u)}{\vartheta + u}$.

3. Два автомобиля выезжают одновременно из пунктов A и B, расположенных на расстоянии L друг от друга. Первый автомобиль A едет по прямой дороге, направленной под углом α к прямой AB со скоростью ϑ_A, а второй B – по прямой дороге, составляющей с прямой AB угол β, *со скоростью ϑ_B (рис. 89а). Определить, каким будет минимальное расстояние между автомобилями при их движении.*

Рассматриваемая задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактной по содержанию.

Объекты исследования в задаче – движущиеся равномерно автомобили.

Характеристики исследуемых объектов – скорости их движения (ϑ_A, ϑ_B).

Информационный базис: уравнение равномерного прямолинейного движения, закон сложения скоростей.

Требование задачи: определить минимальное расстояние между автомобилями при их движении.

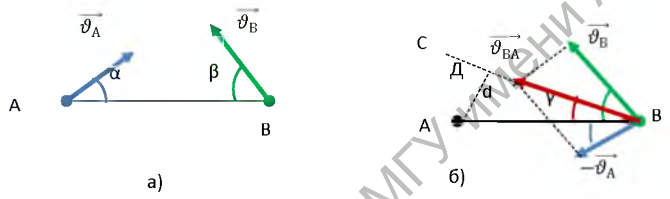


Рис. 89 Рисунок к задаче 3

Решение

Рассмотрим движение автомобиля B в системе отсчета, связанной с автомобилем A (рис. 89б). В этой системе отсчета автомобиль A неподвижен, а автомобиль B движется со скоростью ϑ_{BA} вдоль прямой BC.

Кратчайшее расстояние от неподвижного в этой системе отсчета автомобиля A до прямой BC определится длиной перпендикуляра AD (d), которое является минимальным расстоянием d между автомобилями. Это расстояние определится из прямоугольного треугольника ADB по формуле d = L sin γ.

Угол γ определяется из векторного треугольника скоростей использованием теоремы синусов: $\frac{\vartheta_A}{\sin(\beta-\gamma)} = \frac{\vartheta_B}{\sin(\alpha+\gamma)}$, или $\vartheta_A \sin(\alpha+\gamma) = \vartheta_B \sin(\beta-\gamma)$

$$\vartheta_A (\sin\alpha \cos\gamma + \sin\gamma \cos\alpha) = \vartheta_B (\sin\beta \cos\gamma - \sin\gamma \cos\beta).$$

Разделив обе части полученного равенства на cosγ, получим

$$\vartheta_A (\sin\alpha + \mathrm{tg}\gamma \cos\alpha) = \vartheta_B (\sin\beta - \mathrm{tg}\gamma \cos\beta).$$

Отсюда $\mathrm{tg}\gamma = \left(\frac{\vartheta_B \sin\beta - \vartheta_A \sin\alpha}{\vartheta_A \cos\alpha + \vartheta_B \cos\beta}\right)$, а $\gamma = \mathrm{arctg}\left(\frac{\vartheta_B \sin\beta - \vartheta_A \sin\alpha}{\vartheta_A \cos\alpha + \vartheta_B \cos\beta}\right)$.

Подставив полученное выражение для угла γ в формулу d = L sin γ, получаем значение минимального расстояния между автомобилями

$$d = L \sin \operatorname{arctg}\left(\frac{\vartheta_B \sin\beta - \vartheta_A \sin\alpha}{\vartheta_A \cos\alpha + \vartheta_B \cos\beta}\right).$$

Ответ: $d = L \sin \operatorname{arctg}\left(\frac{\vartheta_B \sin\beta - \vartheta_A \sin\alpha}{\vartheta_A \cos\alpha + \vartheta_B \cos\beta}\right)$.

4. Снежки A и B, отстоящие друг от друга по горизонтали на s и по вертикали на 3s, бросают одновременно со скоростями ϑ_1 под углом α к горизонту вверх и ϑ_2 вертикально вниз ϑ_2 (рис. 90). Через некоторое время снежки столкнулись. Найти скорость снежка B ϑ_2.

Рассматриваемая задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактной по содержанию.

Объекты исследования в задаче – снежки A и B. Воздействующее тело на объекты исследования – Земля. Результат воздействия Земли на данные тела – их равноускоренное движение.

Характеристики движения и положения исследуемых тел – начальная скорость (ϑ), ускорение свободного падения (g), координаты (x, y), угол бросания (α).

Информационный базис: уравнения движения в проекции на оси 0x и 0y.

Требование задачи: определить начальную скорость снежка B.

Решение:

Перейдем в систему отсчета, связанную со вторым телом. Первому телу при этом нужно будет пройти 3S по вертикали и S по горизонтали. Тогда скорость первого тела относительно второго равна $\vartheta_{отн} = \vartheta_{12} = \vartheta_1 - \vartheta_2$, а ускорение $a_{12} = a_1 - a_2 = g - g = 0$. При этом угол наклона относительной скорости таков, что его тангенс $tg\beta = 3$ (рис. 90).

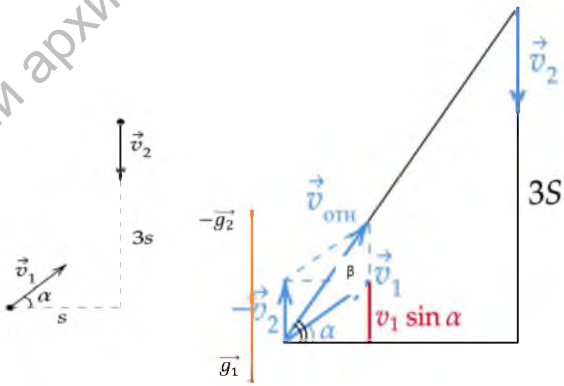


Рис. 90 Рисунок к задаче 4

Из треугольника скоростей тангенс угла β можно расписать так:
$\text{tg}\beta = \frac{\vartheta_1 \cdot sin\alpha + \vartheta_2}{\vartheta_1 \cdot cos\alpha} = 3.$

Из этого уравнения следует, что $\vartheta_2 = \vartheta_1(3\cos\alpha - \sin\alpha)$.

Ответ: $\vartheta_2 = \vartheta_1(3\cos\alpha - \sin\alpha)$.

4.2 Метод решения задач с переходом в систему отсчета, связанную с центром масс системы тел [33]

При решении механических задач неоценимую помощь может оказать использование понятия центра масс системы материальных точек. Центр масс – точка, через которую должна проходить линия действия силы, чтобы под действием этой силы тело (система материальных точек) двигалась поступательно (не вращалось).

Радиус-вектор центра масс механической системы, состоящей из n материальных точек, определяется по формуле: $\vec{r}_{ц.м.} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i \vec{r}_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i}$, где m_i, r_i – масса и радиус-вектор i-тых точек.

При этом координаты центра масс этой системы определяются по формулам: $x_{цм} = \frac{x_1 m_1 + x_2 m_2 + ... + x_n m_n}{m_1 + m_2 + ... + m_n}$; $y_{цм} = \frac{y_1 m_1 + y_2 m_2 + ... + y_n m_n}{m_1 + m_2 + ... + m_n}$;

$$z_{цм} = \frac{z_1 m_1 + z_2 m_2 + ... + z_n m_n}{m_1 + m_2 + ... + m_n}.$$

Рассмотрим некоторые свойства центра масс, дополняющие и поясняющие приведенное выше определение этого понятия.

1. Положение центра масс не изменится, если какую-то часть системы заменить одной точкой с массой, равной массе этой подсистемы и находящейся в ее центре масс.

2. Скорость центра масс определяется как производная по времени от обеих частей равенства для определения радиус-вектора центра масс системы тел: $\vec{\vartheta}_{ц.м.} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i \vec{\vartheta}_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i}$

3. Ускорение центра масс равно производной от его скорости по времени:

$$\vec{a}_{ц.м.} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i \vec{a}_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i}$$

4. Суммарный момент сил тяжести относительно любой оси, проходящей через центр масс, равен нулю. Это значит, что равнодействующая сил тяжести проходит через центр масс, т.е. центр масс является также центром тяжести.

5. Потенциальная энергия системы точек в однородном поле тяжести вычисляется по формуле $W_п = mgh_{цм}$.

Одни задачи просто невозможно решить, не прибегая к этому понятию, решение других с его помощью может стать гораздо проще и нагляднее.

Кинетическая энергия системы точек может быть представлена в виде суммы двух слагаемых: кинетической энергии общего поступательного движения системы, равной $\frac{m\,\vartheta^2_{цм}}{2}$, и кинетической энергии $W_{отн}$ движения относительно системы отсчета, связанной с центром масс: $W = \frac{m\,\vartheta^2_{цм}}{2} + W_{отн}$.

Для решения задач на движение системы связанных тел целесообразно использовать тот факт, что центр масс системы движется так, как двигалась бы воображаемая точка с массой, равной массе системы, под действием результирующей внешней силы. Векторная сумма внутренних сил, действующих между телами системы на основании третьего закона Ньютона равна 0.

Если сумма внешних сил, действующих на систему, равна нулю, то центр масс такой системы движется с постоянной скоростью, т. е. равномерно и прямолинейно. Если первоначально центр масс покоился, то он будет покоиться и в дальнейшем.

Система отсчета, связанная с центром масс замкнутой системы, является инерциальной. При рассмотрении целого ряда задач на движение связанных тел переход в систему отсчета, связанную с центром масс, приводит к значительному упрощению понимания движения каждого из тел и, как следствие, упрощению решения задачи в целом.

Целесообразно использовать эту систему при решении задач на столкновение двух тел (частиц) в случаях как упругого, так и неупругого взаимодействия. В этой системе суммарный импульс двух тел равен нулю до удара и после него. После нахождения скоростей тел в результате взаимодействия достаточно вернуться в исходную систему отсчета, применив закон сложения скоростей.

Рассмотрим примеры решения физических задач этим методом.

1. Железный шар массы m = 500 г движется по гладкой горизонтальной поверхности со скоростью $\vartheta=10\ \frac{м}{с}$ *и сталкивается с неподвижным восковым шаром, имеющим массу M = 200 г, после чего оба шара движутся вместе. Найдите количество теплоты, выделившееся при ударе.*

Рассматриваемая задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, конкретной по содержанию.

Объекты исследования в задаче – сталкивающиеся шары.

Характеристики движения и положения исследуемых тел – скорости шаров (ϑ), массы шаров (m).

Информационный базис: закон сохранения энергии.

Требование задачи: определить количество теплоты, выделившееся при ударе.

Решение:

Найдем скорость центра масс системы шаров до соударения: $\vartheta_{цм}=\frac{m\vartheta}{M+m}$.

Начальные скорости железного и воскового шаров в системе отсчета, связанной с центром масс $\vartheta_1=\vartheta-\vartheta_{цм}=\frac{M\vartheta}{M+m}$; $\vartheta_2=\frac{m\vartheta}{M+m}$.

В системе отсчета, связанной с центром масс, конечная энергия системы равна 0. Поэтому $Q=-\Delta W=\frac{m{\vartheta_1}^2}{2}+\frac{M{\vartheta_2}^2}{2}+\frac{(M+m){\vartheta_{цм}}^2}{2}-\frac{(M+m){\vartheta_{цм}}^2}{2}=$

$$=\frac{mM^2\vartheta^2}{2(M+m)^2}+\frac{Mm^2\vartheta^2}{2(M+m)^2}=\frac{m\,\vartheta^2}{2(M+m)^2}(M^2+Mm)=\frac{m\,M\vartheta^2}{2(M+m)}.$$

Итак $Q=\frac{m\,M\vartheta^2}{2(M+m)}$ – расчетная формула. $Q=\frac{0{,}5кг\cdot0{,}2кг\cdot100\frac{м^2}{с^2}}{2\cdot0{,}7\ кг}=7{,}14Дж.$

Ответ: 7,14 Дж.

2. На гладкой горизонтальной плоскости лежат два одинаковых бруска массой m каждый, связанных легкой пружиной жесткостью k (рис. 91). Первому бруску сообщают скорость ϑ_0 *в направлении от второго бруска. Через какое время деформация пружины впервые достигнет максимального значения?*

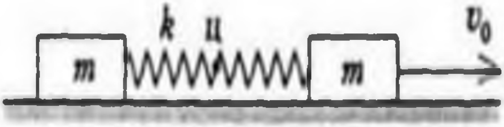


Рис. 91 Рисунок к задаче 2

Данная задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактной по содержанию.

Объекты исследования в задаче – бруски, пружина.

Характеристики движения и положения исследуемых тел – скорости брусков (ϑ), массы брусков (m), жесткость пружины (k).

Информационный базис: формула для определения периода колебаний груза на пружине, закон сохранения импульса, закон сохранения механической энергии.

Требование задачи: найти время, через которое деформация пружины впервые достигнет максимального значения

Решение:

Скорость центра масс системы равна: $\vartheta_{цм}=\frac{\vartheta_0}{2}$. В системе отсчета центра масс начальная скорость каждого бруска равна $\frac{\vartheta_0}{2}$, а жесткость половинной пружины, которая соединяет их с неподвижным центром масс, составляет $2k$ (жесткость пружины обратно пропорциональна ее длине). Период таких колебаний каждого груза равен $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{2k}}$, а амплитуда колебаний каждого бруска, которая находится из закона сохранения энергии ($\frac{m\vartheta_0^2}{8} = \frac{2kx_{max}^2}{2}$), составляет $x_{max} = \vartheta_0\sqrt{\frac{m}{8k}}$.

В первый раз деформация станет максимальной через четверть периода, т.е. через время $\tau = \pi\sqrt{\frac{m}{8k}}$ – расчетная формула.

Ответ: $\tau = \pi\sqrt{\frac{m}{8k}}$.

3. Шар массой m налетает со скоростью ϑ на покоящийся шар массой 2m. Найдите скорости обоих шаров после упругого центрального удара.

Эта задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактной по содержанию.

Объект исследования в задаче – упруго соударяющиеся шары.

Характеристики движения и положения исследуемых тел – скорости шаров (ϑ), массы шаров (m).

Информационный базис: закон сохранения импульса, закон сложения скоростей.

Требование задачи: найти скорости обоих шаров после упругого центрального удара.

Решение:

В системе отсчета, связанной с центром масс, полный импульс двух шаров равен нулю как до, так и после соударения. Конечные скорости, удовлетворяющие одновременно и этому условию, и закону сохранения энергии, будут такие же, как до удара по величине, но изменяющие свои направления на противоположные. Скорость центра масс системы равна $\vartheta_{цм} = \frac{\vartheta}{3}$.

В системе центра масс первый шар движется со скоростью $\frac{2\vartheta}{3}$, а второй шар движется навстречу первому со скоростью $\frac{\vartheta}{3}$. После удара шары будут разлетаться с такими же скоростями.

Вернемся в первоначальную систему отсчета. Применяя закон сложения скоростей, находим, что конечная скорость шара массой *m* равна $\frac{\vartheta}{3}$ и направлена в сторону, противоположную направлению скорости ϑ, а скорость покоившегося раньше шара массой 2*m* равна $\frac{2\vartheta}{3}$ и совпадает по направлению с направлением скорости ϑ.

Ответ: $\vartheta_1 = \frac{\vartheta}{3}$, $\vartheta_2 = \frac{2\vartheta}{3}$.

4.3 Метод отрицательных масс [22]

Этот метод заключается в том, что тело, имеющее свободные полости, считают сплошным, а массу свободных полостей – отрицательной. Он используется при решении задач на определение положения центра масс фигуры, имеющей удаленные из нее участки. Вид формул для определения координат центра тяжести тела при этом не меняется.

Метод отрицательных масс является видоизменением метода разбиения на части. В отличие от обычного метода разбиения на части в данной формуле массы и, следовательно, площади входят со знаком минус. Метод отрицательных масс особенно удобен при вычислении положения центров тяжести тел, имеющих отверстия.

В случае изучения равновесия твердых тел массу удаленного участка считают отрицательной, а силу тяжести этого участка ($-\overrightarrow{mg}$) направляют вверх. В дальнейшем используют условие равновесия тела, находящегося под действием системы параллельных сил.

Приведем примеры решения задач этим методом.

1. Из тонкого однородного диска радиуса R вырезан диск радиуса r ($r < \frac{R}{2}$) (рис. 92). Расстояние между центрами диска и полости a (a > r). Найти положение центра масс диска.

Рассматриваемая задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактной по содержанию.

Объект исследования в задаче – однородный диск.

Характеристики положения исследуемых тел – координаты центра масс.

Информационный базис: условие равновесия тела, имеющего неподвижную ось вращения.

Требование задачи: определить положение центра масс диска.

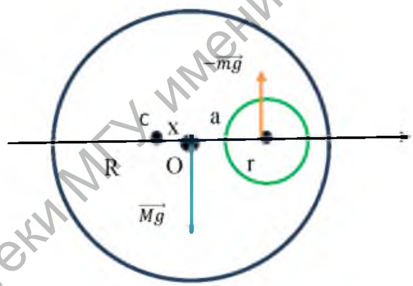


Рис. 92 Рисунок к задаче 1

Решение:

Мысленно заполним полость однородным веществом той же плотности, что и диск. Чтобы проведенная операция была правомерной, введенную в полость массу будем считать отрицательной.

На диск действуют силы тяжести $\overrightarrow{Mg}$ и $-\overrightarrow{mg}$, под действием которых диск находится в равновесии относительно оси, проходящей через центр масс C. После удаления круговой части диска радиуса r он смещается влево от оси основного диска.

Уравнение равновесия диска относительно оси, проходящей через центр масс C, который находится на оси 0x, будет иметь вид: $Mgx - mg(x + a) = 0$ (равенство нулю суммы моментов сил, приложенных к телу, относительно выбранной оси).

Пусть σ – поверхностная плотность вещества. Тогда $\sigma \cdot \pi \cdot R^2 \cdot gx -$ $- \sigma \pi r^2 g(x + a) = 0$ или $R^2x - r^2(x + a) = 0$: $x = \frac{a \cdot r^2}{R^2 - r^2}$.

Ответ: $x = \frac{a \cdot r^2}{R^2 - r^2}$.

2. Определить координату x_c центра масс однородного цилиндра радиуса R, в котором высверлено сквозное цилиндрическое отверстие радиуса r, ось которого параллельна оси цилиндра и находится от нее на расстоянии d.

Эта задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактной по содержанию.

Объект исследования в задаче – однородный цилиндр.

Характеристики положения исследуемых тел – положение центра масс.

Информационный базис: условие равновесия тела, имеющего неподвижную ось вращения.

Требование задачи: определить координату центра масс цилиндра.

Решение:

Изобразим поперечное сечение цилиндра с высверленным в нем цилиндрическим отверстием. Сечение проводим через середину длины цилиндра. Центр масс (точка С) (рис. 93) находится на оси 0х, проходящей через точки О и O_1.

После удаления цилиндрической части радиуса r он смещается вправо от оси основного цилиндра. На рисунке укажем силы тяжестей сплошного цилиндра $M\vec{g}$ и удаленного цилиндра ($-m\vec{g}$). Под действием этих сил цилиндр остается в равновесии, если ось вращения проходит через центр масс. Условие равновесия тела, имеющего ось вращения, заключается в равенстве нулю суммы моментов сил, приложенных к телу, относительно этой оси. Условие равновесия в нашем случае будет иметь вид:

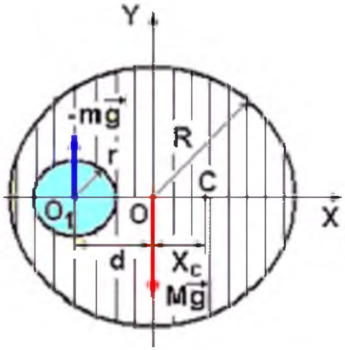


Рис. 93 Рисунок к задаче 2

$-Mg\ x_C + mg(d + x_C) = 0$. Массы M и m определим по формулам $M = \rho V = \rho \pi R^2 L$; $m = \rho \pi r^2 L$, где ρ – объемная плотность вещества цилиндра, L – длина цилиндра.

После подстановки выражений для масс основного и удаленного цилиндров и преобразований получаем выражение:

$-R^2 x_c + r^2(d + x_c) = 0.$

Из этого равенства выразим координату центра масс x_c:

$$x_c = \frac{dr^2}{R^2 - r^2}$$

Ответ: $x_c = \frac{dr^2}{R^2 - r^2}$

3.Определить координату центра масс алюминиевого цилиндра радиуса R, в котором сквозное высверленное цилиндрическое отверстие радиуса r залито свинцом. Расстояние между осями алюминиевого цилиндра и заполненного отверстия d.

Данная задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактной по содержанию.

Объект исследования в задаче – однородный цилиндр.

Характеристики положения исследуемых тел координата центра масс.

Информационный базис: условие равновесия тела, имеющего неподвижную ось вращения.

Требование задачи: определить координату центра масс цилиндра.

Решение:

Изобразим поперечное сечение цилиндра с высверленным в нём цилиндрическим отверстием. Сечение проводим через середину длины цилиндра. Центр масс (точка С) (рис. 94) находится на оси 0х, проходящей через точки О и O_1. Поскольку плотность свинца больше плотности алюминия, то центр масс (точка С) такого цилиндра сместится влево от оси основного цилиндра.

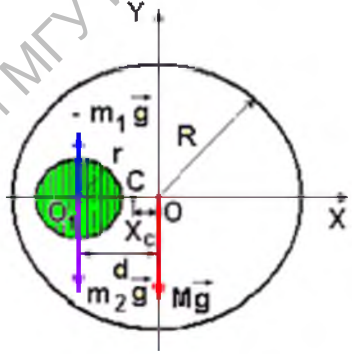


Рис. 94 Рисунок к задаче 3

Масса высверленного алюминиевого цилиндра m_1 считается отрицательной, поэтому сила тяжести ($-m_1\vec{g}$) направлена вверх, а сила тяжести заполняющего это отверстие свинца $m_2\vec{g}$ направлена, как обычно, вниз (рис. 94). Массы М, m_1 и m_2 определим по формулам $M = \rho_{Al}\,\pi R^2 L$; $m_1 = \rho_{Al}\,\pi r^2 L$; $m_2 = \rho_{Pb}\,\pi r^2 L$.

Цилиндр находится в равновесии относительно оси, проходящей через его центр масс, под действием трех сил: $M\vec{g}$, $-m_1\vec{g}$ и $m_2\vec{g}$.

Уравнение равновесия цилиндра относительно оси, проходящей через центр масс, будет иметь вид: $-m_2 g(d - x_C) + m_1 g\,(d - x_C) + Mg\,x_C = 0$.

После подстановки значений M, m_1 и m_2 в это уравнение и преобразований получим выражение, определяющее координату центра масс данного цилиндра: $x_C = \dfrac{dr^2\ (\rho_{Pb} - \rho_{Al})}{\rho_{Al}(R^2 - r^2) + \rho_{Pb} r^2}$.

Ответ: $x_C = \dfrac{dr^2\ (\rho_{Pb} - \rho_{Al})}{\rho_{Al}(R^2 - r^2) + \rho_{Pb} r^2}$.

4.4. Метод объединения и разъединения равнопотенциальных узлов [22]

Этот метод позволяет упрощать схемы электрических цепей путем объединения или разъединения узлов, имеющих равные потенциалы.

Рассмотрим примеры решения задач этим методом:

1. Найти сопротивление приведенного на рис. 95а участка электрической цепи AB.

Приведенная задача является текстовой по способу выражения условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактной по содержанию.

Объект исследования в задаче – участок электрической цепи.

Характеристика состояния объекта исследования – электрическое сопротивление.

Информационный базис: формула для определения общего сопротивления проводников, соединенных параллельно или последовательно.

Требование задачи: определить эквивалентное сопротивление проводников.

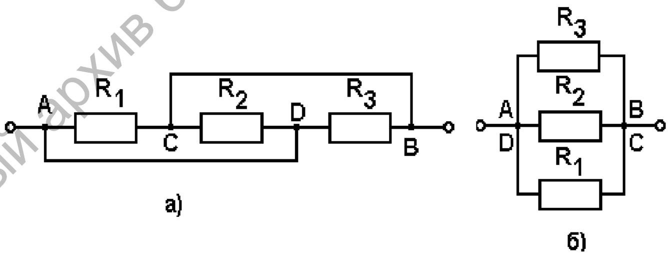


Рис. 95 Схема соединения проводников

Решение:

Сопротивление подводящих проводов считаем равным нулю. Соединенные проводниками точки имеют одинаковый потенциал. Это точки A и D; B и C. Объединив точки A и D в один узел и сделав то же самое с точками В и С, получим эквивалентную схему из трех параллельно соединенных резисторов (рисунок 95б). Общее сопротивление цепи определим по формуле $\frac{1}{R_{\text{общ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$, или $R_{\text{общ}} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3}$.

Ответ: $R_{\text{общ}} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3}$.

2. Найти сопротивление участка электрической цепи, изображенного на рис. 96а, если сопротивления всех резисторов одинаковы и равны R.

Данная задача является текстовой по способу выражения условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактной по содержанию.

Объект исследования в задаче – участок электрической цепи.

Характеристика состояния объекта исследования – электрическое сопротивление.

Информационный базис: формула для определения общего сопротивления проводников, соединенных параллельно или последовательно.

Требование задачи: определить сопротивление однородного участка цепи.

Решение:

Потенциалы точек 1 и 3 одинаковы, поэтому их можно объединить в одну, то же самое можно сделать с точками 2 и 5, 4 и 6. В результате получится эквивалентная схема (рис. 96б).

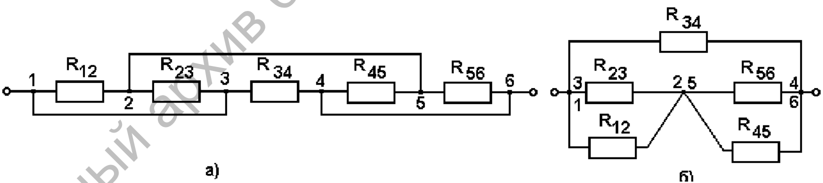


Рис. 96 Схема соединения проводников

Резисторы R_{12} и R_{23} соединены параллельно, следовательно, их общее сопротивление $R_1 = \frac{R}{2}$. Общее сопротивление резисторов R_{45} и R_{56} $R_2 = \frac{R}{2}$. Общее сопротивление части цепи параллельной R_{34} $R_3 = \frac{R}{2} + \frac{R}{2} = R$. Общее сопротивление всего участка цепи $R_0 = \frac{R}{2}$.

Ответ: $R_0 = \dfrac{R}{2}$.

3. Найдите сопротивление участка цепи, который представляет собой каркас из одинаковых отрезков проволоки (рис. 97) *сопротивлением R каждый.*

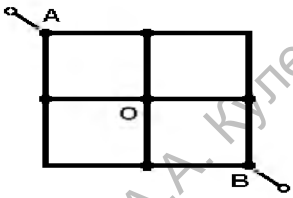


Рис. 97 Рис. к задаче 3

Эта задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактной по содержанию.

Объект исследования в задаче – участок электрической цепи.

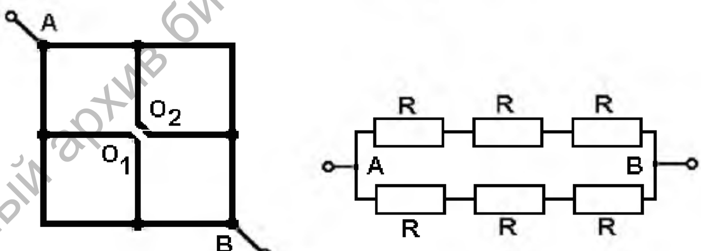
Характеристика состояния объекта исследования – электрическое сопротивление.

Информационный базис: формула для определения общего сопротивления проводников, соединенных параллельно или последовательно.

Требование задачи: определить сопротивление участка цепи.

Решение:

Разделим узел O на две точки O_1 и O_2 так, чтобы они находились в одинаковых условиях (были полностью симметричны) (рис. 98а) и их потенциалы были одинаковы. Эквивалентная схема цепи, полученная после разделения узла O, изображена на рисунка 98б. Общее сопротивление цепи между точками A и B равно $\dfrac{3R}{2}$.



а) б)

Рис. 98 Эквивалентная схема участка цепи

Ответ: $R_{AB} = \dfrac{3R}{2}$.

4. Найдите сопротивление участка электрической цепи, который представляет собой каркас из одинаковых отрезков проволоки (рис. 99а) *сопротивлением R каждый.*

Рассматриваемая задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактной по содержанию.

Объекты исследования в задаче – участок электрической цепи.

Характеристика состояния объекта исследования – электрическое сопротивление.

Информационный базис: формула для определения общего сопротивления проводников, соединенных параллельно или последовательно.

Требование задачи: определить сопротивление участка цепи.

Решение:

Правильным способом разделения узла O на отдельные точки O_1, O_2 и O_3 является способ, изображенный на рисунке 99б. Эквивалентное сопротивление участков (cd) и (ef) будет равно $R_{cd} = R_{ef} = \frac{2R}{3}$.

Эквивалентное сопротивление участка AO_1B равно 2R. Эквивалентная схема цепи, полученная после разделения узла O, изображена на рисунке 99в. Общее сопротивление цепи определим по формуле

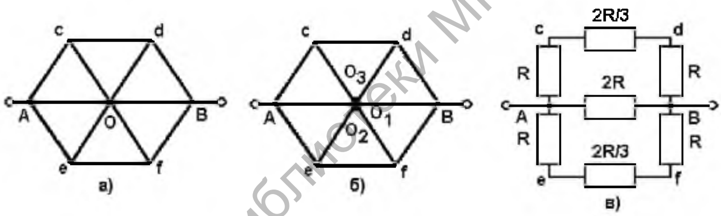


Рис. 99 Рисунок к задаче 4

$$\frac{1}{R_{общ}} = \frac{3}{8R} + \frac{3}{8R} + \frac{1}{2R} = \frac{5}{2R}$$, откуда $R_{AB} = 0{,}8R$.

Ответ: $R_{AB} = 0{,}8R$.

4.5 Метод зеркальных отражений

Этот метод применяется чаще всего при расчетах электростатических полей, ограниченных какой-либо проводящей поверхностью правильной формы или в которых есть геометрически правильной формы граница между двумя диэлектриками. Он заключается в сведении исходной задачи, в которой рассматриваются заряды и граничные поверхности, в которой есть те же заряды и добавочные (фиктивные) заряды-изображения в безграничной среде. Эти заряды-изображения помещаются вне той области, в которой определяется поле.

Правила построения зарядов-изображений полностью аналогичны тем, по которым строятся изображения точечных источников в оптике в системе зеркал. Зеркала имеют ту же форму, что и граничные поверхности.

Поясним сущность этого метода на конкретном примере.

Пусть точечный заряд $+q$ находится на расстоянии a от бесконечной металлической плоскости с нулевым потенциалом (рис. 100). Какая сила действует на него?

На металлической поверхности, обращенной к заряду $+q$, будет индуцироваться заряд противоположного знака $-q_{инд}$, так как в металлах есть свободные электроны и под действием электростатического поля заряда $+q$ происходит перераспределение электронов в пластине.

На противоположной же стороне пластины по поверхности распределен индуцированный заряд $+q_{инд}$.

Нарисуем картину силовых линий электростатического поля заряда $+q$ и поверхности с наведенным на ней зарядом $-q_{инд}$. Поверхность проводника эквипотенциальна, что означает, что все точки этой поверхности имеют равный потенциал (в нашем случае потенциал поверхности равен нулю). Силовые линии поля перпендикулярны поверхности (составляющая электрического поля, параллельная поверхности, вызовет движение зарядов в проводнике, которое прекратится лишь тогда, когда эта составляющая поля в проводнике будет полностью скомпенсирована полем, создаваемым индуцированными зарядами). Вблизи точечного заряда картина силовых линий близка к той, которую мы имеем для одиночного заряда. Силовые линии начинаются на заряде $+q$, поскольку он положительный. Таким образом, имеем картину силовых линий, которая изображена на рисунке 101.

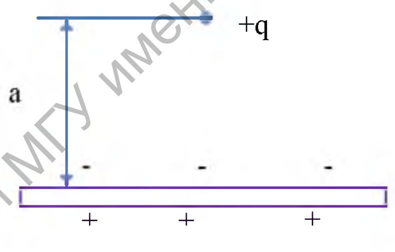


Рис. 100 Взаимодействие точечного заряда с металлической лоскостью

На рисунке 101 пунктирными линиями изображены эквипотенциальные поверхности, они перпендикулярны силовым линиям в точке пересечения.

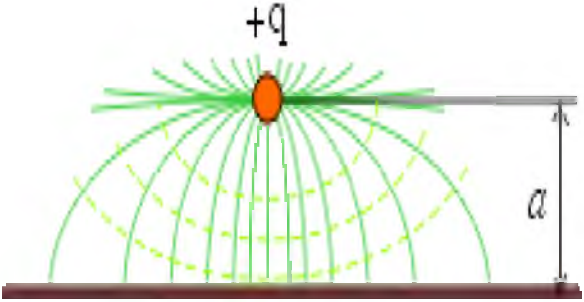


Рис. 101 Силовые линии электростатического поля заряда

Теперь изобразим картину силовых линий двух одинаковых по величине и противоположных по знаку точечных зарядов, расположенных на расстоянии 2а (рис. 102).

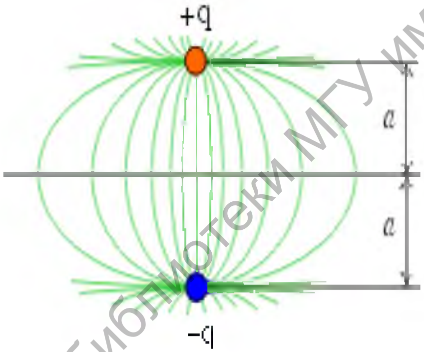


Рис. 102 Силовые линии двух одинаковых
по величине и противоположных по
знаку точечных зарядов

Верхняя половина рис. 102 совпадает с рис. 101. К тому же в случае двух точечных зарядов одна из эквипотенциальных поверхностей – плоскость, перпендикулярная отрезку, соединяющему заряды и делящая его пополам, то есть она расположена там же, где металлическая плоскость.

Потенциал любой точки этой плоскости равен нулю. В обоих случаях поле вблизи заряда $+q$ одно и то же. А поскольку поле одно и то же, то и силы, действующие на заряд $+q$, в обоих случаях одинаковы.

Таким образом, искомая сила равна $F = \frac{kq^2}{4a^2}$.

Приведем еще примеры решения физических задач этим методом.

1. На расстоянии l = 30 см от бесконечной металлической пластины находится точечный заряд q = 12 нКл. Какую работу необходимо совершить, чтобы медленно удалить заряд от пластины на большое расстояние?

Приведенная задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, конкретной по содержанию.

Объект исследования в задаче – взаимодействие точечных электрических зарядов и электростатическое поле.

Характеристики состояния объекта исследования – электрический заряд (q), потенциальная энергия взаимодействия ($W_{пот}$).

Информационный базис: формула для определения силы взаимодействия точечных зарядов.

Требование задачи: определить работу по удалению зарядов на большое расстояние.

Решение:

Систему точечный заряд – металлическая плоскость заменим системой двух точечных зарядов +q и – q , расположенных на расстоянии $2l$ друг от друга. Они взаимодействуют с силой $F = \frac{kq^2}{4l^2}$. Работа внешних сил по удалению заряда q от пластин для описанного взаимодействия,

$$dA = qd\varphi \, . \, d\varphi = Edl. \quad E = \frac{kq}{4l^2} \, . \, A = \int_l^\infty \frac{kq^2}{4l^2} \, \mathrm{dl} = \frac{kq^2}{4l};$$

$A = \frac{kq^2}{4l}$ – расчетная формула

$$A = \frac{9 \cdot 10^9 \frac{Н \cdot м^2}{Кл^2} q \cdot 144 \cdot 10^{-18} \text{ Кл}^2}{4 \cdot 0{,}3 \text{ м}} = 1080 \cdot 10^{-9} \text{ Дж} = 1{,}1 \text{ мкДж}.$$

Ответ: А = 1,1 мкДж.

2. Из бесконечности к металлической пластине движется точечный заряд +q массой m. Определите энергию взаимодействия заряда и пластины, а также скорость заряда в тот момент, когда он будет находиться на расстоянии L от пластины. Скорость заряда на бесконечности принять равной нулю.

Приведенная задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактной по содержанию.

Объект исследования в задаче – взаимодействие точечных электрических зарядов и электростатическое поле.

Характеристика состояния объекта исследования – электрический заряд (q), потенциальная энергия взаимодействия ($W_{пот}$).

Информационный базис: формула для определения потенциальной энергии взаимодействия точечных электрических зарядов и кинетической энергии движущейся частицы.

Требование задачи: определить энергию взаимодействия заряда с плоскостью и скорость заряженной частицы.

Решение

Систему точечный заряд – металлическая плоскость заменим системой двух точечных зарядов +q и – q, расположенных симметрично относительно плоскости. Тогда расстояние между зарядами будет $2L$. Потенциальная энергия взаимодействия пластины с зарядом +q на расстоянии L будет равна половине энергии взаимодействия зарядов +q и –q, так как электрическое поле существует только с той стороны, где находится реальный заряд +q. $W = -\frac{kq^2}{4L}$. Полная энергия этой системы в начальном состоянии равна 0. При приближении частицы к пластине ее кинетическая энергия $W_к = \frac{\vartheta^2}{2}$; Тогда $-\frac{kq^2}{4l} + \frac{\vartheta^2}{2} = 0$. Выражаем из последнего равенства ϑ: $\vartheta = \sqrt{\frac{kq^2}{2ml}} = q\sqrt{\frac{k}{2ml}}$.

Ответ: $W_{пот} = -\frac{kq^2}{2l}$; $\vartheta = q\sqrt{\frac{k}{2ml}}$.

3. Шарик массой m, имеющий заряд q, подвешен на нити длиной l. На расстоянии h под ним находится проводящая плоскость (рис. 103). Определите период свободных колебаний маятника при малых углах отклонения от вертикали.

Эта задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактной по содержанию. Объект исследования в задаче – колебательная механическая система (математический маятник).

Характеристика состояния объекта исследования – период колебаний (T), потенциальная энергия взаимодействия ($W_{пот}$), кинетическая энергия движения тела ($W_{кин}$).

Информационный базис: формула для периода колебаний математического маятника, закон Кулона.

Требование задачи: определить период свободных колебаний маятника.

Решение:

Данная система является математическим маятником, следовательно, можно использовать формулу для определения его колебаний: $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g_{эф}}}$, где $g_{эф}$ определяется по формуле $g_{эф} = \frac{F_н}{m}$. $F_н$ – сила натяжения нити в отсутствие колебаний.

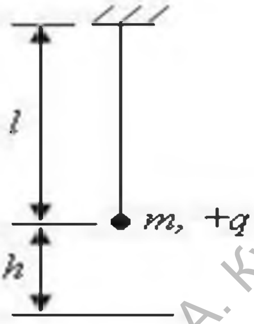


Рис. 103 Математический маятник

Систему точечный заряд – металлическая плоскость заменим системой двух точечных зарядов +q и – q, расположенных симметрично относительно плоскости. Тогда $g_{эф} = \frac{\frac{kq^2}{4h^2}+mg}{m} = \frac{kq^2+4h^2mg}{4h^2m}$ и

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{4h^2ml}{kq^2+4h^2mg}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{\frac{kq^2}{4h^2m}+g}}.$$

Ответ: $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{\frac{kq^2}{4h^2m}+g}}$.

4.6 Метод векторных диаграмм

Векторная диаграмма – графическое изображение меняющихся по закону синуса (косинуса) величин и соотношений между ними при помощи направленных отрезков – векторов.

Векторные диаграммы широко применяются для расчета электрических цепей переменного тока, в акустике и оптике.

Гармоническое колебание может быть представлено графически в виде проекции на некоторую ось (обычно берут ось координат Ox) вектора, вращающегося с постоянной угловой скоростью ω. Длина вектора соответствует амплитуде, угол поворота относительно оси (Ox) – фазе колебаний.

Сумма (или разность) двух и более колебаний на векторной диаграмме представлена при этом (геометрической) суммой (или разностью) векторов этих колебаний. Мгновенное значение искомой величины определяется при этом проекцией вектора суммы на ось Ох, амплитуда – длиной этого вектора, а фаза – углом его поворота относительно Ох.

4.6.1 Векторные диаграммы цепей переменного тока [23]

Векторные диаграммы для цепей переменного гармонического тока строятся с учетом сдвига фаз между током и напряжением в катушке индуктивности, конденсаторе и резисторе.

Существует несколько разновидностей векторных диаграмм, которые строятся для анализа цепей переменного тока:

Диаграммы токов показывают фазовые соотношения между токами в разных ветвях цепи.

Диаграммы напряжений показывают фазовые соотношения между напряжениями на отдельных участках цепи

Диаграммы мощностей используются в цепях с нелинейными и несимметричными элементами.

Комбинированные диаграммы включают изображение и токов, и напряжений для общего анализа цепи.

Так, для участка электрической цепи, приведенной на рис. 104, векторная диаграмма напряжений имеет вид, приведенный на рис. 105.

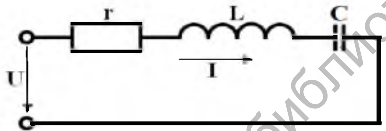


Рис. 104 Рисунок электрической цепи

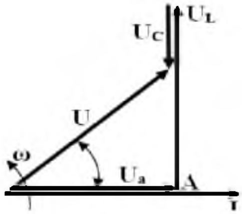


Рис. 105 Векторная диаграмма напряжений

Векторные диаграммы токов для электрических цепей, схемы которых изображены на рис. 106а и 106б приведены на рис. 107а и 107б.

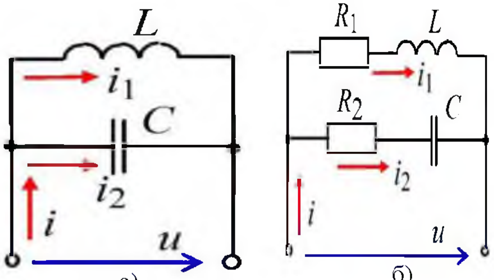


Рис. 106 Схемы электрических цепей

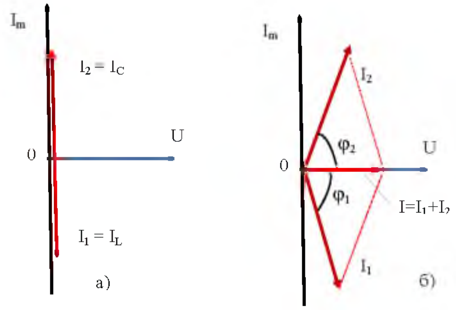


Рис. 107 Векторные диаграммы токов

Приведем пример решения задачи с применением метода векторных диаграмм: *В схеме, изображенной на рис. 108, были измерены напряжения на активном сопротивлении U_R и на зажимах катушки $U_к$, а также угол* **φ** *между вектором напряжения $\vec{U}_K$ и вектором тока $\vec{I}$. Определить величину входного напряжения U.*

Приведенная задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактной по содержанию.

Объект исследования в задаче – электрическая цепь переменного гармонического тока.

Характеристика состояния объекта исследования – активное сопротивление (R), реактивное сопротивление (X), электрическое напряжение (U).

Информационный базис: правила построения векторных диаграмм.

Требование задачи: определение величины входного напряжения *U*.

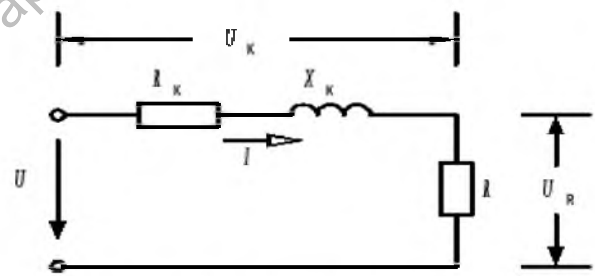


Рис. 108 Схема электрической цепи

Решение:

Построим векторную диаграмму напряжений для рассматриваемой цепи (рис. 109).

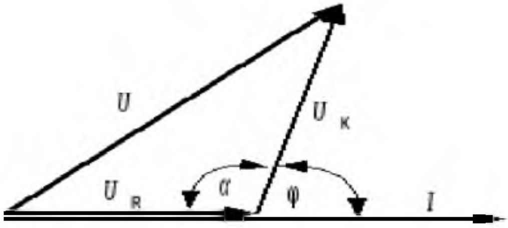


Рис. 109 Векторная диаграмма напряжений

Так как цепь неразветвленная, построение начинаем с вектора тока $\vec{I}$. Вдоль него проводим вектор $\overrightarrow{U_R}$ и к нему прибавляем вектор $\overrightarrow{U_к}$, опережающий ток на угол φ.

Сумма векторов $\overrightarrow{U_R}$ и $\overrightarrow{U_к}$ дает вектор входного напряжения $\vec{U}$, длину которого, определяющую величину входного напряжения, найдем по теореме косинусов: $U = \sqrt{U_к^2 + U_R^2 - 2U_R \cdot U_к \cdot \cos(180° - \varphi)} =$

$= \sqrt{U_к^2 + U_R^2 + 2U_R \cdot U_к \cdot \cos\varphi}$.

Ответ: $U = \sqrt{U_к^2 + U_R^2 + 2U_R \cdot U_к \cdot \cos\varphi}$.

4.6.2 Сложение гармонических колебаний

Пусть необходимо определить амплитуду результирующего колебания в точке О при сложении двух колебаний, заданных уравнениями $x_1 = A_1\cos(\omega_0 t + \varphi_1)$ и $x_2 = A_2\cos(\omega_0 t + \varphi_2)$.

Построим векторную диаграмму результирующего колебания (рис. 110).

Из векторной диаграммы следует, что сумма векторов $\vec{A}_1$ и $\vec{A}_2$ определяет вектор $\vec{A}$ по теореме косинусов:

$A^2 = A_1^2 + A_2^2 - 2A_1 \cdot A_2 \cdot \cos(\pi - \Delta\varphi) = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 \cdot A_2 \cdot \cos\Delta\varphi$, где $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$, $tg\varphi_0 = \frac{A_1 \cdot sin\varphi_1 + A_2 \cdot sin\varphi_2}{A_1 \cdot cos\varphi_1 + A_2 \cdot cos\varphi_2}$.

Приведем пример решения задачи на сложение гармонических колебаний: *Складываются два колебания одинакового направления, выраженные уравнениями* $x_1 = 2\sin(\pi t)$ см *и* $x_2 = 4sin\,(\pi\, t + \frac{\pi}{3})$ см. *Составить уравнение результирующего колебания.*

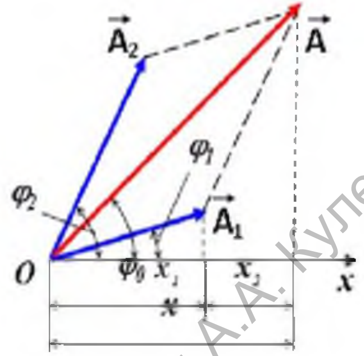


Рис. 110 Векторная диаграмма результирующего колебания

Рассматриваемая задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, конкретной по содержанию.

Объект исследования в задаче – гармонические колебания.

Характеристики состояния объекта исследования – амплитуда колебаний (А), циклическая частота колебаний (ω), начальная фаза колебаний (φ_0).

Информационный базис: правила построения векторных диаграмм.

Требование задачи: составить уравнение результирующего колебания.

Решение:

Уравнение результирующего колебания записывается в виде

$$x = A\sin(\omega t + \varphi_0).$$

Для нахождения параметров результирующего колебания применим ранее составленную векторную диаграмму и уравнения

$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 \cdot A_2 \cdot \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$ и

$$tg\varphi_0 = \frac{A_1 \cdot sin\varphi_1 + A_2 \cdot sin\varphi_2}{A_1 \cdot cos\varphi_1 + A_2 \cdot cos\varphi_2}$$

$A^2 = 4 + 16 + 2 \cdot 2 \cdot 4 \cdot \cos(60^\circ - 0^\circ) = 28;$

$A = 5{,}3$ см

$$\varphi_0 = arctg\frac{2 \cdot sin\varphi 0^\circ + 4 \cdot sin60^\circ}{2 \cdot cos0^\circ + 4 \cdot cos60^\circ} = \text{arctg}\ 0{,}865 = 11^\circ = 0{,}23\pi$$

$x = 5{,}3\ \sin(\pi t + 0{,}23\pi)$ см.

Ответ: $x = 5{,}3\ \sin(\pi t + 0{,}23\pi)$ см.

4.6.3 Векторные диаграммы в оптике

Согласно исследованиям, которые проводил в своих работах Френель, в некоторых случаях амплитуда колебаний при интерференции волн может быть найдена алгебраическим или геометрическим суммированием.

Допустим, что сферическая или плоская волна падает на непрозрачный экран, имеющий отверстие. Определим распределение интенсивности света, которое получится позади экрана. При этом учтем, что:

1. Непрозрачные элементы экрана не выступают в качестве источников вторичных волн.
2. Точки фронта волны являются источниками вторичных волн в отверстии экрана.

Пусть точка М является источником сферической волны, фронт которой в некоторый момент времени t S (рис. 111).

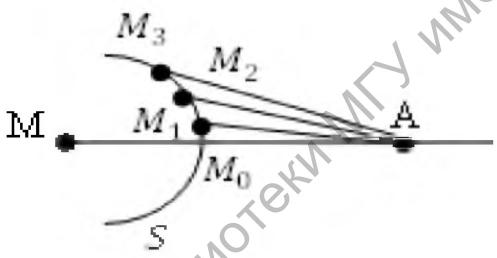


Рис. 111 Фронт сферической волны

Для нахождения интенсивности световой волны в точке А разобьем поверхность волны на кольцевые зоны, такие, что расстояния от краев зоны до точки А различались на половину длины волны ($\frac{\lambda}{2}$).

Пусть точки M_0, M_1, M_2,… являются границами зон (рис. 112) . Тогда

$$\mathrm{M_1A - M_0A} = \frac{\lambda}{2};\ \mathrm{M_2A - M_1A} = \frac{\lambda}{2}; \dots\dots\dots\dots \mathrm{M}_n\mathrm{A} - \mathrm{M}_{n-1}\mathrm{A} = \frac{\lambda}{2}\ .$$

Центральную зону называют нулевой (S_0). (Иногда центральную зону называют первой, тогда считают, что m=1,2,...).

Если кривизну сферического фронта волны обозначить как R, то радиусы зон Френеля r_m (рисунок 112) можно приближенно вычислить, применяя формулу: $r_m = \sqrt{\dfrac{l \cdot R(m+1)\lambda}{R+l}}$

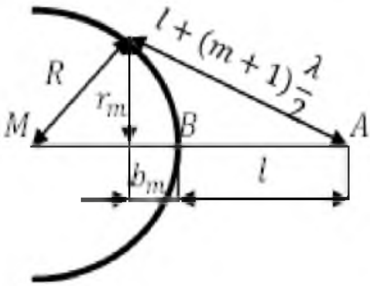


Рис. 112 Радиус зоны Френеля

По известному радиусу можно вычислить площадь m-зоны. Так, площадь нулевой зоны можно вычислить по формуле $S_0 = \pi r_0^2 = \pi \frac{l \cdot R\,\lambda}{R+l}$.

Площади всех остальных зон равны площади нулевой зоны. Обычно кривизной волновой поверхности пренебрегают, тогда площадь кольцевой зоны считают равной ее проекции на плоскость, которая перпендикулярна прямой МА (рис. 112).

Амплитуда колебаний, которые возбуждают зоны Френеля в точке А, создают монотонно убывающую последовательность. Фазы колебаний соседних зон различаются на π.

В результате амплитуда вектора напряженности электрической составляющей световой волны в точке А определяется так:

$$E = E_1 - E_2 + E_3 - E_4 + \ldots\ldots\ldots = \frac{E_1}{2} + \left(\frac{E_1}{2} - E_2 + \frac{E_3}{2}\right) +$$
$$+ \left(\frac{E_3}{2} - E_4 + \frac{E_5}{2}\right) + \ldots\ldots = \frac{E_1}{2}.$$

Эта формула свидетельствует о том, что при свободном распространении волны волновое возмущение от всего фронта составляет половину возмущения, создаваемого только первой зоной Френеля.

Такой же результат может быть получен при использовании векторных диаграмм в методе зон Френеля (рис. 113). Колебания кольцевых подзон, которые они возбуждают в точке наблюдения, на векторной диаграмме изображают при помощи векторов $\overline{A_0 A_1}$; $\overline{A_1 A_2}$; $\overline{A_2 A_3}$; ……, которые образуют ломаную линию. Длина вектора равна амплитуде колебаний. Угол задает начальную фазу.

Колебания, которые возбуждают соседние подзоны, являются векторной суммой этих векторов. При устремлении количества подзон к бесконечности ломаная линия перейдет в непрерывную спираль, которая вьется около фокуса F. На данной спирали действие всего фронта волны представлено вектором $\overline{A_0 F}$, который в два раза короче вектора, определяющего действие первой зоны Френеля.

Рис. 113 Векторные диаграммы метода зон Френеля

Приведем пример решения задачи по оптике с применением метода диаграмм: *На пути луча, идущего в воздухе, поставили диафрагму с круглым отверстием, пропускающим: 1) половину первой зоны Френеля; 2) первую зону Френеля; 3) первые полторы зоны Френеля. Как изменилась при этом интенсивность света в точке наблюдения, находящейся на оси отверстия?*

Рассматриваемая задача является текстовой по способу задания условия, количественной по методу исследования проблемы, абстрактной по содержанию.

Объект исследования в задаче – световая электромагнитная волна.

Характеристики состояния объекта исследования – амплитуда колебаний (Е), циклическая частота колебаний (ω).

Информационный базис: правила построения векторных диаграмм.

Требование задачи: сравнить интенсивность света при разных размерах диафрагмы.

Решение:

Решим задачу методом графического сложения амплитуд. В случае, когда идет луч в воздухе, векторная диаграмма имеет вид, представленный на рис. 114а.

Вектор, соединяющий начало диаграммы (т. О) с конусом (т. А), является вектором амплитуды колебания, возбуждаемого в точке наблюдения всей волновой поверхностью.

На рис.114б представлена векторная диаграмма, соответствующая случаю, когда отверстие пропускает половину первой зоны Френеля.

Световой эффект в этом случае определяется вектором $\overrightarrow{OB}$.

1. Для первого случая из рис. 114б видно, что $OB = \frac{OA}{cos45°} = \sqrt{2}OA$.

Интенсивность световой волны пропорциональна квадрату ее амплитуды $I \sim A^2$, следовательно, интенсивность света в первом случае (рис. 114а, а) $I_1 \sim OA^2$, во втором случае (рисунок 114б), б) $I_2 \sim OB^2$.

$\frac{I_2}{I_1} = \frac{OB^2}{OA^2} = \frac{2 \cdot OA^2}{OA^2} = 2$. Значит, интенсивность света увеличивается в два раза.

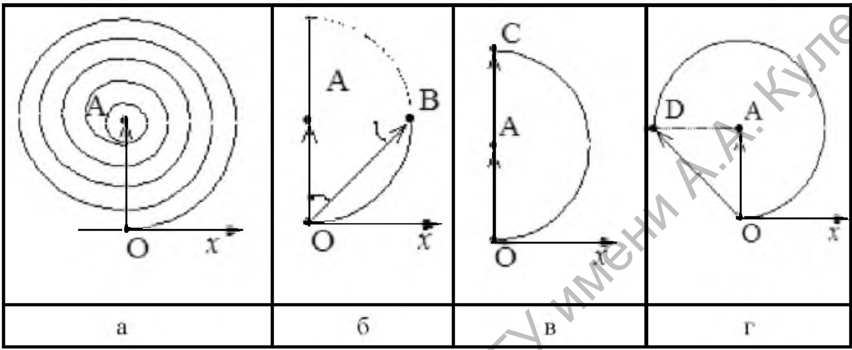


Рис. 114 Векторные диаграммы зон Френеля

2. Во втором случае отверстие пропускает первую зону Френеля. Векторная диаграмма для этого случая представлена на рис. 114в. Результирующая амплитуда – вектор $\overrightarrow{OC}$. Из рисунка 114в видно, что OC=2 · OA, следовательно $\frac{I_3}{I_1} = \frac{OC^2}{OA^2} = \frac{4 \cdot OA^2}{OA^2} = 4$, то есть интенсивность света увеличивается в четыре раза.

3. Векторная диаграмма для решения третьего случая задачи представлена на рисунке 114г. Результирующий вектор амплитуды – вектор $\overrightarrow{OD}$. Сравнение рисунков 114б и 114г показывает, что OD = OB, следовательно, ответ будет такой же, как на первый вопрос задачи.

Ответ: $\frac{I_2}{I_1} = 2$. $\frac{I_3}{I_1} = 4$. $\frac{I_4}{I_1} = 2$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Физические знания становятся усвоенными учащимися, если они умеют применять эти знания для объяснения окружающей действительности и обоснования способа деятельности в практически значимых условиях. Умение применять знания – это показатель осознанности и прочности знаний. Однако это умение не формируется у учащихся спонтанно, этому их нужно специально учить. В обучении практическому применению знаний решение физических задач занимает определяющее место и этому процессу отводится значительная часть учебного времени.

Решение физических задач имеет образовательное, воспитательное и развивающее значение. Обучение учащихся решению физических задач позволяет формировать у них определенные виды деятельности, связанные с применением знаний в конкретных ситуациях, пониманием и запоминанием основных законов и формул физики, представлением об их характерных особенностях и границах применения, проявлять волю, настойчивость, усидчивость, самостоятельность.

Очень большое значение имеет решение задач для развития логического мышления учащихся, формирования умения делать индуктивные и дедуктивные умозаключения, использовать аналогии и эвристические приемы.

Для реализации высокого образовательного потенциала физических задач в учебном процессе необходимо было оптимизировать и систематизировать теоретические основы методологии их решения.

Проведенная автором научно-исследовательская работа по обоснованию структуры и содержания физических задач, методов их решения позволила:

- ✓ конкретизировать виды физических задач на основе выбранных объективных признаков;
- ✓ обосновать критерии сложности физических задач на основе их структуры;
- ✓ определить структуру многоуровневых задач как эффективного средства развития учащихся;
- ✓ выделить такой вид физических задач, как задачи на преобразование данных;
- ✓ привести и описать разнообразные виды тестовых задач;
- ✓ обосновать роль и значение решения физических задач в процессе организации самостоятельной познавательной деятельности учащихся;

- ✓ конкретизировать классификацию методов решения физических задач, при которой выделяются общелогические, общематематические и специальные методы;
- ✓ привести аннотацию методов решения задач, относящихся к каждой из выделенных групп методов;
- ✓ аргументировать последовательность и содержание основных этапов решения задач;
- ✓ смоделировать решение физических задач с применением пятнадцати методов, относящихся к выделенным группам по разным разделам курса физики.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абросимов Б. Ф. Физика. Способы и методы поиска решения задач / Б. Ф. Абросимов. – М. : Экзамен, 2006. – 287 с.

2. Большакова Н. Ю. Понятие «решение задачи» в психологии и теории решения / Н. Ю. Большакова // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2015. – Т. 18. – С. 126–130.

3. Беликов, Б. С. Решение задач по физике. Общие методы : учебн. пособие для студентов вузов / Б. С. Беликов. – Москва : Высшая школа, 1986. – 256 с.

4. Гальперин, П. Я. Формирование знаний и умений на основе теории поэтапного формирования умственных действий / П. Я. Гальперин, Н. Ф. Талызина ; под ред. Н. Ф. Талызиной. – Москва :МГУ, 1968. – 135 с.

5. Герасимова Т. Ю. Методика преподавания физики : учебное пособие : в 2 ч. Ч. 1 / Т. Ю. Герасимова, В. М. Кротов. – Минск : ИВЦ Минфина, 2020. – 359 с

6. Герасимова, Т. Ю. Методика обучения решению задач по физике : метод. пособие / Т. Ю. Герасимова, В. М. Кротов. – Могилев : МГУ имени А. А. Кулешова, 2009. – 160 с.

7. Гладышев И. В. Математика в физических задачах : учебное пособие / И. В. Гладышев, Л. Ю. Фетисов, А. Н. Юрасов. – М. : МИРЭА – Российский технологический университет, 2020. – 162 с.

8. Горностаева, Т. Н. Алгоритмы : учебное пособие – М. : Мир науки, 2019. – URL: https://izd-mn.com/PDF/33MNNPU19.pdf. (дата обращения : 20.08.2024).

9. Доросевич, С. В. Многоуровневые задачи по физике в средней школе. Часть 1. Механика / С. В. Доросевич, В. М. Кротов. – Могилев : МОИПК и ПРР и СО, 2000. – 53 с.

10. Каменецкий, С. Е. Методика решения задач по физике в средней школе / С. Е. Каменецкий, В. П. Орехов. – Москва : Просвещение, 1987. – 336 с. : ил.

11. Кротов, В. М. К вопросу о сложности (трудности) физических задач / В. М. Кротов // Фізіка. Праблемы выкладання. – 1999. – №3. – С. 69–74.

12. Кротов, В. М. Теория и практика организации самостоятельной познавательной деятельности учащихся при изучении физики : монография / В. М. Кротов. – Могилев : МГУ имени А. А. Кулешова, 2011. – 286 с.

13. Кротов, В. М. Многоуровневые задачи по физике / В. М. Кротов // Фізіка. Праблемы выкладання. – 1997. – №7. – С. 88–90.

14. Кротов, В. М. О применении двухэтапных задач по физике при проведении тестирования / В. М. Кротов // Фізіка: праблемы выкладання. – 2012. – №2. – С. 18 – 20.

15. Кротов, В. М. Решение задач с техническим содержанием как способ реализации STEM-подхода при обучении физике / В. М. Кротов, К. А. Моисеенко // Физико-математическое образование: традиции, инновации, перспективы : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 26 – 27 октября 2023 г. / Белорус. гос. пед. ун-т имени Максима Танка; редкол.: В. В. Радыгина, А. А. Францкевич (отв. ред.), Л. Л. Тухолко [и др.]. – Минск : БГПУ, 2023. – С. 136–139

16. Кротов, В. М. Рисунки в содержании физических задач / В. М. Кротов // Актуальные направления развития современной физики и методики ее преподавания в вузе и школе : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. С. Ю. Зюзина. – Борисоглебск : Борисоглебский ГПИ, 2009. – С. 57–62.

17. Кротов, В. М. Тестовые многоэтапные задачи по физике / В. М. Кротов // Инновационные технологии обучения физико-математическим дисциплинам: материалы XI Междунар. науч.-практ. Интернет-конференции, Мозырь 11–14 мая 2010 г., редкол.: В. В. Валетов (отв. ред.) [и др]. – Мозырь : МГПУ имени И. П. Шамякина, 2010. – С. 126–128.

18. Кротов, В. М. Учимся решать задачи по физике Часть 1. Механика / В. М. Кротов. – Мозырь : Белый ветер. 1999. – 72 с.

19. Кротов, В. М. Учимся решать задачи по физике Часть 2. Молекулярная физика и термодинамика / В. М. Кротов. – Мозырь : Белый ветер. – 1999. – 96 с.

20. Кротов, В. М. Учимся решать задачи по физике Часть 3. Электродинамика и квантовая физика / В. М. Кротов. – Мозырь : Белый ветер. 1999. – 56 с.

21. Кротов В. М. Физика как учебный предмет в учреждениях общего среднего образования : монография / В. М. Кротов – Могилев : МГУ имени А. А. Кулешова, 2021. – 156 с.

22. Кудрявцев Ю. Н. Методы решения физических задач / Ю. Н. Кудрявцев. – Ульяновск : УИПКПРО, 2010. – 43 с.

23. Матющенко В. С. Векторные диаграммы однофазных цепей : метод. пособие / В. С. Матющенко. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2013. – 28 с.

24. Мукушев Б. А. Физические задачи на использование метода математической индукции / Б. А. Мукушев // Первое сентября, Физика. Научно-методический журнал для учителей физики, астрономии и естествознания. – 2010. – № 11. – С. 42–44.

25. Мониторинг качества обучения физике : метод. реком. / Могил. гос. ун-т. имени А. А. Кулешова ; сост. В. М. Кротов. – Могилев : МГУ имени А. А. Кулешова, 2007. – 116 с.

26. Олимпиады по физике: 7–11 классы (2016 год) / Г. С. Кембровский [и др.]; под ред. А. И. Слабодянюка. – Минск : Аверсев, 2017. – 464 с.

27. Позойский С. В. Исторические задачи в курсе физики средней школы / С. В. Позойский, Р. Н. Партин // Фізіка: праблемы выкладання. – 2003. – № 4. – С. 100–106.

28. Позойский С. В. Исторические задачи в курсе физики средней школы / С. В. Позойский, Р. Н. Партин // Фізіка: праблемы выкладання. – 2003. – № 5. – С. 118–125.

29. Позойский С. В. Исторические задачи в курсе физики средней школы / С. В. Позойский, Р. Н. Партин // Фізіка: праблемы выкладання. – 2003. – № 6. – С. 73–75.

30. Усова, А. В. Практикум по решению физических задач / А. В. Усова, Н. Н. Тулькибаева. – 2-е изд.– Москва : Просвещение, 2001. – 208 с.

31. ФИЗИКА: геометрические подходы к решению баллистических задач по физике / Составитель И. В. Забродина. – Тюмень : Тюменское президентское кадетское училище, 2021. – 29 с.

32. Физика. Теория и технология решения задач: учеб. пособ. / В. А. Бондарь, Д. И. Кульбицкий, А. А. Луцевич [и др.] ; под общ. ред. В. А. Яковенко. – Минск : ТетраСистемс, 2003. – 560 с.

33. Черноуцан А. И. Задачи на центр масс / А. И. Черноуцан // Квант. – 1996. – № 2. – С. 43–45.

СОДЕРЖАНИЕ

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Научное издание

Кротов Виктор Михайлович

МЕТОДОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

Монография

Технический редактор *А. Г. Роскач*
Компьютерная верстка *Н. Г. Алешко*
Корректор *Г. В. Карпенкова*

Подписано в печать .2025
Формат 60x84/16. Гарнитура Times New Roman Cyr.
Усл.-печ. л. 9,9. Уч.-изд. л. 10,7. Тираж экз. Заказ № .

Учреждение образования “Могилевский государственный университет имени А.А. Кулешова”, 212022, Могилев, Космонавтов, 1
Свидетельство ГРИИРПИ № 1/131 от 03.01.2014 г

Отпечатано в издательском отделе
МГУ имени А. А. Кулешова. 212022, Могилев, Космонавтов, 1