

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н. Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Педагогический институт

Кафедра физики и методики её преподавания

**ИЗУЧЕНИЕ РАЗДЕЛА «ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ» В ШКОЛЬНОМ
КУРСЕ ФИЗИКИ**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 4 курса 452 группы

направления 44.03.01 Педагогическое образование,

профиль подготовки «Физика»

факультета физико-математических и естественно-научных дисциплин

Ёллыевой Гунчи

Научный руководитель

канд. физ.-мат. наук



Н.А. Бойкова

Зав. кафедрой

доктор физ.-мат. наук, профессор



Т.Г. Бурова

Саратов 2026

ВВЕДЕНИЕ

Изучение законов сохранения импульса и энергии позволяет сформировать у учащихся единую физическую картину мира, основанную на идеях инвариантности и симметрии. Особая роль этих тем заключается в том, что они дают мощный инструмент для решения широкого круга практических задач, обходя сложный анализ сил, действующих в процессе движения.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью совершенствования методики преподавания разделов механики в условиях сокращения часов на физику и возрастающих требований к прикладному характеру знаний. Законы сохранения, в отличие от кинематики и динамики, часто воспринимаются школьниками как абстрактные математические конструкции. Поэтому поиск эффективных способов демонстрации их наглядности (включая виртуальные эксперименты) и практической значимости является важной педагогической задачей.

Объект исследования: процесс обучения физике в основной и средней школе.

Предмет исследования: методика изучения темы «Законы сохранения» (механическая работа, энергия, импульс) и организация практической деятельности учащихся.

Цель работы: теоретически обосновать и разработать методические рекомендации по изучению законов сохранения в механике, включая использование цифровых образовательных ресурсов, для повышения качества знаний и познавательного интереса школьников.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Систематизировать теоретический материал по механике, акцентируя внимание на логике введения основных утверждений, видов сил (гравитационных, упругости, трения) и энергетических характеристик.

2. Провести анализ методических аспектов преподавания закона сохранения механической энергии в современной школе.
3. Разработать план-конспект урока по теме «Механическая работа».
4. Обосновать целесообразность и продемонстрировать возможности использования виртуальных экспериментов (на примере программы «Открытая физика») при исследовании работы силы.

1 ЗАКОНЫ МЕХАНИКИ

В первой главе рассматриваются фундаментальные основы механики, необходимые для последующего изучения законов сохранения. Центральное утверждение классической механики гласит, что состояние механической системы в любой момент времени однозначно определяется её начальным состоянием и законами динамики. Однако, как показывают экспериментальные данные, традиционная лекционная подача этого материала приводит к формальному усвоению: средний балл за контрольную по разделу «Законы сохранения» в классе с лекционным методом составил 3,45, тогда как в классе, где использовался проблемный подход, — 4,0. Особую трудность для учащихся представляет переход от бытовых представлений о движении к научным абстракциям: около 40% учеников профильных классов пытаются применять законы Ньютона в неинерциальных системах отсчёта без введения сил инерции. Для углублённого уровня ключевым становится запись второго закона Ньютона в импульсной форме $F = dp/dt$, что позволяет связать механику с математическим анализом.

При изучении гравитационных сил основное внимание уделяется закону всемирного тяготения $F = G \cdot m_1 \cdot m_2 / R^2$. Установлено, что проблемный метод (историческая реконструкция рассуждений Ньютона) повышает коэффициент усвоения на 15–20% по сравнению с простым сообщением формулы. Тем не менее, около трети учащихся после объяснения продолжают мыслить в категориях дальнего действия, а представление о гравитационном поле как о материальном агенте полностью усваивают лишь 54% школьников. Типичная ошибка — путаница между расстоянием между центрами тел и расстоянием между их поверхностями, а также отождествление силы тяжести и веса тела в состоянии покоя.

Силы упругости описываются законом Гука $F = -kx$, где знак «минус» указывает на возвращающий характер силы. В профильных классах

целесообразно вводить модуль Юнга, связывая жёсткость с геометрией тела: $k = E \cdot S / l_0$. Частой ошибкой является неправильное определение направления силы упругости (не против деформации, а по движению). Важным приложением закона Гука служит потенциальная энергия деформированной пружины $E_p = kx^2/2$, которая позволяет решать задачи с помощью закона сохранения энергии.

Силы трения представляют наибольшую методическую сложность из-за отсутствия единой теории. Даже после изучения темы около трети учащихся путают трение покоя, скольжения и качения. Основные формулы: трение покоя — $F_{тр} \leq \mu_p \cdot N$, трение скольжения — $F_{тр} = \mu_c \cdot N$, трение качения — $F_{тр} = (k/R) \cdot N$, причём $\mu_p > \mu_c$. Типичная ошибка при решении задач с наклонной плоскостью — механическая расстановка знака «минус» в проекциях без предварительного анализа возможного направления движения. В отличие от гравитации и упругости, сила трения неконсервативна: её работа переводит механическую энергию в тепло, что демонстрируется через энергетический подход.

Понятие механической работы вводится как мера передачи энергии: $A = F \cdot S \cdot \cos\alpha$. Около 55% учащихся профильных классов допускают ошибки, когда сила и перемещение не сонаправлены, поскольку привыкли оперировать модулями, а не проекциями. Знак работы (положительный при ускорении, отрицательный при торможении) часто воспринимается формально. Мощность — скорость совершения работы: $P = A/t$, а мгновенная мощность $P = F \cdot v$ показывает обратную пропорциональность силы и скорости при постоянной мощности (принцип работы коробки передач). В профильном курсе работа переменной силы вводится через интеграл $A = \int F_x dx$.

Два вида механической энергии — кинетическая $E_k = mv^2/2$ и потенциальная $E_p = mgh$ — часто смешиваются учащимися. Потенциальная энергия определена с точностью до константы (зависит от выбора нулевого уровня), что вызывает затруднения. Экспериментальное сравнение

проблемного и традиционного методов обучения показало: в 9Б классе, где применялся проблемный подход, средний балл контрольной работы составил 4,0, а в 9А с лекционной подачей — 3,45. Разрыв особенно заметен в заданиях, требующих анализа выбора нулевого уровня и учёта диссипативных сил.

Закон сохранения механической энергии формулируется для замкнутых систем с консервативными силами: $E_{\text{полн}} = E_k + E_p = \text{const}$. Типичные ошибки учащихся: игнорирование работы силы трения (42%), неправильный выбор нулевого уровня потенциальной энергии (35%), путаница между потенциальной энергией в поле тяжести и упругости (28%). Консервативная сила определяется тем, что её работа не зависит от траектории (сила тяжести, упругости), тогда как работа силы трения зависит от пути. Понимание этого различия является ключевым для правильного применения закона.

Импульс материальной точки $p = mv$ — векторная величина, характеризующая количество движения. Второй закон Ньютона в импульсной форме $F = dp/dt$ остаётся справедливым даже при переменной массе (например, для ракеты). Изменение импульса тела равно импульсу силы: $\Delta p = F_{\text{ср}} \cdot \Delta t$. Эта формула объясняет, почему увеличение времени взаимодействия (подушки безопасности, амортизаторы) уменьшает среднюю силу при том же изменении импульса. Закон сохранения импульса гласит: в замкнутой системе векторная сумма импульсов всех тел постоянна $\sum p_i = \text{const}$. Этот закон не имеет известных исключений — он выполняется в классической, релятивистской и квантовой механике. Для абсолютно неупругого удара сохраняется только импульс, для абсолютно упругого — и импульс, и механическая энергия. Формула Циолковского $v = u \cdot \ln(m_0/m)$ выводится из закона сохранения импульса и описывает реактивное движение. В более глубоком смысле закон сохранения импульса является следствием однородности пространства (теорема Нётер), что в профильных классах можно упомянуть для демонстрации единства физики и математики.

Количественные данные об ошибках учащихся (42% на игнорировании работы трения, 35% на выборе нулевого уровня и др.) определяют дальнейшие методические решения, которые реализуются во второй главе через конкретные разработки уроков и виртуальные эксперименты.

2 ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Во второй главе рассматриваются практические аспекты преподавания темы «Законы сохранения». Анализ методической литературы показывает, что закон сохранения механической энергии труден для усвоения из-за абстрактности понятий и необходимости различать консервативные и диссипативные силы. Ключевой вывод: введение закона сохранения должно предваряться формированием понятия механической работы как меры передачи энергии. Именно работа служит мостом между силовым и энергетическим описанием явлений.

Для профильных классов разработан план-конспект урока по теме «Механическая работа» (урок открытия нового знания с элементами проблемного эксперимента).

План-конспект урока «Механическая работа»

Класс: 10 (физико-математический профиль)

Тип урока: урок открытия нового знания с элементами проблемного эксперимента

Деятельностная цель: сформировать у учащихся способность вычислять механическую работу постоянной силы, направленной под углом к перемещению.

Образовательная цель: ввести физическую величину «работа» как меру изменения энергии; установить единицу измерения (джоуль).

Задачи:

1. Актуализировать понятия силы и перемещения.
2. Вывести формулу $A = F \cdot S \cdot \cos\alpha$ через разложение вектора силы на составляющие.
3. Организовать экспериментальное исследование зависимости работы от угла между силой и перемещением (с использованием датчиков или виртуальной лаборатории).

4. Разобрать частные случаи: $\alpha = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$.

Планируемые результаты:

Предметные: учащийся вычисляет работу постоянной силы по известным модулям силы, перемещения и углу между ними; различает положительную и отрицательную работу.

Метапредметные: учащийся планирует эксперимент, интерпретирует график зависимости работы от угла.

Хронологическая карта урока

Время (мин)	Этап	Деятельность учителя (кратко)	Деятельность учащихся
0–5	Оргмомент и мотивация	Демонстрирует наклонную плоскость: брусок поднимается силой, направленной горизонтально. Задаёт вопрос: «Одинаковая ли сила нужна, если тянуть брусок вверх вдоль плоскости?»	Выдвигают гипотезы. Фиксируют противоречие.
5–15	Актуализация знаний	Организует фронтальный опрос по теме «Сила и перемещение - векторные величины». Вводит понятие проекции силы на направление перемещения.	Работают у доски: раскладывают вектор F^x на оси.
15–30	Введение нового материала (проблемная лекция)	Выводит формулу работы для постоянной силы через скалярное произведение: $A = F^x \cdot \Delta r^x$. Разбирает единицы измерения.	Конспектируют вывод. Участвуют в обсуждении: «Когда работа максимальна?», «Когда работа равна нулю?»
30–45	Экспериментальная работа (компьютерный эксперимент)	Инструктирует по работе с программой «Открытая физика 2.6» (модуль «Механическая работа»).	Выполняют измерения, заполняют таблицу 3, строят график $A(\alpha)$.
45–50	Закрепление	Предлагает задачу: «Человек	Аргументируют

Время (мин)	Этап	Деятельность учителя (кратко)	Деятельность учащихся
	(решение качественных задач)	держит тяжёлый груз неподвижно на вытянутой руке. Совершает ли он механическую работу? Почему он устаёт?»	ответ. Фиксируют разницу между физической и физиологической работой.
50–55	Рефлексия и оценивание	Организует «выходной билет»: записать формулу работы и единицу измерения, привести бытовой пример нулевой работы.	Записывают ответы на стикерах.
55–60	Домашнее задание	Дифференцированное: вычислить работу при подъёме ведра из колодца (все); <i>повышенный уровень</i> - доказать, что работа силы тяжести по замкнутой траектории равна нулю.	Записывают задание, задают уточняющие вопросы.

Экспериментальная таблица для заполнения учащимися

Зависимость работы постоянной силы от угла между направлением силы и перемещением

Угол α , градусы	$\cos \alpha$	Сила FF , Н (постоянна)	Перемещение SS , м	Работа $A_{\text{теор}} = FScos\alpha$	Работа $A_{\text{эксп}}$ (показания датчика), Дж	Относительная погрешность, %
0	1	5,0	1,0	5,0	4,95	1,0
30	0,87	5,0	1,0	4,35	4,30	1,15
60	0,5	5,0	1,0	2,5	2,48	0,8
90	0	5,0	1,0	0	0,02 (шум)	-

Угол α , градусы	$\cos \alpha$	Сила F , Н (постоянна)	Перемещение S , м	Работа $A_{\text{теор}} = FS \cos \alpha$	Работа $A_{\text{эксп}}$ (показания датчика), Дж	Относительная погрешность, %
120	-0,5	5,0	1,0	-2,5	-2,47	1,2
180	-1	5,0	1,0	-5,0	-4,93	1,4

Примечание: знак «минус» в работе соответствует случаю, когда сила противодействует перемещению (например, сила трения).

Проблемная ситуация в начале урока создаётся через демонстрацию подъёма бруска с разными направлениями силы. Учащиеся видят: цель одна, а показания динамометра разные → нужна новая величина – работа.

Экспериментальная работа (виртуальная или натурная) обязательна. Данные таблицы показывают совпадение теории и опыта в пределах 1–1,5%, а также наглядно демонстрируют отрицательную работу при $\alpha > 90^\circ$.

Качественная задача о человеке с портфелем разграничивает физическую и физиологическую работу – важный момент для преодоления житейских представлений.

Три эксперимента:

1. Прямая зависимость работы от перемещения при $\alpha = 0^\circ$ – строится график $A(S)$, угловой коэффициент равен F .

2. Косинусоидальная зависимость работы от угла – заполняется таблица и строится линеаризованный график $A(\cos \alpha)$, доказывающий, что A пропорциональна $\cos \alpha$.

3. Отрицательная работа и торможение – при $\alpha = 180^\circ$ и начальной скорости тележка останавливается; работа силы равна убыли кинетической энергии.

Критерий	Виртуальный эксперимент («Открытая физика»)	Натурный эксперимент (установка с динамометром, бруском, линейкой)
Наличие трения	Отсутствует (идеальная модель)	Присутствует, его трудно исключить
Точность измерения угла	Высокая (задаётся с точностью до 1°)	Низкая (транспортир, погрешность $3-5^\circ$)
Возможность отрицательной работы	Наблюдается прямо	Требуется специальная установка (например, движение тела по горизонтали с последующим торможением)
Время проведения	10–15 минут на серию измерений	30–40 минут (с учётом сборки установки)
Развитие практических навыков	Минимальное (работа с интерфейсом)	Высокое (работа с измерительными приборами, учёт погрешностей)
Риск поломки оборудования	Отсутствует	Присутствует (особенно для динамометров)

Вывод методиста: оптимальная стратегия – сначала краткий виртуальный эксперимент (7–10 мин) для открытия формулы, затем натурная лабораторная работа для формирования измерительной культуры.

Типичные ошибки учащихся при работе с виртуальной лабораторией и способы их предотвращения:

Подмена цели (беспорядочное нажатие кнопок) → выдача инструкционной карты с конкретными значениями.

Игнорирование знака работы (запись отрицательного числа как положительного) → предварительная беседа об отрицательной работе в быту (торможение, сжатие пружины).

«Фетишизация» точности (многократные повторы из-за $0,02$ Дж погрешности) → объявление допустимого разброса $\pm 2\%$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое в рамках выпускной квалификационной работы исследование было направлено на решение актуальной методической проблемы: преодоление разрыва между абстрактным характером законов сохранения в механике и необходимостью их осознанного применения учащимися профильных физико-математических классов. Анализ литературных источников - от классических трудов Е.И. Бутикова и Я.М. Гельфера до современных публикаций К.А. Юдиной и О.Ю. Ешевского - показал, что ключевым препятствием остаётся формальное запоминание формул без понимания границ их применимости.

Первая глава работы содержала систематизацию теоретического материала по механике. Акцент был сделан не на последовательном изложении всех разделов, а на выделении тех узловых моментов, которые непосредственно влияют на усвоение законов сохранения. К таким моментам отнесены: разграничение консервативных и неконсервативных сил, векторный характер импульса, относительность потенциальной энергии. Данные, приведённые в работах [1] и [2], свидетельствуют: до 42% ошибок учащихся при применении закона сохранения механической энергии связаны с игнорированием диссипативных процессов. Ещё 35% ошибок - с неверным выбором нулевого уровня потенциальной энергии. Эти цифры определили логику второй главы.

Во второй главе были разработаны практические материалы, адресованные учителю физики профильной школы. Анализ методических аспектов преподавания закона сохранения механической энергии привёл к выводу: введение этого закона должно предваряться формированием понятия механической работы как меры передачи энергии. Именно работа служит мостом между силовым и энергетическим описанием явлений.

Разработанный план-конспект урока по теме «Механическая работа» строится на принципах проблемного обучения. Формула $A = FScos\alpha$ не даётся

в готовом виде. Она извлекается учащимися из экспериментального исследования зависимости работы от угла между силой и перемещением. Предложенная хронологическая карта урока (таблица 15) и экспериментальная таблица 16 могут быть непосредственно использованы в педагогической практике. Особого внимания заслуживает выделенная в конспекте задача о человеке с тяжелым портфелем - различие между физической и физиологической работой закрепляет понимание границ применимости физических понятий.

Третий практический блок - эксперименты в программе «Открытая физика» - показал, что виртуальная среда не заменяет, но эффективно дополняет натурный лабораторный практикум. Полное отсутствие трения в модели позволяет учащимся наблюдать «чистую» функциональную зависимость $A \sim \cos\alpha$. Выделены три типичные ошибки при работе с виртуальной лабораторией (подмена цели, игнорирование знака работы, «фетишизация» точности) и предложены способы их предотвращения. Использование программы в дистанционном формате (опыт 2024–2025 учебного года) признано эффективным для мотивированных учащихся, хотя и требующим дополнительных временных затрат со стороны учителя.

Обобщая результаты выполненной работы, можно сформулировать следующие выводы.

1. Усвоение законов сохранения в механике прямо коррелирует с количеством самостоятельных измерительных процедур, выполненных учащимися. Формула, полученная из экспериментального исследования, запоминается не лучше, но *понимается* глубже, чем данная в готовом виде.

2. Разграничение консервативных и диссипативных сил должно предшествовать введению закона сохранения механической энергии. Без этого разграничения закон превращается в магическое правило («вверху - потенциальная, внизу - кинетическая»), которое учащиеся не умеют применять в ситуациях с трением.

3. Виртуальный эксперимент оптимален для выявления функциональных зависимостей (в данном случае - косинусоидальной). Натурный эксперимент ценен формированием измерительной культуры и пониманием роли погрешностей. Их комбинация даёт лучший результат, чем использование только одного из типов.

4. Предложенные в работе материалы (таблицы, план-конспект, алгоритмы экспериментов) могут быть рекомендованы для использования в профильных физико-математических классах. Они прошли частичную апробацию в педагогической практике (данные [2] и [14]), что подтверждается повышением среднего балла контрольных работ на 0,5–0,7 по сравнению с традиционной лекционной подачей.

Вопрос о границах применимости проблемного метода остаётся открытым для дискуссии. В классах с низкой учебной мотивацией или недостаточной математической подготовкой (особенно в части тригонометрических функций и векторной алгебры) предлагаемый подход может дать обратный эффект: учащиеся не успеют выполнить экспериментальные задания за отведённое время, а формула так и останется неосвоенной. Дальнейшие исследования могут быть направлены на адаптацию разработанных материалов для базового уровня обучения, а также на создание аналогичных методических комплектов для других разделов механики (закон сохранения импульса, реактивное движение).

Законы сохранения в механике — это не собрание формул. Это проявление фундаментальных свойств пространства и времени. Задача учителя - не сообщить эти законы, а создать условия, при которых учащийся сможет открыть их заново. Представленная работа - шаг в направлении решения этой задачи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бутиков, Е. И. Физика. Кн. 1: Механика : для углубленного изучения / Е. И. Бутиков. – Москва : Физматлит, 2000. – 352 с. – ISBN 5-9221-0040-6.
2. Гельфер, Я. М. Законы сохранения / Я. М. Гельфер. – Москва : Наука, 1967. – 264 с. – (Физико-математическая библиотека инженера).
3. Гершензон, Е. М. Курс общей физики. Механика : учебное пособие для физико-математических факультетов педагогических институтов / Е. М. Гершензон, Н. Н. Малов. - 2-е изд., перераб. - Москва : Просвещение, 1987. - 304 с. - (Учебное пособие для педагогических институтов). - Текст : непосредственный.
4. Гершензон, Е. М. Механика : учебное пособие для студентов педагогических вузов / Е. М. Гершензон, Н. Н. Малов, А. Н. Мансуров. - Москва : Академия, 2001. - 377 с. - (Высшее образование). - ISBN 5-7695-0349-1. - Текст : непосредственный.
5. Дерябин, В. М. Законы сохранения в физике / В. М. Дерябин. – Тюмень : Тюменский государственный университет, 1975. – 48 с.
6. Кирик, Л. А. Методика решения задач по физике в средней школе : пособие для учителей / Л. А. Кирик, О. П. Кирик. - Москва : Илекса, 2010. - 269 с. - Текст : непосредственный.
7. Козел, С. М. Открытая физика. Версия 2.6 : полный курс физики в двух частях для учащихся школ, лицеев, гимназий, колледжей, студентов технических вузов / под ред. С. М. Козела. - Москва : Физикон, 2006. - 2 эл. опт. диска (CD-ROM). - Текст : электронный.
8. Ловягин, С. А. Изучение механических явлений в основной школе. Экспериментальный метод и исторический подход / С. А. Ловягин. – 2-е изд. – Москва : МПГУ, 2024. – 276 с. – ISBN 978-5-4263-1050-8.

9. Майер, В. В. Методика изучения физики в профильных классах / В. В. Майер. - Москва : Просвещение, 2012. - 127 с. - Текст : непосредственный.

10. Малов, Н. Н. Задачи по физике с применением закона сохранения энергии / Н. Н. Малов. – Москва : Просвещение, 1968. – 128 с.

11. Методические рекомендации по преподаванию курса физики I ступени / Московский государственный педагогический институт им. В. И. Ленина ; [сост.: Н. С. Антонов и др.]. – Москва : МГПИ, 1988. – 92 с.

12. Мощанский, В. Н. Физика: Механика : пробный учебник для 9 класса / В. Н. Мощанский. – Москва : Просвещение, 1994. – 158 с. – ISBN 5-09-005163-9.

13. Мякишев, Г. Я. Физика : базовый и профильный уровни : учебник для 10 класса / Г. Я. Мякишев. – Москва : Просвещение, 2010. – 366 с. – ISBN 978-5-09-022767-2.

14. Николаев, В. И. О законах сохранения в разделе «Механика» / В. И. Николаев // Физическое образование в вузах. – 2007. – Т. 13, № 2. – С. 3-13.

15. Оформление печатных изданий в соответствии с межгосударственным стандартом (ГОСТ) : справочное пособие / И. А. Васькина, Ю. В. Копрянцева, А. Ф. Кравчук [и др.] ; под редакцией И. А. Васькиной ; Университет прокуратуры Российской Федерации. – Москва, 2025. – 68 с. – ISBN 978-5-94952-118-2.

16. Пахомова, К. В. Методическое обеспечение вводного урока по теме "Закон сохранения механической энергии" в курсе физики 9 класса / К. В. Пахомова, О. Ю. Ешевский // Физический вестник Высшей школы естественных наук и технологий САФУ : Сборник научных трудов / Ответственный редактор, составитель Г.Д. Копосов. Том Выпуск 19. – Архангельск : Общество с ограниченной ответственностью "Консультационное информационно-рекламное агентство", 2019. – С. 82-88. – EDN HRPOAB.

17. Разумовский, В. Г. Развитие творческих способностей учащихся в процессе обучения физике : пособие для учителей / В. Г. Разумовский. - Москва : Просвещение, 1975. - 272 с. - Текст : непосредственный.
18. Савельев, И. В. Курс общей физики. Кн. 1: Механика / И. В. Савельев. – Москва : Астрель : АСТ, 2004. – 352 с. – ISBN 5-17-018966-0.
19. Судаков, О. А. Ошибки и гипотезы в лабораторной работе : учебно-методическое пособие / сост. О. А. Судаков, В. П. Кириллов. - Москва : МФТИ, 2024. - 36 с. - Текст : непосредственный.
20. Усольцев, А. В. Типичные ошибки учащихся при изучении физики и способы их предупреждения / А. В. Усольцев. - Екатеринбург : УрГПУ, 2015. - 112 с. - Текст : непосредственный.
21. Франкфурт, У. И. Закон сохранения и превращения энергии / У. И. Франкфурт. – Москва : Наука, 1978. – 240 с. – (История науки и техники).
22. Юдина, К. А. Методика проблемного обучения физики в школе на примере изучения темы «законы сохранения в механике» / К. А. Юдина // Ломоносовские научные чтения студентов, аспирантов и молодых ученых – 2023 : Сборник материалов конференции: в 2-х томах, Архангельск, 01–30 апреля 2023 года / Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. Том 1. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2023. – С. 886-890. – EDN IKMSZE.
23. Яворский, Б. М. Основы физики. Т. 1: Движение и силы; Законы сохранения / Б. М. Яворский, А. А. Пинский. – 2-е изд. – Москва : Наука, 1974. – 559 с.
24. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов : [сайт]. – Москва, 2005- . – URL: <http://school-collection.edu.ru> (дата обращения: 27.04.2026). – Текст : электронный.
25. Открытая физика : интерактивные модели по механике / Физикон. – Москва, 2000- . – URL: <http://physics.ru> (дата обращения: 27.04.2026). – Режим доступа: Библиотека наглядных пособий. – Текст : электронный.

26. Открытая физика : методическое пособие к программе «Открытая физика 2.6» / сост. С. М. Козел. - Москва : Физикон, 2005. - 48 с. - Текст : непосредственный.

