

## 11 класс, Экспресс-подготовка к ЕГЭ по физике

### Теоретический обзор к занятию 11.

**Темы: задачи по статике и законам сохранения: решения с обоснованием применимости используемых физических законов.**

Во многих испытаниях по физике в последние годы существуют задачи, в которых выдвигаются требования указания используемых физических законов и обоснования их применимости при решении этих задач. Например, к таким заданиям относится задание 30 в ЕГЭ-2023 по физике.

Действительно, при изучении физики необходимо ясно понимать, что ни одна формула и ни один закон в ней не являются «универсальными» - ведь у каждого закона или формулы есть конкретная область применимости, за пределами которой они не работают. Следовательно, на самом деле существенной частью решения любой задачи является указание на то, что от или иной закон можно использовать в этом решении. А в некоторых задачах установление того, какие законы можно использовать, является наиболее важной частью решения.

Кроме того, навык проведения обоснования применимости того или иного закона нужно «нарабатывать», так как в большинстве школ на такое обоснование начинают обращать внимание только в процессе подготовки к ЕГЭ, то есть во втором полугодии 11 класса. А этого времени может не хватить, если не вести подобные тренировки достаточно интенсивно.

В качестве примера разберем часто используемые в подобных заданиях задачи по темам «СТАТИКА» и «ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ».

В первую очередь нужно обратить внимание на то, что большинство законов и формул «ньютоновской» механики выводится из ее аксиом – законов Ньютона. Важно понимать определяющее значение I закона Ньютона, утверждающего существование Инерциальных Систем Отсчета (ИСО) и указывающего на способ их «узнавания». Мы узнаем, что СО инерциальна, если тела, не взаимодействующие с другими телами (как и тела, для которых действие других тел полностью скомпенсировано), покоятся или движутся равномерно и прямолинейно относительно исследуемой СО. Остальные законы Ньютона (II и III), а также все выводимые из них утверждения и формулы справедливы без дополнительных модификаций только в ИСО! Поэтому обоснование использования практически любого закона в решении задачи по механике требует ссылки на I закон, то есть на инерциальность используемой СО.

Вспомним основные физические законы, используемые в решении задач по выбранным нами темам.

#### **СТАТИКА (см. материалы занятия 2):**

Здесь нам нужно использовать необходимые условия равновесия тела, следующие из I и II законов Ньютона:

- 1) Если центр масс тела покоится в ИСО, то векторная сумма приложенных к нему внешних сил равна нулю:  $\sum \vec{F}_{\text{внеш}} = 0$ .
- 2) Если вращение тела отсутствует в ИСО, то сумма моментов приложенных к нему внешних сил равна нулю:  $\sum M_{\text{внеш}} = 0$ .

Кроме того, в этой теме необходимо знать об особенном поведении сил реакции сил (натяжения нитей, сил нормальной реакции поверхностей, сил трения). Ведь именно эти силы обычно обеспечивают выполнение условий равновесия, «подстраивая» для все свои характеристики (величину, направление и точку приложения) под характеристики сил, «пытающихся» нарушить равновесие. Поэтому в процессе решения задач статика мы должны выяснять, в каком режиме работают силы реакции: являются нити натянутыми

или провисают, прижаты тела к поверхностям или отрываются от них, являются силы трения силами трения покоя или силами трения скольжения.

### **ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ (см. материалы занятия 3):**

В школьных задачах используются два закона сохранения: закон сохранения полной механической энергии и закон сохранения импульса. Важно знать, что для обоснования применимости законов сохранения мы должны знать законы изменения соответствующих величин. Во-первых, ясно, что закон сохранения физической величины «работает» в случае отсутствия факторов, приводящих к ее изменению.

Например, изменение полного импульса системы тел связано с действие внешних (по отношению к этой системе сил:  $\Delta \vec{P} = (\sum \vec{F}_{ex}) \cdot \Delta t$ . Таким образом, полный импульс сохраняется, если результирующая всех внешних сил равна нулю (такие механические системы называют *замкнутыми*): **Полный импульс замкнутой механической системы остается неизменным в процессе движения:**  $\vec{p}|_{t=t_2} = \vec{p}|_{t=t_1}$ . Однако нередко мы сталкиваемся с ситуациями, когда сумма внешних сил отлична от нуля, но очень мала по модулю по сравнению с характерной величиной внутренних сил, изменяющих импульсы отдельных сил. В этом случае закон сохранения импульса (который, строго говоря, не выполняется) можно использовать для приближенного решения задачи, причем точность приближения вполне может оказаться достаточно высокой.

**Изменение полной механической энергии замкнутой системы равно работе непотенциальных (обычно диссипативных) сил:**

$$E_2 - E_1 \equiv (E_K + U)_2 - (E_K + U)_1 = A_{12}^D.$$

Значит,

**Если в механической системе все действующие силы являются потенциальными, и суммарная работа внешних сил равна нулю, то полная механическая энергия этой системы сохраняется в процессе движения:**  $(E_K + U)_1 = (E_K + U)_2$ .

Отметим, что энергия должна вычисляться в ИСО.

Рассмотрим в качестве примера задачу 30 из официального демонстрационного варианта ЕГЭ-2022:

Снаряд массой 4 кг, летящий со скоростью 400 м/с, разрывается на две равные части, одна из которых летит в направлении движения снаряда, а другая – в противоположную сторону. В момент разрыва суммарная кинетическая энергия осколков увеличивается на 0,5 МДж. Найдите скорость осколка, летящего по направлению движения снаряда. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Какие законы Вы использовали для описания разрыва снаряда? Обоснуйте их применимость к данному случаю.

В «образцовом» решении обоснование написано отдельно от самого решения: сначала мы видим

#### **Обоснование**

Введем инерциальную систему отсчёта, связанную с Землёй, и направим ось  $Ox$  системы координат в направлении начальной скорости движения снаряда. При описании движения снаряда и осколков используем модель материальной точки.

Для описания разрыва снаряда использован закон сохранения импульса системы тел. Он выполняется в инерциальной системе отсчёта, если сумма внешних сил, приложенных к телам системы, равна нулю. В данном случае из-за отсутствия сопротивления воздуха внешней силой является только сила тяжести  $m\bar{g}$ , которая не равна нулю. Но этим можно пренебречь, считая время разрыва снаряда малым. За малое время разрыва импульс каждого из осколков меняется на конечную величину за счёт больших внутренних сил, разрывающих снаряд при взрыве. По сравнению с этими большими силами конечная сила тяжести пренебрежимо мала.

Так как время разрыва снаряда считаем малым, то можно пренебречь и изменением потенциальной энергии снаряда и его осколков в поле тяжести в процессе разрыва.

и только потом – само решение:

**Решение**

1. Запишем для снаряда закон сохранения импульса в проекциях на ось  $Ox$  и закон сохранения энергии для снаряда:

$$2m \cdot v_0 = mv_1 - mv_2; \quad (1)$$

$$2m \cdot \frac{v_0^2}{2} + \Delta E = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2}, \quad (2)$$

где

$2m$  – масса снаряда до взрыва;

$v_0$  – модуль скорости снаряда до взрыва;

$v_1$  – модуль скорости осколка, летящего вперёд;

$v_2$  – модуль скорости осколка, летящего назад.

2. Выразим  $v_2$  из первого уравнения:  $v_2 = v_1 - 2v_0$  – и подставим во второе уравнение. Получим:  $v_1^2 - 2v_0v_1 + v_0^2 - \frac{\Delta E}{m} = 0$ .

3. Из двух корней этого квадратного уравнения  $(v_1)_{1,2} = v_0 \pm \sqrt{\frac{\Delta E}{m}}$  выбираем больший, что соответствует условию задачи:  $v_1 > v_0$ .

4. Отсюда следует:  $v_1 = v_0 + \sqrt{\frac{\Delta E}{m}} = 400 + \sqrt{\frac{0,5 \cdot 10^6}{2}} = 900$  м/с.

Ответ:  $v_1 = 900$  м/с

Следует также обратить внимание на форму представления решения, которое разбито на пункты в логической последовательности.

Показательны также критерии оценивания, предлагаемые ФИПИ:

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<b>Критерий 1</b>	
Верно обоснована возможность использования законов (закономерностей). В данном случае: <i>выбор ИСО, материальная точка, условия применения закона сохранения импульса и закона сохранения энергии.</i>	1
В обосновании возможности использования законов (закономерностей) допущена ошибка. ИЛИ Обоснование отсутствует	0

<b>Критерий 2</b>	
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>закон сохранения импульса, закон сохранения энергии</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</p> <p>III) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения физической величины</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования, но имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <b>одному</b> из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p>	1

Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
<i>Максимальный балл</i>	4

Как видно, в критериях предложен четкий перечень используемых законов и понятий. Ясно, что отсутствие прямого указания на любой из законов, упомянутых в этом перечне, приведет к снижению оценки.