Научная статья
УДК 530.1
ББК 74.262.23
ГРНТИ 29.05.41
ВАК 01.04.02
PACS 04.20.Cv

Исследование системы задач по теме по законам сохранения в десятых классах с углубленным изучением физики

Е. С. Штром [1]

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», 432071, Ульяновск, Россия

Поступила в редакцию 15 августа 2022 года
После переработки 16 августа 2022 года
Опубликована 5 сентября 2022 года

Аннотация. Представлены результаты исследования системы физических задач по теме, связанной с изучением законов сохранения, с элементами многоуровневого контроля знаний по физике в десятых классах с углубленным изучением физики. Выполнен анализ решений задач по теме, связанной с изучением законов сохранения в механике в старших классах лицея.

Ключевые слова: физика, законы сохранения, механика, педагогический эксперимент, статистическая обработка результатов, задача, задача по физике, класс с углубленным изучением физики

Введение

Целью исследования являются разработка и научное обоснование процесса разработки систем задач на законы сохранения в физике как средства развития школьников по физике, а также рассмотрение методики изучения законов сохранения в школе. В связи с поставленной целью была сформулирована задача составления системы задач разного уровня сложности по законам сохранения в физике.

Объектом исследования являются процесс обучения физике в рамках темы по законам сохранения в механике.

Предметом исследования является процесс формирования умения решать задачи по физике в рамках темы по законам сохранения в механике.

Гипотеза исследования заключается в том, что если составить систему задач на законы сохранения в механике, то образовательный процесс по физике с использованием системы задач разного уровня сложности на законы сохранения в механике станет более ориентированным на формирование у учащихся умения использовать фундаментальные законы сохранения в механике, и будет более результативным при организации систематического контроля знаний по законам сохранения в механике в старших классах лицея.

[1]E-mail: shtrom98@mail.ru

Научная новизна работы заключается в сочетании традиционных и дистанционных технологий при изучении законов сохранения в курсе физики старшей школы.

В качестве методов исследования применяются методические приёмы и способы решения задач на использование законов сохранения в физике в старшей школе.

Обзор работ по законам сохранения

Закон сохранения в физическом мире является следствием некоторой симметрии. Законы сохранения являются одним из важнейших аспектов природы. Как таковые, они интенсивно изучались и широко применялись и считаются полностью установленными. Существует ряд законов сохранения [1].

Некоторые из наиболее важных аспектов нашего физического описания мира воплощены в утверждениях о сохраняющихся величинах. В механике таким утверждением является закон сохранения импульса — можно даже утверждать, что это самый важный принцип в динамике. Он основан непосредственно на результатах столкновительных экспериментов. Если для данной частицы ввести слово импульс для описания произведения mv, то в работе [2] получено компактное утверждение: полный импульс системы двух сталкивающихся частиц остается неизменным при столкновении, то есть полный линейный импульс является сохраняющейся величиной:

$$P_{1i} + P_{2i} = P_{1f} + P_{2f} \ ,$$

где индексы i и f используются для обозначения начального и конечного значений соответственно (то есть до столкновения и после столкновения).

В книге [3] представлена систематизация различных моделей математической физики, исследование структуры законов сохранения, термодинамических тождеств и связи с критериями корректности соответствующих математических задач. Теория, представленная в книге [3], основана на исследованиях дифференциальных уравнений, описывающих взрывные деформации металлов. В таких процессах в одних зонах используются уравнения упругости, а в других — формулируются уравнения гидродинамики. В переходных зонах возникают пластические деформации, что приводит к возникновению остаточных напряжений. Предлагаемая модель содержит некоторые релаксационные члены, моделирующие эти пластические деформации. Некоторые законы термодинамики используются для описания и изучения дифференциальных уравнений, моделирующих физические процессы. Это приводит к специальной формулировке дифференциальных уравнений с использованием обобщённых термодинамических потенциалов.

В статье [4] поднимаются фундаментальные вопросы о самом значении законов сохранения в квантовой механике и утверждается, что стандартный способ определения законов сохранения, хотя и совершенно верный, упускает из виду существенные черты природы и должен быть пересмотрен и расширен. Законы сохранения, такие как законы для энергии, количества движения и углового момента, являются одними из самых фундаментальных законов природы. Таким образом, они интенсивно изучаются и широко применяются. Впервые обнаруженные в классической ньютоновской механике, они лежат в основе всех последующих физических теорий, нерелятивистских и релятивистских, классических и квантовых. В статье [4] представлена парадоксальная ситуация, в которой такие величины, казалось бы, не сохраняются. Результаты поднимают фундаментальные вопросы о самом значении законов сохранения в квантовой механике, и утверждается, что стандартный способ определения законов сохранения, хотя и совершенно верный, упускает из виду существенные черты природы и должен быть пересмотрен и расширен. То, что парадоксальные процессы должны возникать в квантовой механике в связи с законами сохранения, ожидаемо. В самом деле, с одной стороны, физика локальна: причины и наблюдаемые следствия должны быть связаны локально, в том смысле, что никакие наблюдения в данной пространственно-временной области не могут дать никакой информации о событиях, происходящих за пределами её прошлого светового конуса. С другой стороны, измеримые динамические величины отождествляются с собственными значениями операторов, а соответствующие им собственные функции, вообще говоря, не локализованы.

Принято считать, что в классической механике инвариантность физической системы к переносу координат означает сохранение импульса. Инвариантность может быть определена несколькими способами. Если это определяется как инвариантность уравнения движения, то показано, что инвариантность этого уравнения относительно переноса координат не влечёт за собой сохранения линейного количества движения. Исследованы также эффекты преобразования масштаба и инвариантности инверсии координат. В статье [5] рассмотрены как подход Лагранжа, так и подход второго закона Ньютона. В статье [5] показано, что каждая из указанных выше инвариантностей влечёт за собой условие на уравнение движения, а их комбинация и инвариантность обращения времени необходимы для получения обычного сохранения импульса.

В статье [6] рассмотрены законы сохранения нерелятивистских и релятивистских систем и приведены некоторые простые иллюстрации ограничительного характера релятивистского закона сохранения, включающего центр энергии, по сравнению с нерелятивистским законом сохранения для центра масс. Обнаружено, что распространение нерелятивистского взаимодействия частиц через потенциал на лоренц-инвариантную систему порядка v^2/c^2 требует новых сил, зависящих от скорости и ускорения.

В физике существует шесть стандартных законов сохранения: энергия, импульс, угловой момент, заряд, барионное число и лептонное число. В физике также существует огромное количество других законов сохранения, которые строго сохраняются и совершенно независимы от этих шести. В статье [7] дано простое доказательство этих других законов сохранения, а также примеры. Следствие этих дополнительных законов сохранения обсуждается для элементарных частиц.

В первой части статьи [8] предполагается, что законы сохранения энергии и импульса верны и что эти величины представляют собой суммы энергий и линейных импульсов отдельных частиц, то есть что нет ни энергии взаимодействия, ни импульса взаимодействия. Затем мы повторяем известное рассуждение и показываем, что тогда между частицами не может быть взаимодействия, то есть их мировые линии прямые. Во второй части статьи [8] для уравнений движения, предложенных в предыдущей статье, выводятся величины взаимодействия для энергии, линейного и углового импульсов, а также закон центра масс. Затем изучаются эти величины взаимодействия в асимптотической области процессов столкновений, чтобы прийти к асимптотическим законам сохранения. Найдено, в согласии с более ранней работой, что энергия взаимодействия и линейные импульсы взаимодействия обращаются в нуль асимптотически. Это, однако, в общем случае неверно для взаимодействия угловых моментов и движения центра масс. Асимптотический угловой момент взаимодействия присутствует во всех теориях, таких как классическая электродинамика, которые приводят к силам, пропорциональным закону обратных квадратов.

В статье [9] показано, что фаза и амплитуда сложной волновой функции не независимы друг от друга, а связаны, что становится очевидным, если взглянуть на гидродинамическую формулировку квантовой механики Маделунгом. В случае, не зависящем от времени, это приводит к своего рода закону сохранения, который позволяет переформулировать линейное уравнение Шрёдингера в терминах нелинейного уравнения Ермакова, которое эквивалентно комплексному уравнению Риккати, где квадратичный член в этом уравнении объясняет происхождение фазово-амплитудной связи. Аналогичный закон сохранения и соответствующие нелинейные уравнения можно найти и в нестационарном случае. Выгода от нелинейных формулировок проявляется при рассмотрении открытых систем с диссипацией и необратимостью. Описание таких систем эффективным нелинейным уравнением Шрёдингера приводит к модификации вышеупомянутых уравнений с новыми качественными эффектами, такими как бифуркации Хопфа.

В статье [10] построены явные формы для двух нетривиальных законов сохранения квантового нелинейного уравнения Шрёдингера и показано, что они имеют правильный квазиклассический предел.

В статье [11] рассматривается скалярный закон сохранения со строгим выпуклым потоком в одном пространственном измерении. В статье [11] изучается точная управляемость энтропийного решения с помощью управления начальными или граничными данными. Здесь исследуются точные условия, при которых задача точной управляемости допускает решение. Основными составляющими доказательства этих результатов являются явная формула Лакса-Олейника и более тонкие свойства кривых характеристик.

В статье [12] используется ряд замечаний, сделанных Юджином Вигнером для защиты утверждения о том, что природа связи между симметриями и законами сохранения различна в квантовой и классической механике. В частности, приводится список из трёх различий между гильбертовой формулировкой квантовой механики и лагранжевой формулировкой классической механики. Показано, что эти различия связаны с тем, что законы сохранения не являются единственным следствием симметрии в квантовой механике, и с тем фактом, что в классической механике связь между симметриями и законами сохранения не всегда имеет место.

В статье [13] законы сохранения (инварианты движения) были получены из операций симметрии для различных областей энергии. Формулировка была получена с помощью расширенной теоремы Нётер и графов связей. Была использована дополнительная время-подобная переменная, называемая тенью, и это обозначение было добавлено ко всем видам энергии и самому лагранжиану. В статье [13] расширена лагранжево-гамильтоновская механика, чтобы иметь дело с асимметриями в системе, которая включает в себя диссипативные и непотенциальные поля. Калибровочные функции использовались для симметризации теневого лагранжиана системы. Для пояснения концепции было включено несколько новых примеров. В первом примере представлены сложные калибровочные функции для радиационной тепловой системы, в которой масса льда нагревается за счёт радиационного процесса. Получен закон сохранения для такой системы. Во втором примере рассматриваются калибровочные функции для системы с изменяющейся во времени жесткостью, что наглядно демонстрирует полезность теневого метода Лагранжа. В другом примере получены калибровочные функции для системы управления, что показывает применимость метода в различных областях энергетики.

Как известно, законы сохранения для материальных сред — это законы сохранения энергии, количества движения, момента количества движения и массы. Такие законы сохранения описываются дифференциальными уравнениями. А законы сохранения для физических полей — это законы сохранения, констатирующие наличие консервативных физических величин или объектов (структур). Такие законы сохранения описываются замкнутыми внешними кососимметричными формами. В статье [14] показано, что законы сохранения обладают двойственностью. Законы сохранения для материальных сред и законы сохранения для физических полей различны. Особенность состоит в том, что существует связь между законами сохранения для материальных сред и законами для физических полей. Эта связь реализуется дискретно в эволюционном процессе. Он описывает возникновение физических структур и наблюдаемые образования, такие как волны, вихри, турбулентные пульсации.

В статье [15] показано, что на основе анализа формулировки схемы условия энтропии порядок точности определяется интерполяцией начального значения и реконструкцией потока. Следуя ограничителям традиционной схемы уменьшения общей вариации второго порядка, более высокий порядок точности и неколебательный характер сохраняются с новым предложенным методом порога гладкости.

Граничные преобразования координат широко используются для отображения области течения на вычислительное пространство, в котором выполняется конечно-разностное решение дифференциальных законов сохранения потока. Этот метод влечёт за собой трудности с поддержанием глобального сохранения и с вычислением локального элемента объёма при отображениях, зависящих от времени, которые являются результатом движения границы. В статье [16] для улучшения метода формулируется дифференциально-геометрический закон сохранения, определяющий элемент пространственного объема при произвольном отображении. Геометрический закон сохранения решается численно вместе с законами сохранения потока с использованием консервативных разностных операторов. В статье [16] представлены численные результаты для неявных решений нестационарных уравнений Навье-Стокса и для явных решений уравнений стационарного сверхзвукового течения.

В статье [17] показано, что ортодоксальная версия квантовой механики противоречит идее о том, что законы сохранения действительны в отдельных процессах измерения. Шрёдингеровская эволюция системы приводит при некоторых обстоятельствах к когерентным суперпозициям макроскопически различных состояний. Это наглядно показано в парадоксе кота Шрёдингера и представляет собой великую загадку квантовых измерений. Для объяснения этого факта было предложено несколько гипотез. Наиболее известен постулат о проекции, составная часть так называемой ортодоксальной интерпретации квантовой механики (благодаря фон Нейману), которая в настоящее время является почти единственной изучаемой версией. Постулат проекции устанавливает, что при проведении измерения состояние системы переходит в собственное состояние оператора, представляющего измеряемую динамическую величину, а стрелка измерительного прибора приводится в определённое положение; то есть разрушает когерентную суперпозицию макроскопически различных состояний.

Элементы системы задач по законам сохранения

Приведём описание задач по законам сохранения, разработанных для проведения педагогического эксперимента по физике в старших= классах с углубленным изучением физики. В ходе выполнения работы были разработаны оригинальные задачи, которые решаются с применением законов сохранения в классах с углубленным изучением физики.

Задача 2.1. Дрезина движется по рельсам с постоянной скоростью. Мальчик, скорость которого в 2 раза превышает скорость дрезины, догоняет её, вскакивает и останавливается на ней, в результате чего их скорость увеличилась на 15 %. Во сколько раз дрезина тяжелее мальчика?

Решение.

Записываем начальные условия $v_1 = 2v_2$, $\Delta v/v_2 = 15\,\%$.

Проанализировав условие задачи, записываем формулы, которые потребуются для решения задачи. Согласно закону сохранения импульса

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2' \,, \tag{1}$$

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2)\, 1.15 v_2 \,, \tag{2}$$

$$m_1 2v_2 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2)\, 1.15 v_2 \,, \tag{3}$$

$$(2m_1 + m_2)\, v_2 = (m_1 + m_2)\, 1.15 v_2 \ , \tag{4}$$

$$2m_1 + m_2 = 1.15 m_1 + 1.15 m_2 \ , \tag{5}$$

$$0.85 m_1 = 0.15 m_2 \ . \tag{6}$$

Выражаем неизвестную величину

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{0.85}{0.15} \approx 5.7 \ . \tag{7}$$

Ответ: $m_2/m_1 \approx 5.7$.

Задача 2.2. На сколько импульс корабля массой 5 тонн больше импульса лодки массой 2500 кг, если двигаются они с одинаковой скоростью.

Решение.

Найдём разность импульсов корабля и лодки

$$\Delta \mathbf{p} = \mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_2 \ . \tag{8}$$

Применим определение импульса

$$\mathbf{p} = m\mathbf{v} \tag{9}$$

для вычисления импульса корабля

$$p_1 = m_1 v \tag{10}$$

и для вычисления импульса лодки

$$p_2 = m_2 v \ . \tag{11}$$

Тогда можно найти разность импульсов

$$\Delta p = p_1 - p_2 = m_1 v - m_2 v = (m_1 - m_2)\, v \ , \tag{12}$$

а затем, используя полученное выражение (12), вычислить численное значение искомой величины

$$\Delta p = (5000 - 2500)\, v = 2500 v \ . \tag{13}$$

Ответ: $\Delta p = 2500v$.

Эта задача решается с применением определения импульса. Эта задача является задачей низкого уровня, направленная на применение выражения импульса и закона сохранения импульса. Задача не является комбинированной задачей. В приведённом решении задача решена аналитическим методом.

Задача 2.3. Чему равна масса футбольного мяча, если он летел со скоростью 108 км/ч и его импульс в 3 раза больше импульса хоккейная шайба массой 150 г, которая летит со скоростью 120 км/ч.

Решение.

Применим определение импульса

$$\mathbf{p} = m\mathbf{v} \ . \tag{14}$$

Для выражений импульса мяча и шайбы получаем

$$p_1 = 3p_2 \ , \tag{15}$$

$$m_1 v_1 = 3 m_2 v_2 \ . \tag{16}$$

Выразим массу мяча

$$m_1 = \frac{3m_2v_2}{v_1} \ . \quad (17)$$

Вычислим численное значение масса футбольного мяча $m_1 = 3 \cdot 0.15 \cdot 33.3/30 = 0.499$ кг.

Ответ: $m_1 = 0.499$ кг.

Задача 2.4. Мяч, имеющий массу 500 г, падает с высоты 6 м и отскакивает вверх, со скоростью 6 м/с. Чему равна абсолютная величина изменения импульса при ударе.

Решение.

На рис. 1 показано изменение положения мяча при отскоке вверх.

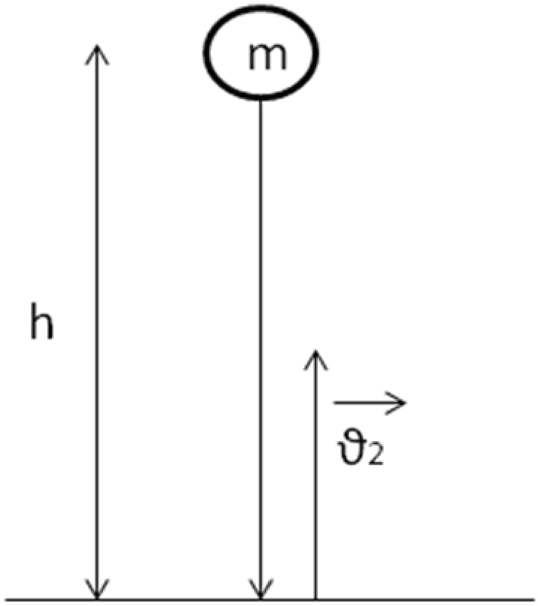

Рис. 1. Изменение положения мяча при отскоке вверх.

Запишем изменение импульса

$$|\Delta p| = |\Delta p_y| \ . \quad (18)$$

Проекция на ось, направленную вертикально вверх

$$|\Delta p_y| = |\Delta p_{2y} - p_{1y}| = mv_2 - (-mv_1) = m\,(v_2 + v_1) \ , \quad (19)$$

$$v_1 = \sqrt{2gh} \ , \quad (20)$$

$$|\Delta p_y| = m\left(v_2 + \sqrt{2gh}\right) \quad (21)$$

вычислим значение искомой величины $|\Delta p_y| = 0.5\left(6 + \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 6}\right) = 8.5$ Н/с.

Ответ: $|\Delta p_y| = 8.5$ Н/с.

Задача 2.5. Предмет массой 200 г падает с высоты 0.3 м и после упругого удара отскакивает до этой же высоты. Чему равна сила давления предмета на поверхность, если длительность удара 0.03 с.

Решение.

На рис. 2 показано изменение положения предмета при падении и при отскоке вверх после упругого удара.

Примени́м формулу для импульса силы

$$\Delta \mathbf{p} = \mathbf{F}\Delta t \ . \quad (22)$$

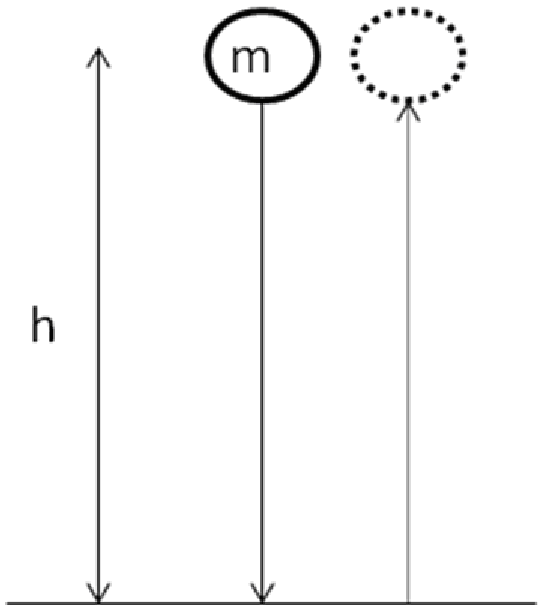

Рис. 2. Изменение положения предмета при падении и при отскоке вверх после упругого удара.

Выразим среднее значение равнодействующей силы, которая складывается из реакции плоскости и силы тяжести

$$\mathbf{F} = \frac{\Delta \mathbf{p}}{\Delta t} \ , \tag{23}$$

$$F_y = \frac{\Delta p_y}{\Delta t} = \frac{mv - (-mv)}{\Delta t} = \frac{2mv}{\Delta t} = \frac{2m\sqrt{2gh}}{\Delta t} \ . \tag{24}$$

Подсчитываем значение проекции силы $F_y = 2 \cdot 0.2 \cdot \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 0.3}/0.03 = 32.7\,\text{Н}$.

По третьему закону Ньютона следует, что сила давления предмета на плоскость равна силе реакции опоры $F = N - mg$. Выразим силу реакции опоры $N = F + mg$.

Подсчитаем численные значения силы реакции опоры $N = 32.7 + 2 = 34.7\,\text{Н}$.

Ответ: $N = 34.7\,\text{Н}$.

Задача 2.6. По городу автомобиль двигался со скоростью 45 км/ч. Выехав на трассу, увеличил скорость до 90 км/ч. Найдите изменение импульса, если масса автомобиля 2 тонны.

Решение.

$$\Delta \mathbf{p} = \mathbf{p}_2 - \mathbf{p}_1 \ , \tag{25}$$

$$p_1 = mv_1 \ , \tag{26}$$

$$p_2 = mv_2 \ . \tag{27}$$

$$\Delta p = p_2 - p_1 = m\left(v_2 - v_1\right) \ , \tag{28}$$

$\Delta p = 2000(25 - 12,5) = 25000\,\text{Н/с}$. Ответ: $25000\,\text{Н/с}$.

Задача 2.7. Из орудия массой 450 кг вылетает снаряд массой 5 кг в горизонтальном положении со скоростью 450 м/с. На какое расстояние после выстрела откатится орудие, если оно останавливается через 0.2 с.

Решение.

1) Записываем начальные условия $m_1 = 450\,\text{кг}$, $m_2 = 5\,\text{кг}$, $v_2 = 450\,\text{м/с}$, $t = 0.2\,\text{с}$.

2) Проанализировав задачу, записываем основные формулы, которые потребуются для её решения. Согласно закону сохранения импульса

$$m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 = 0 \ . \tag{29}$$

Выражаем неизвестную величину

$$v_1 = -\frac{m_2 v_2}{m_1} \ . \tag{30}$$

Путь найдём из уравнения для пути

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2} \ . \tag{31}$$

$$a = \frac{v_0}{t} \ . \tag{32}$$

(ускорение отрицательно, так как конечная скорость равно нулю, поскольку пушка остановилась). В нашем случае $v_1 = v_0$. Тогда получаем уравнение

$$s = v_1 t - \frac{v_1 t}{2} \ , \tag{33}$$

$$s = \frac{v_1 t}{2} \ . \tag{34}$$

$$s = \frac{t m_2 v_2}{2 m_1} \ . \tag{35}$$

3) Подставляем значения $s = (0.2\,\text{с} \cdot 5\,\text{кг} \cdot 450\,\text{м/с})/2 \cdot 450\,\text{кг} = 0.5\,\text{м}$.

Задача 2.8. Чему равно отношение импульсов корабля и лодки, если корабль вытесняет $20000\,\text{м}^3$ пресной воды и движется со скоростью $55\,\text{км/ч}$, а лодка вытесняет $10000\,\text{м}^3$ и её скорость $40\,\text{км/ч}$.

Решение.

В воде принято считать, что масса корабля равна массе воды, которую он вытесняет. Запишем формулу для нахождения массы $m = \rho V$.

Рассчитаем массу воды, которую вытесняет корабль $m_1 = 1000 \cdot 20000 = 20000000\,\text{кг}$ и лодка $m_2 = 1000 \cdot 10000 = 10000000\,\text{кг}$.

Применим определение импульса

$$\mathbf{p} = m\mathbf{v} \tag{36}$$

для корабля

$$p_1 = m v_1 \ , \tag{37}$$

подсчитаем численное значение $p_1 = 20000000 \cdot 15.3 = 30.6 \cdot 10^7\text{Н/с}$, для лодки $p_2 = 10000000 \cdot 11.1 = 11.1 \cdot 10^7\,\text{Н/с}$. Найдём отношение импульсов

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{30.6 \cdot 10^7}{11.1 \cdot 10^7} = 2.8 \ . \tag{38}$$

Ответ: $\frac{p_1}{p_2} = 2.8$.

Эта задача является задачей среднего уровня на применение закона сохранения импульса.

Задача 2.9. Уравнение $x = 25 + 3t - 2t^2$ описывает движение тела массой $3\,\text{кг}$. Чему равен импульс через $3\,\text{с}$, $6\,\text{с}$ после начала движения. Найдите модуль и направление силы, вызвавшей это изменение.

Решение.

Запишем определение скорости

$$v = \frac{dx}{dt} = 3 - 4t \ . \tag{39}$$

Применим определение импульса

$$\mathbf{p} = m\mathbf{v} \tag{40}$$

$$p_1 = mv_1 = m\,(3-4t)\ . \tag{41}$$

Подсчитываем численное значение $p_1 = 3(-9) = -27$ Н/с.

$$p_2 = m.v_2 = m(3-4t)\ . \tag{42}$$

Подсчитываем численное значение $p_2 = 3(-21) = -63$ Н/с.

Вычислим силу, которой вызвано изменение

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{p_2 - p_1}{\Delta t} = \frac{-63-(-27)}{3} = -12 \tag{43}$$

Н

Ответ: $F = -12$ Н.

Эта задача является задачей среднего уровня на применение закона сохранения импульса.

Задача 2.10. Резиновый мяч массой 300 г ударился об пол под углом 45° со скоростью 10 м/с и отскочил от него. Чему равен импульс силы, если удар абсолютно упругий.

Решение.

На рис. 3 показано изменение положения резинового мяча при ударе об пол под углом 45°.

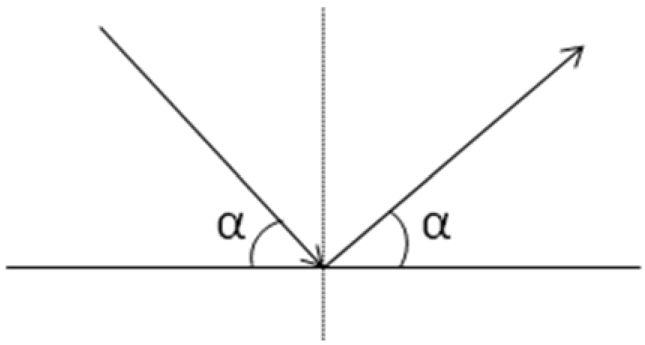

Рис. 3. Изменение положения резинового мяча при ударе об пол под углом 45°.

Применим формулу импульса силы

$$\Delta\mathbf{p} = \Delta t\mathbf{F} \tag{44}$$

$$\Delta\mathbf{p} = \mathbf{p}_2 - \mathbf{p}_1 \tag{45}$$

$$p_2 = p_1 \tag{46}$$

(так как удар является абсолютно упругим ударом). Рассчитаем спроецированный импульс на ось Ox.

$$\Delta p_x = mv\sin\alpha - (-mv\sin\alpha) = 2\cdot m\cdot v\cdot\sin\alpha \tag{47}$$

подставим численные значения $\Delta p_x = 2\cdot 0.3\cdot 10\cdot\sqrt{2}\cdot 0.5 = 4.2$ Н/с.

Ответ: $\Delta p_x = 4.2$ Н/с.

Задача 2.11. Чему равен импульс тела, если его кинетическая энергия 15 Дж, а масса 3 кг.

Решение.

Применим определение кинетической энергии

$$E_k = \frac{m\mathbf{v}^2}{2} \tag{48}$$

$$v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}}\ . \tag{49}$$

Применим определение импульса

$$\mathbf{p} = m\mathbf{v}\ , \tag{50}$$

Подсчитаем численное значение $p = 3\sqrt{\frac{2\cdot E_k}{m}} = 3\cdot\sqrt{\frac{2\cdot 15}{3}} = 9.5\,\text{Н/с}$.

Ответ: $p = 9.5\,\text{Н/с}$.

Задача 2.12. Два велосипедиста выехали из города A во взаимно перпендикулярном направлении со скоростями $20\,\text{км/ч}$ и $23\,\text{км/ч}$. Масса велосипедистов $81\,\text{кг}$ и $89\,\text{кг}$ соответственно. Чему равен полный импульс системы?

Решение.

На рис. 4 показан треугольник импульсов.

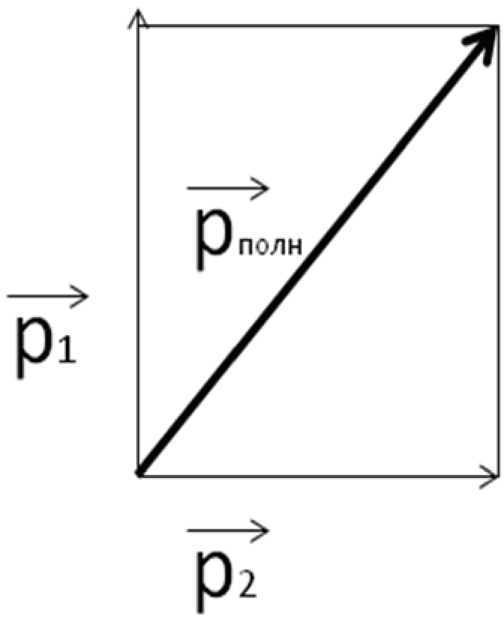

Рис. 4. Треугольник импульсов.

Применим определение импульса

$$\mathbf{p} = m\mathbf{v}\ . \tag{51}$$

Запишем полный импульс системы как гипотенузу прямоугольного треугольника

$$p = \sqrt{p_2^2 + p_1^2} = \sqrt{m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2}\ . \tag{52}$$

подсчитываем численное значение $p = \sqrt{198470.25 + 324444.15} = 723\,\text{Н/с}$.

Ответ: $p = 723\,\text{Н/с}$.

Уровень С. **Задача 2.13**. Во время стендовой стрельбы спортсмен выстрелил в летящую тарелку в тот момент, когда она находилась в наивысшей точке полета. После выстрела, тарелку разорвало на три осколка. Первые два осколка отлетели во взаимно

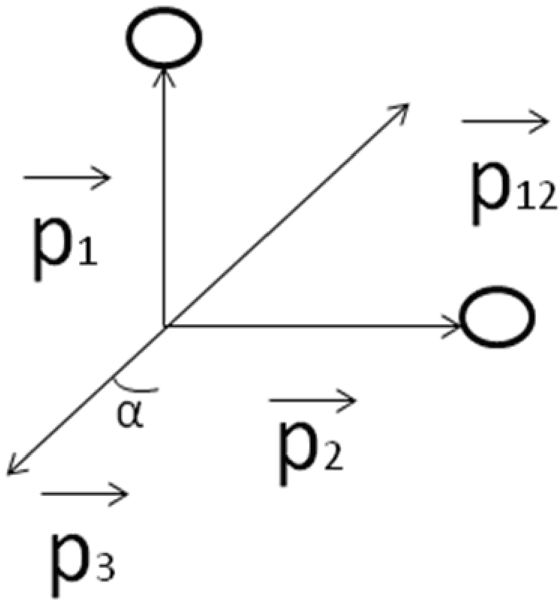

Рис. 5. Импульсы трёх осколков при разрыве тарелки в верхней точке.

перпендикулярном направлении со скоростью v_1 и v_2. Масса кусков m_1 и m_2 соответственно. Чему равна скорость третьего куска, имеющего массу m_3.

Решение.

На рис. 5 показаны импульсы трёх осколков при разрыве тарелки в верхней точке.

Для решения данной задачи необходимо знать, что импульс до взаимодействия пули и после - равны.

$$\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2 + \mathbf{p}_3 = 0\ . \tag{53}$$

Применим определение импульса для трёх осколков

$$\mathbf{p}_1 = m_1\mathbf{v}_1 \tag{54}$$

$$\mathbf{p}_2 = m_2\mathbf{v}_2\ , \tag{55}$$

$$\mathbf{p}_3 = m_3\mathbf{v}_3 \tag{56}$$

Суммарный импульс 1 и 2 осколков можно найти по правилу сложения векторов, така как осколки разлетелись в разные стороны

$$\mathbf{p}_{12} = \sqrt{\mathbf{p}_1^2 + \mathbf{p}_2^2} = \sqrt{(m_1\mathbf{v}_1)^2 + (m_2\mathbf{v}_2)^2}\ . \tag{57}$$

Импульс третьего осколка противоположно направлен суммарному импульсу первого и второго осколков. Длина вектора импульса третьего осколка равна длине суммарного импульса

$$p_{12} = p_3\ , \tag{58}$$

$$m_3v_3 = \sqrt{(m_1v_1)^2 + (m_2v_2)^2}\ , \tag{59}$$

$$v_3 = \frac{\sqrt{(m_1v_1)^2 + (m_2v_2)^2}}{m_3}\ . \tag{60}$$

Ответ:

$$v_3 = \frac{\sqrt{(m_1v_1)^2 + (m_2v_2)^2}}{m_3}\ . \tag{61}$$

Задача 2.14. После того, как в грузовик Камаз насыпали песка массой в 3 раза меньшей Камаза, его скорость стала 32.4 км/ч. Чему равна первоначальная скорость Камаза?

Решение.

Применим закон сохранения импульса

$$m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 = m_1\mathbf{v}_1' + m_2\mathbf{v}_2' \ . \tag{62}$$

Для данной задачи

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2)\, v' \ . \tag{63}$$

Выражаем неизвестную величину

$$v_1 = \frac{(m_1 + m_1)\, v'}{m_1} \ , \tag{64}$$

$$v_1 = \frac{\frac{4}{3} m v'}{m} \ . \tag{65}$$

Посчитываем численное значение $v_1 = 12$ м/с.

Ответ: $v_1 = 12$ м/с.

Задача относится к задачам низкого уровня на применение закона сохранения импульса.

Задача 2.15. Баржа массой 10 тонн двигалась по реке со скоростью 40 км/ч. Чему равна скорость баржи после состыковки с покоящимся грузом массой 9 тонн, если скорость течения 3 м/с.

Решение:

На рис. 6 показана состыковка баржи.

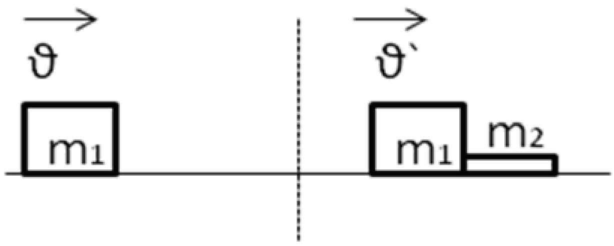

Рис. 6. Состыковка баржи.

Применим закон сохранения импульса

$$m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 = m_1\mathbf{v}_1' + m_2\mathbf{v}_2' \tag{66}$$

для баржи, течения и груза

$$m_1 (v_1 + v_3) = (m_1 + m_2)\left(v_1' + v_3'\right) \ , \tag{67}$$

$$v_1' = \frac{m_1 (v_1 + v_3)}{(m_1 + m_2)} - v_3 \ . \tag{68}$$

Подсчитываем численное значение $v_1' = \frac{10000 \cdot 14.1}{19000} - 3 = 4.4$м/с.

Ответ: $v_1' = 4.4$ м/с.

Задача 2.16. Кёрлер катит камень со скоростью 3 м/с, а затем толкает камень вперед. С какой скоростью покатится камень, если спортсмен станет двигаться со скоростью 2.7 м/с. Масса спортсмена 65 кг, а камня 20 кг.

Решение:

Применим закон сохранения импульса

$$m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 = m_1\mathbf{v}_1' + m_2\mathbf{v}_2' \ , \tag{69}$$

$$(m_1 + m_2)\, v_1 = m_1 v_1' + m_2 v_2' \ . \tag{70}$$

Выразим скорость камня после взаимодействия

$$v_2' = \frac{(m_1 + m_2)v_1 - m_1 v_1}{m_1} \ . \tag{71}$$

Вычислим численное значение скорости $v_2' = \frac{(20+65)\cdot 3 - 65\cdot 2.7}{20} = 4\,\text{м/с}$.

Ответ: $v_2' = 4\,\text{м/с}$.

Задача 2.17. С берега в надувную шлюпку одновременно бросают два чемодана со скоростью 3 м/с массой 4 кг каждый. Масса шлюпки составляет 10 кг. С какой скоростью шлюпка начнет двигаться?

Решение:

Применим закон сохранения импульса

$$m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 = m_1\mathbf{v}_1' + m_2\mathbf{v}_2' \tag{72}$$

для данной ситуации

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2 + m_3)\, v' \ . \tag{73}$$

Выразим скорость шлюпки после взаимодействия

$$v' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{(m_1 + m_2 + m_3)} \tag{74}$$

и вычислим численное значение $v' = \frac{4\cdot 3 + 4\cdot 3}{4+4+10} = 1.3\,\text{м/с}$.

Ответ: $v' = 1.3\,\text{м/с}$.

Задача 2.18. Мальчик массой 10 кг бежал со скоростью 0.8 м/с и катнул мяч массой 200 г. После чего скорость мальчика уменьшилась вдвое. Чему равен импульс переданный человеку, поймавшему мяч?

Решение.

Применим закон сохранения импульса

$$m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 = m_1\mathbf{v}_1' + m_2\mathbf{v}_2' \ , \tag{75}$$

$$m_1 v_1 = m_1 v_1' + m_2 v_2' \ . \tag{76}$$

Выразим импульс, который получил человек

$$p_2 = m_1 v_1 - m_1 v_1' \tag{77}$$

и подставим численные значения

$$p_2 = m_1 v_1 - m_1 v_1' \ . \tag{78}$$

Подсчитаем численное значение $p_2 = 10 \cdot 0.8 - 10 \cdot 0.4 = 4\,\text{Н/с}$.

Ответ: $p_2 = 4\,\text{Н/с}$.

Задача 2.19. Два пластилиновых шара сонаправленно летят со скоростью 10 м/с и 5 м/с с массами 5 кг и 4 кг соответственно. После того как первый шар догоняет второй они летят вместе. Чему равна совместная скорость шаров?

Решение.

Применим закон сохранения импульса

$$m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 = m_1\mathbf{v}_1' + m_2\mathbf{v}_2' \tag{79}$$

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2)\, v' \tag{80}$$

Совместная скорость

$$v' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} \tag{81}$$

Подсчитываем численное значение скорости $v' = \frac{5\cdot 10 + 4\cdot 5}{9} = 7.8$ м/с.

Ответ: $v' = 7.8$ м/с.

Задача 2.20. Бильярдный шар двигается со скоростью 8 м/с, сталкивается со вторым неподвижным шаром и тем самым уменьшил свою скорость в 4 раза. После чего тот, в свою очередь, толкает ещё один неподвижный шар. Чему равна скорость третьего шара после соударения, если второй потерял треть своей скорости.

Решение.

На рис. 7 показан процесс столкновения бильярдных шаров.

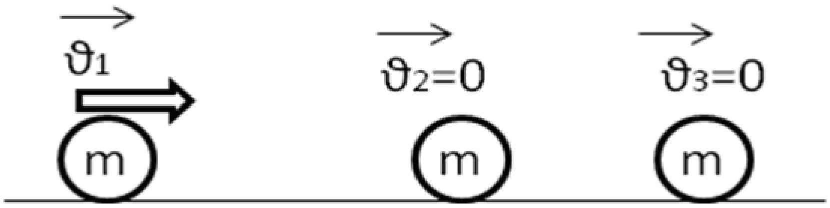

Рис. 7. Столкновение бильярдных шаров.

Применим закон сохранения импульса

$$m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 = m_1\mathbf{v}_1' + m_2\mathbf{v}_2' \tag{82}$$

для первого и второго шара

$$m_1 v_1 = m_1 v_1' + m_2 v_2' \, . \tag{83}$$

Заменим v_1' на v_1.

$$v_1 = \frac{v_1}{4} + v_2' \, , \tag{84}$$

$$v_2' = v_1 - \frac{v_1}{4} = \frac{3\cdot v_1}{4} \, . \tag{85}$$

Запишем закон сохранения импульса для второго и третьего шара

$$m v_2' = m v_2'' + m v_3' \, . \tag{86}$$

Выразим скорость третьего шара

$$v_3' = v_2' - \frac{v_2'}{3} = \frac{2\cdot v_2'}{3} = \frac{v_1}{2} \, . \tag{87}$$

Подсчитываем численное значение $v_3' = \frac{1}{2}\cdot 8 = 4$ м/с.

Ответ: $v_3' = 4$ м/с.

Задача 2.21. На движущуюся платформу сбросили груз. Скорость платформы с грузом стала в 5 раз меньше первоначальной. Во сколько раз масса груза больше массы платформы?

Решение.

Применим закон сохранения импульса

$$m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 = m_1\mathbf{v}_1' + m_2\mathbf{v}_2' \tag{88}$$

для платформы и груза

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2)\, v' \ . \tag{89}$$

Заменим скорость платформы до погружения груза на скорость после взаимодействия

$$m_1 5v' = (m_1 + m_2)\, v' \tag{90}$$

$$5m_1 = m_1 + m_2 \tag{91}$$

$$4m_1 = m_2 \tag{92}$$

$\frac{m_2}{m_1} = 4$.

Ответ: в 4 раза.

Задача 2.22. Фигурист массой 80 кг совершает выброс своей партнерши под углом 45°. Масса партнерши 45 кг, скорость броска 1.5 м/с. Какую скорость приобретет фигурист после выброса?

Решение.

На рис. 8 показан процесс выброса партнерши фигуристом.

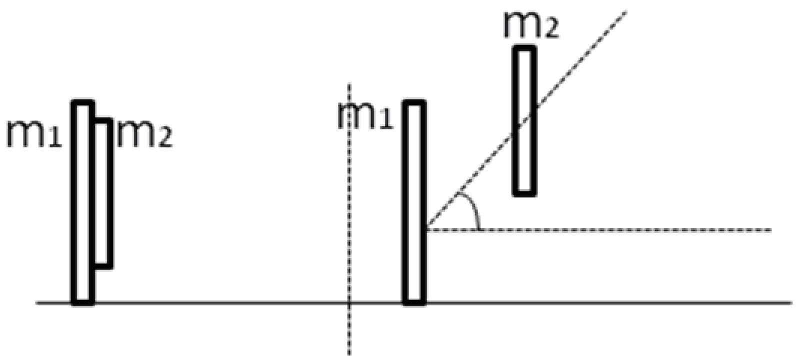

Рис. 8. Выброс партнерши фигуристом.

Применим закон сохранения импульса

$$m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 = m_1\mathbf{v}_1' + m_2\mathbf{v}_2' \ . \tag{93}$$

Для фигуристов до и после взаимодействия

$$0 = -m_1 v_1' + m_2 v_2' \sin\alpha \ , \tag{94}$$

$$v_1' = \frac{m_2 v_2' \sin\alpha}{m_1} \ , \tag{95}$$

используя полученное выражение, вычислим численное значение искомой величины

$$v_1' = \frac{m_2 v_2' \sin\alpha}{m_1} \ . \tag{96}$$

Находим численное значение $v_1' = \frac{45 \cdot 1.5 \cdot 0.5 \cdot \sqrt{2}}{80} = 0.6$ м/с.

Ответ: $v_1' = 0.6$ м/с.

Задача 2.23. С каким ускорением будет двигаться ледянка, если мальчик массой 40 кг будет прыгать на неё со скоростью 10 км/ч и он проскользит на ней путь 8 м за 2 с. Масса ледянки 0.4 кг.

Решение.

Применим формулу пути для равнозамедленного прямолинейного движения

$$S_x = v_{0x}t - \frac{a_x t^2}{2} \; . \tag{97}$$

Выразим ускорение

$$a_x = \frac{(v_{0x}t - S_x)2}{t^2} \; . \tag{98}$$

Применим закон сохранения импульса

$$m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 = m_1\mathbf{v}_1' + m_2\mathbf{v}_2' \tag{99}$$

для мальчика и ледянки

$$m_1 \; v_1 = (m_1 + m_2)v' \; . \tag{100}$$

Выразим совместную скорость

$$v' = \frac{m_1 \; v_1}{m_1 + m_2} \tag{101}$$

$$a_x = \frac{(\frac{m_1 \; v_1 t}{m_1 + m_2} - S_x)2}{t^2} \tag{102}$$

Находим численное значение $a_x = \frac{(\frac{40 \cdot 2.7 \cdot 2}{40.4} - 8)2}{4} = -1.3\,\text{м/с}^2$.

Ответ: $a_x = -1.3\,\text{м/с}^2$.

Задача 2.24. Дети, играя на пруду, бросали мяч массой 1.35 кг. Под каким углом бросил мяч Коля, который стоял на надувном матраце, если скорость мяча 4 м/с, а мальчика после броска 8 см/с. Масса Коли 45 кг, масса матраца 1 кг.

Решение.

На рис. 9 показан процесс выброса мяча с надувного матраца.

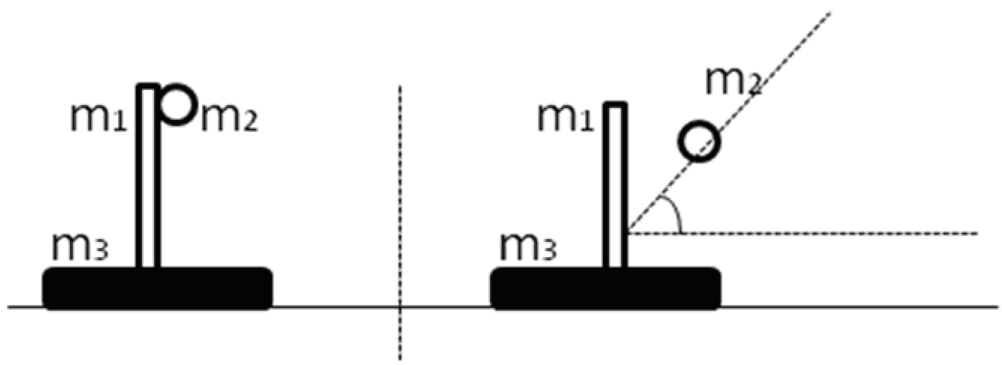

Рис. 9. Выброс мяча с надувного матраца.

Применим закон сохранения импульса

$$m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 = m_1\mathbf{v}_1' + m_2\mathbf{v}_2' \tag{103}$$

для мальчика, плота и мяча

$$0 = -\left(m_1 + m_2\right) v_1' + m_3 v_3' \sin\alpha \; . \tag{104}$$

Выразим неизвестную величину

$$\sin\alpha = \frac{(m_1 + m_2)\, v_1'}{m_3 v_3'} = \frac{(45+1)\cdot 0.08}{1.35\cdot 3} = 0.7\ . \tag{105}$$

В итоге находим численное значение $\alpha \approx 45^\circ$.

Ответ: $\alpha \approx 45^\circ$.

Задача 2.25. Во время стендовой стрельбы в мишень, летящую со скоростью 64 км/ч, на высоте 20 м попадает пуля и мишень разрывается на два осколка. Через 1.2 с после попадания одна часть падает на землю, а вторая продолжает лететь. На каком расстоянии от первой окажется вторая часть? (Части одинаковые. Сопротивление воздуха пренебречь.)

Решение.

На рис. 10 показан процесс разрыва пули на два осколка при попадании в мишень.

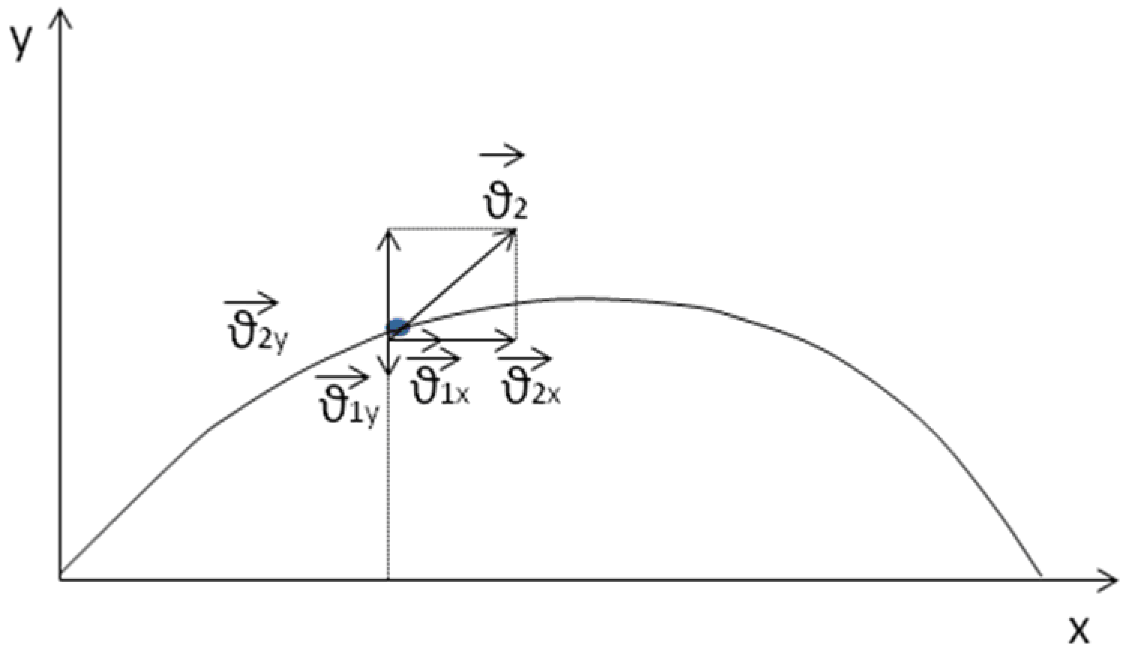

Рис. 10. Разрыв пули на два осколка при попадании в мишень.

Применим формулу пути при равноускоренном движении

$$s_x = v_{0x} t + \frac{gt^2}{2} \tag{106}$$

для расчёта начальной скорости первого куска

$$v_0 = \frac{s - \frac{gt^2}{2}}{t}\ . \tag{107}$$

Подсчитываем численное значение $v_0 = \frac{20-7.2}{1.2} = 10.6$ м/с.

Проекции импульса на ось O и O

$$2mv_x = mv_{1x} + mv_{2x}\ , \tag{108}$$
$$2mv_y = mv_{1y} + mv_{2y}\ , \tag{109}$$

так как первый осколок упал под местом разрыва, то $v_x = 0$ и $v_y = 0$, тогда $v_{2x} = 2v_x$, $v_{2y} = 2v_y$.

До разрыва тарелка двигалась

$$t = \sqrt{\frac{2S}{g}} \ . \tag{110}$$

Подсчитываем значение $t = \sqrt{\frac{2S}{g}} = \sqrt{\frac{40}{10}} = 2\,\text{с}$.

Координаты первого осколка

$$x_1 = 0 y_1 = v_{1y} t - \frac{gt^2}{2} \ . \tag{111}$$

Координаты второго осколка

$$x_2 = v_{2x} t_2 \ , \tag{112}$$

$$y_2 = v_{2y} t_2 - \frac{g t_2^2}{2} \ , \tag{113}$$

$$t_2 = \frac{v_{2y}}{g} \ . \tag{114}$$

Подсчитываем численные значения для времени $t_2 = \frac{10.6}{10} = 1.06\,\text{с}$, а также $s_1 = 1.06 \cdot 10.6 - \frac{10 \cdot 1.12}{2} = 5.6\,\text{м}$. Запишем формулу пути второго осколка

$$s_1 + s = v_{3y} t_3 + \frac{g t_3^2}{2} \ , \tag{115}$$

При условии $v_{3y} = 0$ получим

$$s_1 + s = \frac{g t_3^2}{2} \ . \tag{116}$$

Находим время падения второго осколка

$$t_3 = \sqrt{\frac{2(s_1 + s)}{g}} \ . \tag{117}$$

Подсчитываем время падения второго осколка $t_3 = \sqrt{\frac{2(5.6+20)}{10}} = 2.26\,\text{с}$.

Найдём расстояние между первым и вторым осколком после падения

$$s_2 = 2 v_0 \left(t_2 + t_3 \right) \ . \tag{118}$$

Подсчитываем численное значение $s_2 = 2 \cdot 17.7 \cdot (1.06 + 2.26) = 117.6\,\text{м}$.

Ответ: $S_2 = 117.6\,\text{м}$.

Задача относится к задачам повышенного уровня сложности.

Задача 2.26. Какова кинетическая энергия мухи массой 1 г, которая летит со скоростью 8 м/с.

Решение.

Применим формулу кинетической энергии

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \ . \tag{119}$$

Подсчитываем численное значение $E_k = E_k = \frac{1 \cdot 64}{2} = 32\,\text{Дж}$. Ответ: $E_k = E_k = 32\,\text{Дж}$.

Задача относится к задачам низкого уровня сложности, использующая в решении определения механической энергии, полной и кинетической энергий.

Задача 2.27. Масса грузовика Камаз больше массы легкового автомобиля в 3 раза, но скорость легкового автомобиля в 3 раза больше. Найдите отношение кинетических энергий Камаза и легкового автомобиля.

Решение.

Для вычисления отношения кинетических энергий E_{k1}/E_{k2} применим формулу кинетической энергии

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \ . \tag{120}$$

Для вычисления энергии легкового автомобиля

$$E_{k1} = \frac{m_1 {v_1}^2}{2} \ , \tag{121}$$

для вычисления энергии Камаза

$$E_{k2} = \frac{m_2 {v_2}^2}{2} = \frac{3m_1 \left(\frac{v_1}{3}\right)^2}{2} \ . \tag{122}$$

$$\frac{E_{k1}}{E_{k2}} = \frac{v_1^2}{3\left(\frac{v_1}{3}\right)^2} = 3 \ . \tag{123}$$

Ответ: $\frac{E_{k1}}{E_{k2}} = 3$.

Задача относится к задачам среднего уровня сложности, использующая в решении определения механической энергии, полной и кинетической энергий.

Задача 2.28. Импульс тела массой 3 кг равен 9 кг·м/с. Чему равна кинетическая энергия тела?

Решение.

Применим формулу кинетической энергии

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \ . \tag{124}$$

Применим определение импульса

$$\mathbf{p} = m\mathbf{v} \ , \tag{125}$$

$$v = \frac{p}{m} \ , \tag{126}$$

используя полученное выражение, вычислим значение искомой величины $E_k = \frac{m\frac{p}{m}^2}{2} = \frac{3\frac{9}{3}^2}{2} = 13.5$ Дж.

Ответ: $E_k = 13.5$ Дж.

Задача 2.29. Мяч бросили с высоты горизонтально со скоростью 12 м/с. Через сколько секунд кинетическая энергия увеличится в 2 раза?

Решение.

Применим определение кинетической энергии

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \ , \tag{127}$$

$$E_{k1} = 2E_{k2} \ . \tag{128}$$

$$\frac{m{v_1}^2}{2} = 2\frac{m{v_2}^2}{2} \ , \tag{129}$$

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 = v_2^2 + (gt)^2 \ , \tag{130}$$

$$v_2^2 + (gt)^2 = 2v_1^2 \ . \tag{131}$$

Выражая время, получаем $t = \frac{v_1}{g} = 1.2$ с.

Ответ: $t = 1.2$ с.

Задача 2.30. Два тела имеют одинаковую кинетическую энергию, но обладают разными скоростями. Куда направятся тела, если они летят навстречу друг другу и их удар абсолютно неупругий.

Решение.

Применим закон сохранения импульса

$$m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 = m_1\mathbf{v}_1' + m_2\mathbf{v}_2' \tag{132}$$

для двух тел

$$m_1v_1 - m_2v_2 = (m_1 + m_2)\, v' \ . \tag{133}$$

Выразим совместную скорость

$$v' = \frac{m_1v_1 - m_2v_2}{m_1 + m_2} \ . \tag{134}$$

Применим определение кинетической энергии

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \ , \tag{135}$$

$$E_{k1} = E_{k2} \ , \tag{136}$$

$$\frac{m_1{v_1}^2}{2} = \frac{m_2{v_2}^2}{2} \ , \tag{137}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{m_1{v_1}^2 2}{2m_2}} = v_1\sqrt{\frac{m_1}{m_2}} \ , \tag{138}$$

$$v' = \frac{m_1v_1 - m_2v_1\sqrt{\frac{m_1}{m_2}}}{m_1 + m_2} = v_1\left(\frac{m_1 - m_2\sqrt{\frac{m_1}{m_2}}}{m_1 + m_2}\right) \ . \tag{139}$$

Направление совпадает со знаком разности $\left(m_1 - m_2\sqrt{\frac{m_1}{m_2}}\right)$.

Ответ: Направление совпадает со знаком разности $\left(m_1 - m_2\sqrt{\frac{m_1}{m_2}}\right)$.

Задача 2.31. Как изменится импульс тела, если кинетическая энергия станет меньше на 30 Дж?

Решение.

Применим определение кинетической энергии

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \ , \tag{140}$$

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{vp}{2} \ . \tag{141}$$

Выразим импульс

$$p = \frac{2E_k}{v} \ , \tag{142}$$

$$p_2 = 0.7p_1 \ , \tag{143}$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{1}{0.7} = 1\frac{3}{7} \ . \tag{144}$$

Ответ: $\frac{p_1}{p_2} = 1\frac{3}{7}$.

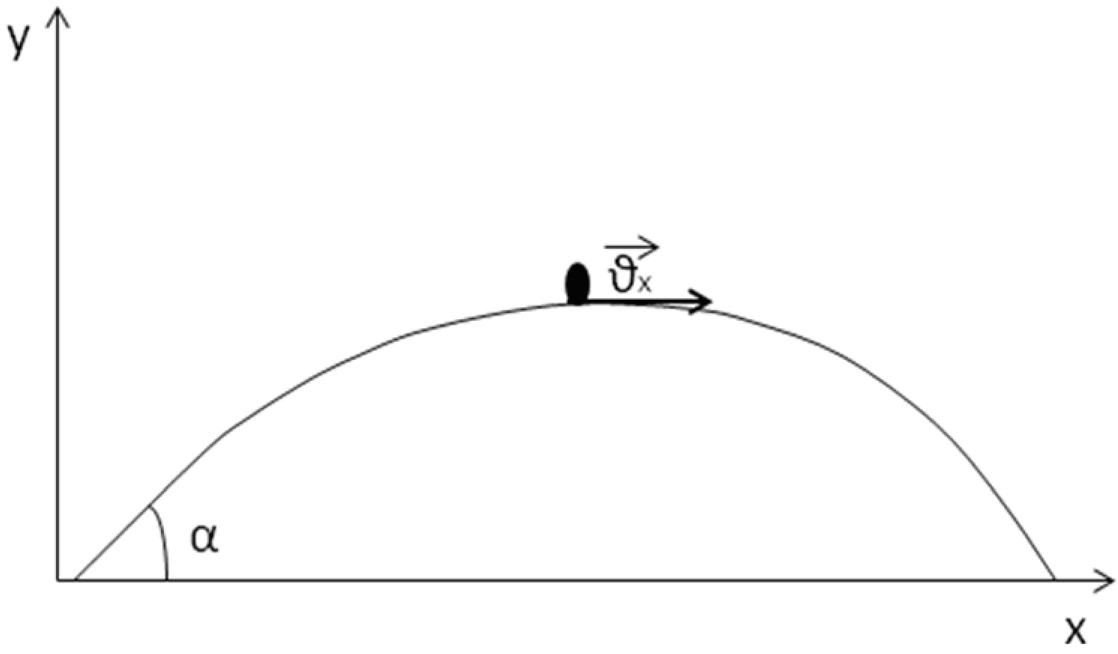

Рис. 11. Полёт шара из рогатки.

Задача 2.32. Из большой рогатки выпущен шар массой 2.5 кг под углом 30° к вертикали со скоростью 60 м/с. Чему равна его кинетическая энергия в высшей точке траектории.

Решение.

На рис. 11 показан процесс полёта шара из рогатки.

Применим определение кинетической энергии

$$E_k = \frac{m\mathbf{v}^2}{2} \tag{145}$$

В высшей точке траектории $v_y = 0$, а

$$v_x = v_0 \cos\alpha\ , \tag{146}$$

$$E_k = \frac{m{v_x}^2}{2} = \frac{mv_0 \cos\alpha^2}{2}\ . \tag{147}$$

Подсчитываем численное значение $E_k = \frac{2.560 \cdot 0.5^2}{2} = 1125$ Дж.

Ответ: $E_k = 1125$ Дж.

Эта задача относится к задачам среднего уровня сложности.

Задача 2.33. Волейбольный мяч ударяется об потолок. После удара его скорость уменьшилась на половину. При ударе выделилось 12 Дж теплоты. Чему равна кинетическая энергия мяча перед ударом?

Решение.

Применим определение кинетической энергии

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \tag{148}$$

для нахождения кинетической энергии до взаимодействия с потолком и после

$$E_{k1} = Q + E_{k2}\ . \tag{149}$$

$$\frac{m{v_1}^2}{2} = 12 + \frac{m{v_2}^2}{2} \tag{150}$$

Заменим v_1 на v_2.

$$\frac{4m{v_2}^2}{2} = 12 + \frac{m{v_2}^2}{2} \tag{151}$$

Преобразовав, получаем

$$\frac{3m{v_2}^2}{2} = 12 \tag{152}$$

$$3m{v_2}^2 = 24 \tag{153}$$

$${v_2}^2 = \frac{8}{m} \tag{154}$$

Подставляем полученное выражение $E_{k1} = \frac{4m{v_2}^2}{2} = \frac{4m\frac{8}{m}}{2} = 16$ Дж.

Ответ: $E_{k1} = 16$ Дж.

Уровень С. **Задача 2.34**. Гранатомёт выпускает гранату массой 3 кг со скоростью 110 м/с. Во время полёта она разрывается на два равных осколка. Один из которых летит в том же направлении, а второй – в противоположную сторону. Скорость первого осколка увеличилась в 2.5 раза. На сколько увеличилась кинетическая энергия в момент разрыва гранаты?

Решение.

Применим закон сохранения импульса

$$m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 = m_1\mathbf{v}'_1 + m_2\mathbf{v}'_2 \tag{155}$$

до и после разрыва гранаты

$$2mv_0 = mv'_1 - mv'_2\ . \tag{156}$$

Выразим скорость второго осколка

$$v'_2 = v'_1 - 2v_0\ . \tag{157}$$

Применим определение кинетической энергии

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \tag{158}$$

и закон сохранения энергии

$$\frac{2mv_0^2}{2} + \Delta E = \frac{m\left(v'_1\right)^2}{2} + \frac{m\left(v'_2\right)^2}{2}\ . \tag{159}$$

Затем заменим v'_2 на

$$2\Delta E = m\left(v_1'^2 + v_2'^2 - 2v_0^2\right)\ . \tag{160}$$

Находим численное значение $\Delta E = m\left(v'_1 - v_0\right)^2 = 3\left(275 - 110\right) = 81675$ Дж.

Ответ: $\Delta E = 81675$ Дж.

Задача 2.35. Игрушечный вертолёт массой 800 г падает с высоты 14 м. Чему равна кинетическая энергия вертолёта в момент удара о землю?

Решение.

Применим закон сохранения механической энергии

$$E = E_k + E_p\ . \tag{161}$$

$$E_p = E_k \tag{162}$$

Применим определение кинетической энергии

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \tag{163}$$

и потенциальной энергии

$$E_p = mgh\ , \tag{164}$$

$$mgh = \frac{mv^2}{2}\ . \tag{165}$$

Подсчитываем численное значение $E_p = 0.8 \cdot 14 \cdot 10 = 112$ Дж.

Ответ: $E_p = 112$ Дж.

Задача относится к задачам низкого уровня сложности на применение закона сохранения механической энергии и определения потенциальной энергии.

Задача 2.36. Чему равна кинетическая энергия капли дождя массой 0.05 г летящая с высоты 14 км?

Решение.

Применим закон сохранения механической энергии

$$E = E_k + E_p\ , \tag{166}$$

$$E_p = E_k\ . \tag{167}$$

Применим определение кинетической энергии

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \tag{168}$$

и потенциальной энергии

$$E_p = mgh\ , \tag{169}$$

$$mgh = \frac{mv^2}{2}\ . \tag{170}$$

Подсчитаем численное значение потенциальной энергии $E_p = 0.00005 \cdot 14000 \cdot 10 = 7$ Дж.

Ответ: $E_p = 7$ Дж.

Задача 2.37. На какой высоте кинетическая энергия брошенного вверх мяча будет равна потенциальной энергии? Начальная скорость равна 6 м/с.

Решение.

Применим закон сохранения механической энергии

$$E = E_k + E_p\ , \tag{171}$$

$$E_p = E_k\ . \tag{172}$$

Применим определение кинетической энергии

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \tag{173}$$

и потенциальной энергии

$$E_p = mgh\ , \tag{174}$$

$$mgh = \frac{mv^2}{2}\ . \tag{175}$$

Применим закон сохранения энергии для мяча

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh + \frac{mv^2}{2}\ . \tag{176}$$

Выражаем искомую величину

$$h = \frac{v_0^2}{4g}\ . \tag{177}$$

Подсчитываем численное значение $h = \frac{6^2}{40} = 0.9$ м.

Ответ: $h = 0.9$ м.

Задача 2.38. Под каким углом к горизонту был выпущен снаряд из пушки массой 2 кг, если его кинетическая энергия в высшей точке равна 445 Дж, а начальная скорость 30 м/с.

Решение.

На рис. 12 показан процесс полёта снаряда, выпущенного из пушки.

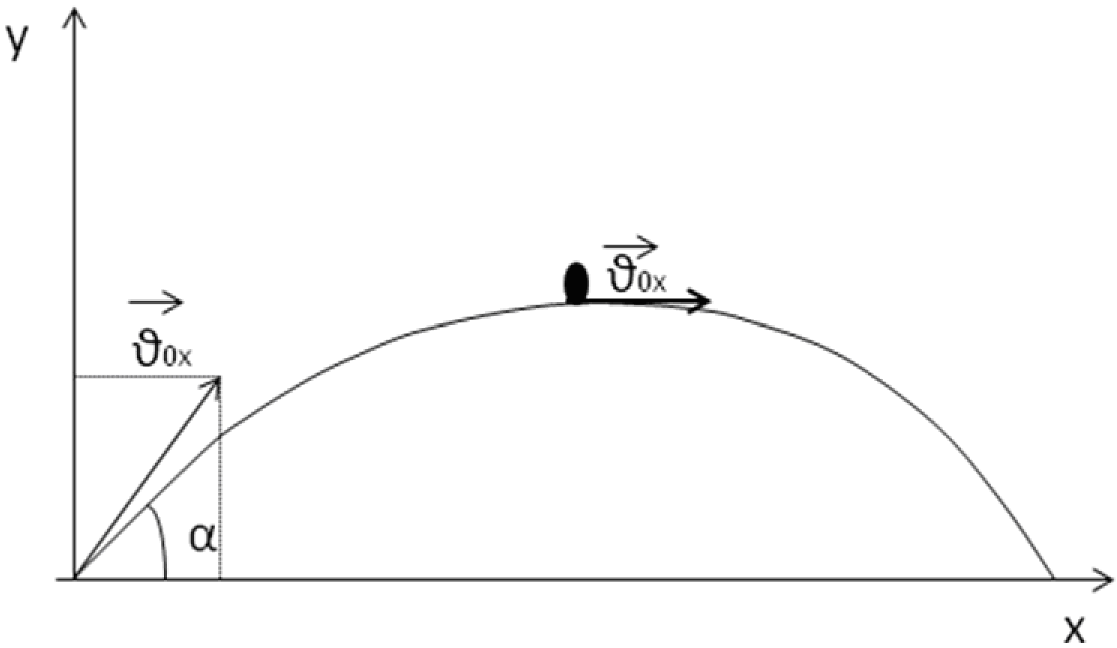

Рис. 12. Траектория полёта снаряда, выпущенного из пушки.

Проекция скорости на ось x

$$v_{0x} = v_0 \cos\alpha \ . \tag{178}$$

В верхней точке траектории вертикальная составляющая скорости равна 0. Применим определение кинетической энергии

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \tag{179}$$

для снаряда

$$E_k = \frac{mv_x^2}{2} = \frac{m}{2} \cdot v_0^2 \cdot cos^2 a \ , \tag{180}$$

$$\cos\alpha = \sqrt{\frac{2E_k}{mv_0^2}} \ . \tag{181}$$

Подсчитываем численное значение $\alpha = \sqrt{\frac{2 \cdot 450}{2 \cdot 900}} = 45\ ^\circ$.

Ответ: $\alpha = 45\ ^\circ$.

Задача 2.39. Почему мальчик, скатываясь на ледянке с высокой горки, катится дальше после спуска по прямой с уменьшающейся скоростью?

Решение.

Накопленная им энергия постепенно переходит в тепло из-за трения.

Рассмотренная задача не является расчётной задачей, а является качественной задачей. Задача требует понимания закона сохранения энергии.

Задача 2.40. В аквапарке человек начинает съезжать с горки высотой 15 м. Он скользит вниз до высоты 3 м над землей и вновь поднимается вверх по трубе до высоты 10 м и вылетает из неё. Чему равна скорость человека при вылете? Потерями энергии на трение пренебречь.

Решение.

Применим закон сохранения механической энергии

$$E = E_k + E_p \ . \tag{182}$$

Применим определение кинетической энергии

$$E_k = \frac{m\mathbf{v}^2}{2} \tag{183}$$

и потенциальной энергии

$$E_p = mgh \tag{184}$$

для человека

$$mgh_0 = \frac{mv_1^2}{2} + mgh_1 \tag{185}$$

Скорость человека на высоте 10 м будет равна

$$v_1 = \sqrt{2g\left(h_0 - h_1\right)} \ . \tag{186}$$

Подсчитываем численное значение скорости человека на на высоте 10 м. $v_1 = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 5} = 10\,\text{м/с}$.

Ответ: $v_1 = 10\,\text{м/с}$.

Задача относится к задачам среднего уровня сложности.

Задача 2.41. Чему равна потенциальная энергия пружины и работа силы упругости, если её растянули на 16 см за счёт силы в 48 Н.

Решение:

По закону Гука найдем коэффициент упругости $k = \frac{F}{\Delta x} = \frac{48}{0.16} = 300\,\text{Н/м}$.

Потенциальная энергия упруго деформированного тела

$$E_p = \frac{kx^2}{2} \ . \tag{187}$$

Подсчитываем значения потенциальной энергии $E_p = \frac{300 \cdot 0.16^2}{2} = 3.84\,\text{Дж}$.

Работа силы упругости $A_y = E_p = 3.84\,\text{Дж}$.

Ответ: $A_y = E_p = 3.84\,\text{Дж}$.

Задача 2.42. Два шара массами 1.5 кг и 1 кг движутся навстречу друг другу со скоростями 1.5 м/с и 1.2 м/с соответственно. Чему равно изменение кинетической энергии системы после неупругого удара?

Решение.

Применим закон сохранения импульса

$$m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 = m_1\mathbf{v}_1' + m_2\mathbf{v}_2' \tag{188}$$

для шаров до взаимодействия и после их взаимодействия

$$m_1v_1 - m_2v_2 = \left(m_1 + m_2\right)v' \ . \tag{189}$$

Совместная скорость

$$v' = \frac{m_1v_1 - m_2v_2}{m_1 + m_2} \ . \tag{190}$$

Энергия до взаимодействия

$$E_1 = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} \ . \tag{191}$$

Подсчитываем численное значение $E_1 = \frac{1.5 \cdot 2.25}{2} + \frac{1 \cdot 1.44}{2} = 2.4$ Дж. Энергия после взаимодействия

$$E_2 = \frac{m_1 + m_2}{2} v'^2 = \frac{m_1 + m_2}{2} \left(\frac{m_1 v_1 - m_2 v_2}{m_1 + m_2} \right)^2 \ . \tag{192}$$

Подсчитываем численное значение $E_2 = \frac{(1.5 \cdot 1.5 - 1.2)^2}{2 \cdot 2.5} = 0.2$ Дж.

Изменение кинетической энергии $\Delta E = E_2 - E_1 = 0.2 - 2.4 = -2.2$ Дж.

Ответ: $\Delta E = -2.2$ Дж.

Задача 2.43. Два куска железа летят с одинаковой скоростью над поверхностью Земли, но имеют разную кинетическую энергию. За счёт чего энергия неодинакова?

Решение.

Кинетическая энергия прямо пропорциональна массе тела. Согласно определению кинетической энергии

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \ . \tag{193}$$

Поэтому если куски железа летят с одинаковой скоростью, но обладают разной массой, то они будут иметь разную кинетическую энергию.

Ответ: Два куска железа имеют разную кинетическую энергию при одинаковой скорости за счёт различной массы.

Задача 2.44. Поезд массой 100 тонн, имеющий скорость 1 м/с сталкивается с покоящимся вагоном массой 50 тонн, после удара они стали двигаться вместе. Определите скорость движения после столкновения.

Решение.

Согласно закону сохранения импульса

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2)\, v' \ . \tag{194}$$

Отсюда находим

$$v' = \frac{m_1 v_1}{(m_1 + m_2)} \ . \tag{195}$$

Подсчитываем численное значение $v' = 0.67$ м/с.

Задача 2.45. Лучник выпускает стрелу из лука массой 350 гран, скорость стрелы составляет 85 м/с. Чему равен импульс стрелы, если 1 гран$\approx$ 15.4 г.

Решение.

Находим импульс стрелы $p = mv$ и подсчитываем численное значение $p = 350 \cdot 85 \cdot 15.4 \cdot 10^{-3}$ кг·м/с= 458.15 кг·м/с.

Ответ: $p = 458.15$ кг·м/с.

Задача 2.46. Летящее ядро массой 60 кг ударяется в бетонную стену массой 2200 кг и застревает в нём. Найдите скорость стены, если скорость ядра 400 м/с.

Решение.

Запишем закон сохранения импульса

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2)\, v' \ . \tag{196}$$

Отсюда находим

$$v' = \frac{m_1 v_1}{(m_1 + m_2)} \ . \tag{197}$$

Подсчитываем численное значение $v' = \frac{60 \cdot 400}{2200 + 60} = 10.6$ м/с.

Ответ: $v' = 10.6$ м/с.

Задача 2.47. В полувагон массой 20 т, катящийся со скоростью 0.3 м/с, насыпали сверху 150 кг гравия. На сколько при этом изменилась скорость полувагона?

Решение.

Запишем закон сохранения импульса

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2)\, v' \, . \tag{198}$$

Отсюда находим

$$v' = \frac{m_1 v_1}{(m_1 + m_2)} \, . \tag{199}$$

Подсчитываем численное значение $v' = \frac{20000 \cdot 0.3}{20150} = 0.29$ м/с. Вычислим изменение скорости полувагона $\Delta v = v - v' = 0.3 - 0.29$ м/с$= 0.01$ м/с.

Ответ: $\Delta v = 0.01$ м/с.

Задача 2.48. Два абсолютно неупругих тела двигались со скоростью 3 м/с навстречу друг другу и имели массы 3 кг и 9 кг. Какова будет их скорость после удара? В каком направлении будут двигаться тела?

Решение.

Запишем закон сохранения импульса

$$m_1 v_1 - m_2 v_2 = (m_1 + m_2)\, v' \, . \tag{200}$$

Отсюда находим

$$v' = \frac{m_1 v_1 - m_2 v_2}{(m_1 + m_2)} \, . \tag{201}$$

Подсчитываем численное значение $v' = \frac{3 \cdot 3 - 9 \cdot 3}{12} = -1.5$ м/с.

Ответ: $v' = -1.5$ м/с.

Задача 2.49. Парашютист массой $m = 60$ кг падает с высоты 1.8 км. Его парашют раскроется 480 м над землей. Чему будет равна кинетическая энергия перед раскрытием парашюта?

Решение.

Согласно закону сохранения энергии

$$mgh_1 = \frac{mv^2}{2} + mgh_2 \, . \tag{202}$$

Отсюда находим кинетическую энергию перед раскрытием парашюта

$$\frac{mv^2}{2} = mgh_1 - mgh_2 = mg\,(h_1 - h_2) \, . \tag{203}$$

Посчитываем численное значение кинетической энергии

$E_k = 60 \cdot 9.8\,(1800 - 480) = 776160$ Дж.

Ответ: $E_k = 776160$ Дж.

Задача 2.50. На соревнованиях лыжник, скатываясь с горы высотой 10 м, у её подножья имел скорость 60 км/ч. Какова была его скорость до спуска с горы?

Решение.

Согласно закону сохранения энергии

$$\frac{mv_0^2}{2} + mgh = \frac{mv^2}{2} \, . \tag{204}$$

Отсюда находим лыжника до спуска с горы

$$v_0 = \sqrt{\frac{2}{m}\left(\frac{mv^2}{2} - mgh\right)} = \sqrt{v^2 - 2gh} \; . \tag{205}$$

Подсчитываем численное значение скорости лыжника до спуска $v_0 = 9.04\,\text{м/с}$.

Ответ: $v_0 = 9.04\,\text{м/с}$.

Задача 2.51. Кирпич массой 2.7 кг падает с крыши дома высотой 6 м. Найдите потенциальную и кинетическую энергию кирпича на расстоянии 2 м от земли.

Решение.

Кинетическую энергию находим по формуле

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \; . \tag{206}$$

Потенциальную энергию находим по формуле

$$E_p = mgh \; . \tag{207}$$

Из закона сохранения энергии получаем

$$mgh_1 = mgh_{12} + \frac{mv^2}{2} \; . \tag{208}$$

Следовательно, искомая кинетическая энергия кирпича

$$E_{k2} = E_{p1} - E_{p2} = mg\left(h_1 - h_2\right) \; . \tag{209}$$

Подсчитываем численное значение кинетической энергии

$E_{k2} = 2.7 \cdot 10 \cdot 4 = 108\,\text{Дж}$.

Подсчитываем численное значение потенциальной энергии

$E_{p2} = mgh = 2.7 \cdot 2 \cdot 10 = 54\,\text{Дж}$.

Ответ: $E_{k2} = 108\,\text{Дж}$, $E_{p2} = 54\,\text{Дж}$.

Задача 2.52. Две взаимно перпендикулярные силы действуют на тело 50 Н и 60 Н соответственно и перемещают его на 10 м. Найдите работу каждой силы и равнодействующую этих сил.

Решение.

Поскольку силы взаимно перпендикулярные, то модуль равнодействующей всех сил равен

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \; . \tag{210}$$

Подсчитываем значение модуля равнодействующей силы $F = \sqrt{2500 + 3600} = 78.1\,\text{Н}$.

По определению работы

$$A = FS \; , \tag{211}$$

тогда подсчитываем значения $A_1 = 50 \cdot 10 = 500\,\text{Дж}$, $A_2 = 60 \cdot 10 = 600\,\text{Дж}$.

Ответ: $F \approx 78\,\text{Н}$, $A_1 = 50 \cdot 10 = 500\,\text{Дж}$, $A_2 = 60 \cdot 10 = 600\,\text{Дж}$.

Задача 2.53. Чему равна потенциальная и кинетическая энергия снаряда массой 40 г, выпущенного из пушки со скоростью 25 м/с вверх, через 2 с после начала движения?

Решение.

Кинетическую энергию находим по формуле

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \; . \tag{212}$$

Потенциальную энергию находим по формуле

$$E_p = mgh \;. \tag{213}$$

Используя кинематическое уравнение для скорости $v = v_0 - gt$, получим выражение для кинетической энергии

$$E_k = \frac{m\left(v_0 - gt\right)^2}{2} \;. \tag{214}$$

Подсчитываем численное значение кинетической энергии $E_k = 0.5$ Дж.

Для пройденного снарядом пути имеем выражение

$$s = v_0 t - \frac{gt^2}{2} \;. \tag{215}$$

$$E_p = mg\left(v_0 t - \frac{gt^2}{2}\right) \;. \tag{216}$$

Подсчитываем численное значение потенциальной энергии $E_p = 12$ Дж.

Ответ: $E_k = 0.5$ Дж, $E_p = 12$ Дж.

Задача 2.54. Масса человека, находившегося на плоту 80 кг. Длина и масса плота 4 м и 200 кг соответственно. Человек переходит с одного конца на другой. На какое расстояние плот переместится относительно воды?

Решение.

Плот будет двигаться в направлении, противоположном переходу человека. Пусть за время t лодка сместилась на $\Delta\ell$, а человек за это время сместился на $(\ell - \Delta\ell)$ относительно воды.

Скорость плота

$$v_p = \frac{\Delta\ell}{t} \;, \tag{217}$$

а скорость человека относительно воды

$$v_h = \frac{\ell - \Delta\ell}{t} \;. \tag{218}$$

По закону сохранения импульса

$$mv_p - mv_h = 0 \;. \tag{219}$$

После подстановки уравнений (217) и (218) в (219), получим

$$m\frac{\Delta\ell}{t} - m\frac{\ell - \Delta\ell}{t} = 0 \;. \tag{220}$$

Выразим из уравнения (220) величину $\Delta\ell$, тогда получим

$$\Delta\ell = \frac{m\ell}{m_1 + m_2} \;. \tag{221}$$

Подсчитываем численное значение $\Delta\ell = 1.14$ м.

Ответ: $\Delta\ell = 1.14$ м.

Задача 2.55. Каким ускорением должен обладать спортсмен, чтобы подпрыгнуть с места на высоту 3 м и в длину на 2.5 м.

Решение.

Работа, совершаемая во время прыжка, равна

$$A = Fs = mas\ . \tag{222}$$

Потенциальная энергия, которой обладает тело, равна

$$E_p = mgh\ . \tag{223}$$

Работа при вставании равна

$$A_1 = mgs\ . \tag{224}$$

Тогда потенциальная энергия равна

$$E_p = A - A_1\ . \tag{225}$$

Следовательно,

$$mas - mgs = mgh\ . \tag{226}$$

$$s\,(a - g) = gh\ . \tag{227}$$

$$a - g = \frac{gh}{s}\ . \tag{228}$$

$$a = g + \frac{gh}{s}\ . \tag{229}$$

Подсчитываем численное значение $a = \frac{10\cdot 3}{2.5} + 9.8 = 21.8\,\text{м}/\text{с}^2$.

Ответ: $a = 21.8\,\text{м}/\text{с}^2$.

Заключение

Была рассмотрена система задач на использование законов сохранения для описания механических явлений, выявлена значимость законов сохранения при изучении физики. В работе использовались такие методы исследования, как изучение научно-методической литературы, анализ школьных учебников, беседа с учителями и преподавателями с целью выявления типичных ошибок допускаемых учащимися при решении задач по теме, связанной с изучением законов сохранения в механике в старшей школе. В результате проделанной работы был проведён научно-методический анализ темы по законам сохранения импульса и полной механической энергии.

Гипотеза исследования, заключающаяся в том, что если составить систему задач на законы сохранения в механике, то образовательный процесс по физике с использованием системы задач разного уровня сложности на законы сохранения в механике станет более ориентированным на формирование у учащихся умения использовать фундаментальные законы сохранения в механике, и будет более результативным при организации систематического контроля знаний по законам сохранения в механике в старших классах лицея, подтверждена полностью.

Список использованных источников

1. Understanding conservation laws in mechanics: Students' conceptual change in learning about collisions / N. Grimellini-Tomasini [et al.] // Science Education. — 1993. — apr. — Vol. 77, no. 2. — P. 169–189. — URL: https://doi.org/10.1002/sce.3730770206.

2. French A. P., Ebison M. G. Collisions and conservation laws // Introduction to classical mechanics. — Springer Netherlands, 1986. — P. 95–123. — URL: https://doi.org/10.1007/978-94-009-4119-9_5.

3. Godunov S. K., Romenskii E. I. Elements of continuum mechanics and conservation laws. — Springer US, 2003. — URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4757-5117-8.

4. Aharonov Y., Popescu S., Rohrlich D. On conservation laws in quantum mechanics // Proceedings of the National Academy of Sciences. — 2020. — dec. — Vol. 118, no. 1. — URL: https://doi.org/10.1073/pnas.1921529118.

5. Denman H. H. Invariance and conservation laws in classical mechanics // Journal of Mathematical Physics. — 1965. — nov. — Vol. 6, no. 11. — P. 1611–1616. — URL: https://doi.org/10.1063/1.1704701.

6. Boyer T. H. Illustrating some implications of the conservation laws in relativistic mechanics // American Journal of Physics. — 2009. — jun. — Vol. 77, no. 6. — P. 562–569. — URL: https://doi.org/10.1119/1.3085744.

7. Hutchin R. A. The unknown conservation laws // Journal of Modern Physics. — 2015. — Vol. 06, no. 06. — P. 729–732. — URL: https://doi.org/10.4236/jmp.2015.66078.

8. Dam H. Van, Wigner E. P. Instantaneous and asymptotic conservation laws for classical relativistic mechanics of interacting point particles // Physical Review. — 1966. — feb. — Vol. 142, no. 4. — P. 838–843. — URL: https://doi.org/10.1103/physrev.142.838.

9. Schuch D. Nonlinear quantum mechanics, complex classical mechanics and conservation laws for closed and open systems // Journal of Physics: Conference Series. — 2012. — may. — Vol. 361. — P. 012020. — URL: https://doi.org/10.1088/1742-6596/361/1/012020.

10. Davies B. Higher conservation laws for the quantum non-linear Schrödinger equation // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. — 1990. — aug. — Vol. 167, no. 2. — P. 433–456. — URL: https://doi.org/10.1016/0378-4371(90)90126-d.

11. Adimurthi, Ghoshal Sh. S., Gowda G. D. Veerappa. Exact controllability of scalar conservation laws with strict convex flux // Mathematical Control &amp Related Fields. — 2014. — Vol. 4, no. 4. — P. 401–449. — URL: https://doi.org/10.3934/mcrf.2014.4.401.

12. de Olano P. R. Intimate connections: symmetries and conservation laws in quantum versus classical mechanics // Philosophy of Science. — 2017. — dec. — Vol. 84, no. 5. — P. 1275–1288. — URL: https://doi.org/10.1086/694108.

13. Rastogi V., Mukherjee A. Conservation laws for a gauge-variant umbra-Lagrangian in classical mechanics using bond graphs // Simulation. — 2010. — mar. — Vol. 87, no. 4. — P. 301–312. — URL: https://doi.org/10.1177/0037549710361730.

14. Petrova L. I. Duality of conservation laws and their role in the processes of emergence of physical structures and formations // Mathematics for Application. — 2021. — jun. — Vol. 10, no. 1. — P. 55–70. — URL: https://doi.org/10.13164/ma.2021.05.

15. Zhou T., Dong H. A fourth-order entropy condition scheme for systems of hyperbolic conservation laws // Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics. — 2021. — jan. — Vol. 15, no. 1. — P. 1259–1281. — URL: https://doi.org/10.1080/19942060.2021.1955010.

16. Thomas P. D., Lombard C. K. Geometric conservation law and its application to flow computations on moving grids // AIAA Journal. — 1979. — oct. — Vol. 17, no. 10. — P. 1030–1037. — URL: https://doi.org/10.2514/3.61273.

17. Burgos M. E. Contradiction between Conservation Laws and Orthodox Quantum Mechanics // Journal of Modern Physics. — 2010. — Vol. 01, no. 02. — P. 137–142. — URL: https://doi.org/10.4236/jmp.2010.12019.

Сведения об авторах:

Елена Сергеевна Штром — студент магистратуры факультета физико-математического и технологического образования ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: shtrom98@mail.ru

ORCID iD 0000-0002-9648-1501

Web of Science ResearcherID AAZ-9002-2020

Original article
PACS 04.20.Cv

Investigation of the system of tasks on the topic of conservation laws in the tenth grade with an in-depth study of physics

E. S. Shtrom

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted August 15, 2022
Resubmitted August 16, 2022
Published September 5, 2022

Abstract. The results of a pedagogical experiment on approbation of a system of physical tasks on a topic related to the study of conservation laws with elements of multilevel control of knowledge in physics in the tenth grade with an advanced study of physics are presented. Statistical processing of the results of a pedagogical experiment on approbation of a system of physical problems on a topic related to the study of conservation laws in mechanics in the senior classes of the lyceum was carried out.

Keywords: physics, conservation laws, mechanics, pedagogical experiment, statistical processing of results, task, task in physics, class with advanced study of physics

References

1. Understanding conservation laws in mechanics: Students' conceptual change in learning about collisions / N. Grimellini-Tomasini [et al.] // Science Education. — 1993. — apr. — Vol. 77, no. 2. — P. 169–189. — URL: https://doi.org/10.1002/sce.3730770206.

2. French A. P., Ebison M. G. Collisions and conservation laws // Introduction to classical mechanics. — Springer Netherlands, 1986. — P. 95–123. — URL: https://doi.org/10.1007/978-94-009-4119-9_5.

3. Godunov S. K., Romenskii E. I. Elements of continuum mechanics and conservation laws. — Springer US, 2003. — URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4757-5117-8.

4. Aharonov Y., Popescu S., Rohrlich D. On conservation laws in quantum mechanics // Proceedings of the National Academy of Sciences. — 2020. — dec. — Vol. 118, no. 1. — URL: https://doi.org/10.1073/pnas.1921529118.

5. Denman H. H. Invariance and conservation laws in classical mechanics // Journal of Mathematical Physics. — 1965. — nov. — Vol. 6, no. 11. — P. 1611–1616. — URL: https://doi.org/10.1063/1.1704701.

6. Boyer T. H. Illustrating some implications of the conservation laws in relativistic mechanics // American Journal of Physics. — 2009. — jun. — Vol. 77, no. 6. — P. 562–569. — URL: https://doi.org/10.1119/1.3085744.

7. Hutchin R. A. The unknown conservation laws // Journal of Modern Physics. — 2015. — Vol. 06, no. 06. — P. 729–732. — URL: https://doi.org/10.4236/jmp.2015.66078.

8. Dam H. Van, Wigner E. P. Instantaneous and asymptotic conservation laws for classical relativistic mechanics of interacting point particles // Physical Review. — 1966. — feb. — Vol. 142, no. 4. — P. 838–843. — URL: https://doi.org/10.1103/physrev.142.838.

9. Schuch D. Nonlinear quantum mechanics, complex classical mechanics and conservation laws for closed and open systems // Journal of Physics: Conference Series. — 2012. — may. — Vol. 361. — P. 012020. — URL: https://doi.org/10.1088/1742-6596/361/1/012020.

10. Davies B. Higher conservation laws for the quantum non-linear Schrödinger equation // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. — 1990. — aug. — Vol. 167, no. 2. — P. 433–456. — URL: https://doi.org/10.1016/0378-4371(90)90126-d.

11. Adimurthi, Ghoshal Sh. S., Gowda G. D. Veerappa. Exact controllability of scalar conservation laws with strict convex flux // Mathematical Control &amp Related Fields. — 2014. — Vol. 4, no. 4. — P. 401–449. — URL: https://doi.org/10.3934/mcrf.2014.4.401.

12. de Olano P. R. Intimate connections: symmetries and conservation laws in quantum versus classical mechanics // Philosophy of Science. — 2017. — dec. — Vol. 84, no. 5. — P. 1275–1288. — URL: https://doi.org/10.1086/694108.

13. Rastogi V., Mukherjee A. Conservation laws for a gauge-variant umbra-Lagrangian in classical mechanics using bond graphs // Simulation. — 2010. — mar. — Vol. 87, no. 4. — P. 301–312. — URL: https://doi.org/10.1177/0037549710361730.

14. Petrova L. I. Duality of conservation laws and their role in the processes of emergence of physical structures and formations // Mathematics for Application. — 2021. — jun. — Vol. 10, no. 1. — P. 55–70. — URL: https://doi.org/10.13164/ma.2021.05.

15. Zhou T., Dong H. A fourth-order entropy condition scheme for systems of hyperbolic conservation laws // Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics. — 2021. — jan. — Vol. 15, no. 1. — P. 1259–1281. — URL: https://doi.org/10.1080/19942060.2021.1955010.

16. Thomas P. D., Lombard C. K. Geometric conservation law and its application to flow computations on moving grids // AIAA Journal. — 1979. — oct. — Vol. 17, no. 10. — P. 1030–1037. — URL: https://doi.org/10.2514/3.61273.

17. Burgos M. E. Contradiction between Conservation Laws and Orthodox Quantum Mechanics // Journal of Modern Physics. — 2010. — Vol. 01, no. 02. — P. 137–142. — URL: https://doi.org/10.4236/jmp.2010.12019.

Information about authors:

Elena Sergeevna Shtrom — Master's student of the Faculty of Physics, Mathematics and Technological Education of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ulyanovsk State Pedagogical University", Ulyanovsk, Russia.

E-mail: shtrom98@mail.ru

ORCID iD 0000-0002-9648-1501

Web of Science ResearcherID AAZ-9002-2020