

ДЕНЬ УЧИТЕЛЕЙ ФИЗИКИ ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ

24 января 2023 года

**«Анализ и профилактика типовых ошибок обучающихся
при выполнении заданий ЕГЭ по физике»**

ФИЛИППОВ ВЛАДИМИР ВЛАДИМИРОВИЧ,
профессор кафедры математики и физики

Липецкого государственного педагогического университета

имени П.П. Семенова-Тян-Шанского,

доктор физико-математических наук,

председатель предметной комиссии ЕГЭ по физике

Для оценивания уровня знаний по физике воспользуемся региональными отчетами, представленными в информационной базе Центра мониторинга и оценки качества образования Липецкой области (табл. 1).

Таблица 1

**Динамика результатов ЕГЭ по физике за 2017 – 2022 годы
(в Липецкой области)**

Результат	Данные ЕГЭ по физике					
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Ниже min балла, %	3,51	3,44	2,43	2,73	1,81	2,27
Средний тестовый балл	55,47	53,77	55,98	55,58	58,14	56,64
От 81 до 99 баллов, %	3,16	3,22	7,87	7,30	10,57	8,28
100 баллов, чел.	0	0	3	2	6	2

Механика является одним из самых сложных разделов физики, и его изучение требует пристального внимания, т.к. основные подходы в решении задач по механике используются и в других разделах физики. Задания по механике представлены 8 заданиями первой части и 2 заданиями второй части. Из них 7 заданий базового, 2 повышенного и 1 высокого уровней сложности.

Средний процент выполнения заданий по механике (в Липецкой области) представлен в таблице 2. Как показывают статистические данные, доля выполнения заданий базовой части составляет в среднем 70%. Вместе с тем, задания второй части КИМ, требующие применения знаний в измененной и/или нестандартной ситуации имеют крайне низкий процент выполнения. Так, например, с заданиями высокого уровня сложности в 2021 году справились только 14,5 % сдающих экзамен обучающихся.

Средний процент выполнения заданий по механике

№ задания	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	52,75	65,55	78,5	47,44	83,28	80,56
2	45,41	92,44	95,0	96,79	71,84	80,74
3	83,97	80,67	96,4	92,95	71,12	92,08
4	87,00	72,27	48,4	91,03	66,88	74,71
5	71,33	46,22	91,3	76,28	64,92	63,14
6	51,91	22,69	87,4	58,01	53,88	72,32
7	32,49	26,89	66,7	61,22	72,56	66,29
24	-	47,90	-	-	-	-
25	47,78	-	58,7	50,0	-	-
28		1,68	-	-	23,44	41,67
29	0,92	-	16,6	27,56	8,69	14,46

Как видно из таблицы наибольшие трудности при выполнении экзамена вызвали задания из раздела «Кинематика», где требовалось объяснение явлений; интерпретация результатов опытов, представленных в виде таблицы, задания на множественный выбор; «Динамика», при использовании закона всемирного тяготения, центростремительного ускорения для анализа изменения физических величин в процессах; использование закона сохранения энергии в механике при установлении соответствия между графиками и физическими величинами.

Остановимся первоначально на примерах заданий первой части, которые представляли на экзамене наибольшие затруднения. Приведем возможный образец рассуждений при решении подобных задач.

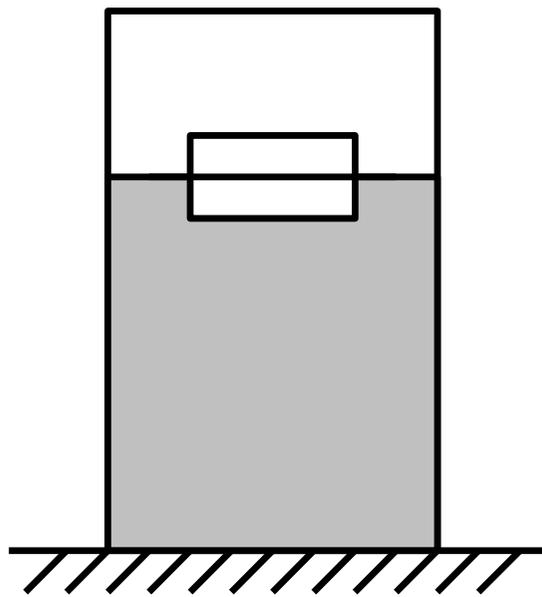


Рис. 1

Пример задания 6 . Два одинаковых бруска толщиной 5 см и массой 1 кг каждый, связанные друг с другом, плавают в воде так, что уровень воды приходится на границу между ними (рисунок 1). Из приведённого ниже списка выберите два правильных утверждения.

1) Плотность материала, из которого изготовлены бруски, равна 500 кг/м^3 .

2) Если на верхний брусок положить груз массой 0,7 кг, то бруски утонут.

3) Если воду заменить на керосин, то глубина погружения брусков уменьшится.

4) Сила Архимеда, действующая на бруски, равна 20 Н.

5) Если в стопку добавить ещё два таких же бруска, то глубина её погружения увеличится на 10 см.

Ответ:

Анализ и решение задания.

1. На бруски действуют две силы – сила тяжести и сила Архимеда (рисунок 2), эти силы уравновешивают друг друга: $F_A = 2mg$. Распишем силу Архимеда и приравняем к силе тяжести: $F_A = \rho_{жс}gV_T = 2mg$, отсюда найдем объем: $V_T = \frac{2m}{\rho_{жс}} = \frac{2 \cdot 1000 \text{ кг}}{1000 \text{ кг/м}^3} = 0,002 \text{ м}^3$. Рассчитаем плотность тела:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1 \text{ кг}}{0,002 \text{ м}^3} = 500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}. \text{ Первое утверждение справедливо.}$$

2. Если на верхний брусок положить груз 0,7 кг, то сила тяжести будет равна $F_T = 2,7 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 27 \text{ Н}$. Максимальная сила Архимеда будет равна $F_A = \rho_{жс}g \cdot 2V_T = 2 \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,002 \text{ м}^3 = 40 \text{ Н}$. $F_A > mg$, следовательно, бруски не утонут. Второе утверждение ложно.

3. Если воду заменить на керосин, то сила Архимеда уменьшится, т.к. плотность

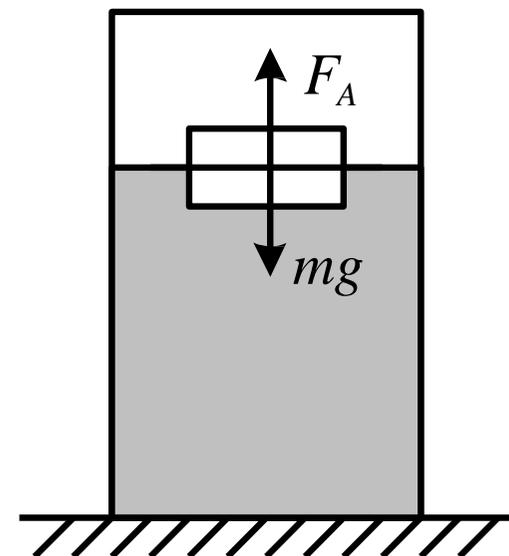


Рис. 2

керосина $800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, бруски больше будут погружаться в воду. Третье утверждение ложно.

4. Сила Архимеда, действующая на бруски, равна 20 Н. Проверим это утверждение:

$$F_A = \rho_{\text{ж}} g \cdot V_T = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,002 \text{ м}^3 = 20 \text{ Н}. \text{ Верно.}$$

5. Если в стопку добавить ещё два таких же бруска, то в воду полностью погрузятся два бруска, два других бруска будут над водой, т.к. плотность брусков в два раза меньше, чем у воды, следовательно, глубина погружения составит 10 см, она увеличится с первоначальным значением на 5 см. Пятое утверждение ложно. Ответ 14.

В данном задании используется знание закона Архимеда, анализ равновесия тел, погруженных в жидкость. Очевидно, что пройденная в 7 классе тема «Давление твердых тел, жидкостей и газов», требует детальной проработки при повторении тем раздела «Механика» в 10 и 11 классах.

Пример задания 6 (2019). Искусственный спутник Земли перешёл с одной круговой орбиты на другую. На новой орбите центростремительное ускорение спутника больше, чем на прежней. Как изменились при этом период обращения спутника и его скорость движения по орбите вокруг Земли?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

1) увеличилась

2) уменьшилась

3) не изменилась

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины.

Цифры в ответе могут повторяться.

Период обращения спутника вокруг Земли	Скорость движения спутника по орбите

Анализ и решение задания.

$$F = G \frac{mM}{R^2},$$

В задаче на спутник действует только сила тяготения Земли где M - масса земли; m - масса спутника; R - радиус орбиты. По второму закону

Ньютона, имеем: $F = ma = G \frac{mM}{R^2}$, где a – центростремительное ускорение. Видно,

что при увеличении ускорения, радиус орбиты будет уменьшаться.

Выясним изменение скорости движения спутника в зависимости от радиуса орбиты. Подставим вместо ускорения $a = \frac{v^2}{R}$, получим: $\frac{v^2}{R} = G \frac{M}{R^2} \Rightarrow v^2 = G \frac{M}{R}$. То есть, при уменьшении R , скорость спутника увеличивается.

Если радиус орбиты уменьшается, а центростремительное ускорение возрастает, то скорость спутника увеличивается. Таким образом, спутник проходит меньшее расстояние с большей скоростью и его период уменьшается.

Ответ: 12.

Далее приведем типичные ошибки в некоторых заданиях второй части, в которых учащиеся показали низкий процент выполнения (см. таблицу 2).

Пример задания 29 (2018 г.). В маленький шар массой $M = 250$ г, висящий на нити длиной $\ell = 50$ см, попадает и застревает в нем горизонтально летящая пуля массой $m = 10$ г. При какой минимальной скорости пули шар после этого совершит полный оборот в вертикальной плоскости? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Укажем типичные ошибки, на основании региональных отчетов [4]:

- не указана силы натяжения нити;
- ошибки при работе с векторами и их проекциями;
- ошибки в записи законов сохранения импульса и энергии.

Пример задания 29 (2019 г.). Железный шар массой 2.5 кг подвешен на нити и полностью погружён в воду (рисунок 3). Нить образует с вертикалью угол $\alpha = 30^\circ$. Определите силу, с которой шар действует на нить. Трением шара о стенку пренебречь. Сделайте схематический рисунок с указанием сил, действующих на шар.

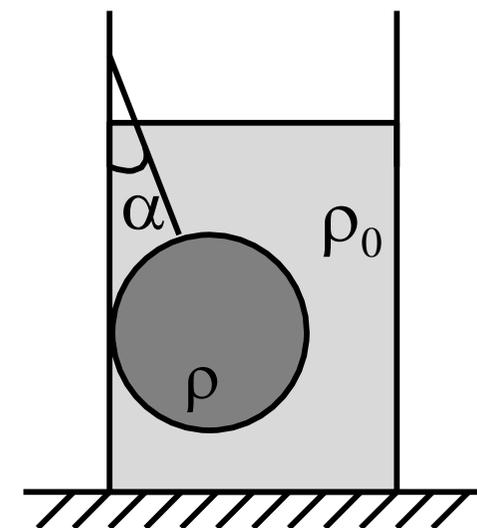


Рис. 3

Типичные сложности и ошибки:

- неверно указана точка приложения силы натяжения нити;
- не упоминается третий закон Ньютона;
- не указывается сила реакции опоры.

Пример задания 29 (2020 г.). Пробирка массой $M = 40$ г, содержащая пары эфира, закрыта пробкой массой $m = 10$ г и подвешена в горизонтальном положении к штанге на лёгких параллельных нерастяжимых нитях одинаковой длины (рисунок 4). При нагревании пробирки пробка вылетает из него со скоростью $v = 4$ м/с, а нити, если они достаточно коротки, сразу после этого одновременно обрываются. Найдите максимальную длину нитей L в этом случае, если каждая нить выдерживает нагрузку не более $T_0 = 0,3$ Н. Массу паров эфира считать пренебрежимо малой величиной.

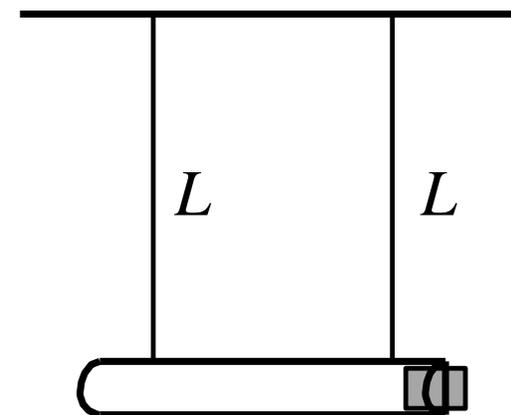


Рис. 4

Типичные сложности и ошибки:

- определение траектории движения тела после взаимодействия и отсутствие использования формулы центростремительного ускорения;
- нестандартное расположение трубки, наличие двух нитей, а также система тел пробирка+пробка вызывали ошибки в написании второго закона Ньютона;
- рассматривалось равновесие системы пробирка+пробка;
- нет четкого понимания условия, когда нить разрывается.

Пример задания 28 (2021 г.)

Определите время прохождения поездом последнего километра пути перед остановкой, если изменение его скорости на этом пути составило 10 м/с. Ускорение поезда считать постоянным.

Типичные сложности и ошибки:

- незнание приемов решения задач на нахождение «последнего времени движения», «последнего перемещения» движения;
- свойства прямолинейного равноускоренного движения без начальной скорости: перемещения за каждую секунду относятся как нечетные числа;
- рассчитывали путь разгона, а не торможения;
- математические ошибки.

Пример задания 29 (2021 г.)

На шероховатой наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$, лежит маленькая шайба массой $m = 500$ г. Минимальное значение модуля силы F , приложенной в горизонтальном направлении вдоль плоскости (рисунок 5), при котором шайба начинает скользить по наклонной плоскости, равно $1,7$ Н. Чему равен коэффициент трения скольжения шайбы о плоскость?

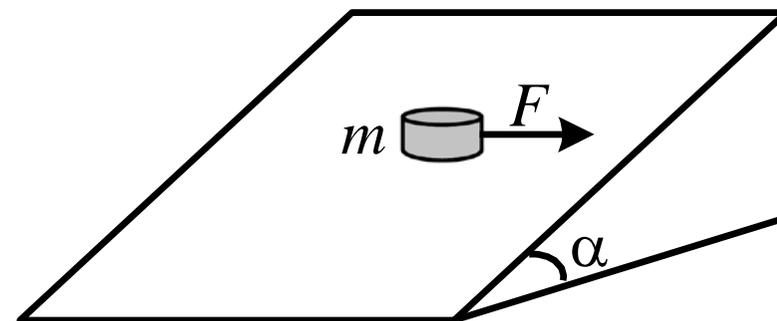


Рис. 5

Типичные сложности и ошибки:

- неправильное применение трехмерной системы координат;
- неверное представление о направлении движения тела;
- неверное указание направления силы трения;
- математические ошибки (тригонометрия, проекции);
- часто решают стандартную задачу о скольжении вниз на наклонной плоскости, не требующей трех проекций.

Приведем пример возможного решения представленной выше задачи.

Выберем инерциальную систему отсчета, связанную с Землей. Введем трехмерную декартову систему координат $Oxyz$. Направим Ox – вдоль нижней грани, Oy – вверх по наклонной плоскости, Oz – перпендикулярно наклонной плоскости (рис. 6).

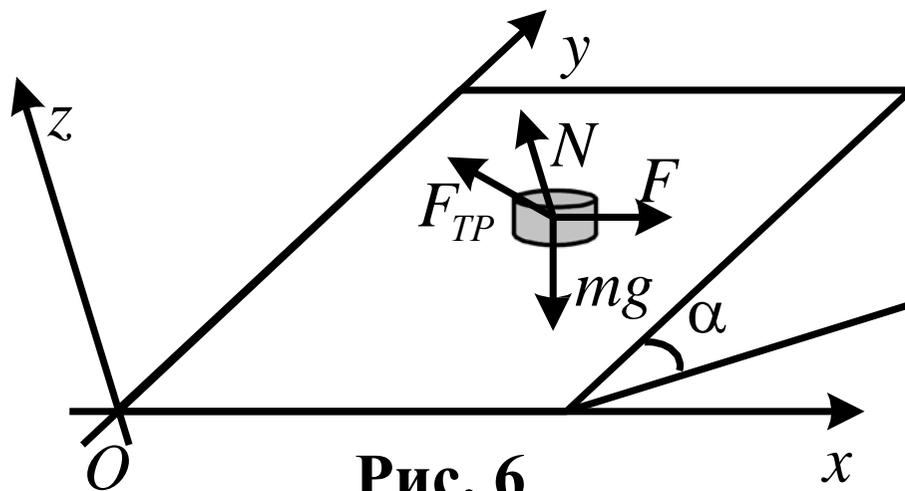


Рис. 6

Запишем второй закон Ньютона с учетом равномерного движения шайбы:

$$F + m\vec{g} + N + F_{TP} = 0. \quad (1)$$

Найдем проекции на координатные оси:

$$\begin{cases} O_x: & F - F_{TPx} = 0 \\ O_y: & F_{TPy} - mg \sin \alpha = 0 \\ O_z: & N - mg \cos \alpha = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Учитывая, что $F_{TP} = \mu \cdot N$ и $\vec{F}_{TP} = \sqrt{F_{TPx}^2 + F_{TPy}^2}$, (3)

получаем

$$(\mu mg)^2 \cos^2 \alpha = F^2 + (mg)^2 \sin^2 \alpha. \quad (4)$$

Откуда коэффициент трения равен

$$\mu = \frac{\sqrt{F^2 + (mg)^2 \sin^2 \alpha}}{mg \cos \alpha}. \quad (5)$$

Вычисляем:

$$\mu = \frac{\sqrt{(1,7H)^2 + (0,5кг \cdot 10 \frac{M}{c^2} \cdot 0,5)^2}}{0,5кг \cdot 10 \frac{M}{c^2} \cdot 0,87} \approx 0,7 \quad (6)$$

Ответ. Коэффициент трения тела о поверхность равен 0,7.

В 2022 году в структуре ЕГЭ произошли некоторые изменения [2]. Во-первых, общее количество заданий уменьшилось, их стало 30. Во-вторых, изменены линии заданий № 6, 12 и 17 и введены две новые линии заданий (линия 1 и линия 2). Линии заданий № 1 и № 2 базового и повышенного уровня сложности включают в себя элементы содержания не менее чем из трёх разделов курса физики. В-третьих, в части 2 увеличено количество заданий с развёрнутым ответом и исключены расчётные задачи повышенного уровня сложности с кратким ответом. В-четвёртых, добавлена одна расчётная задача повышенного уровня сложности с развёрнутым ответом. В-пятых, изменены требования к решению задачи высокого уровня сложности по механике.

Так, например, в задании 30 высокого уровня сложности, кроме развернутого ответа требуется обоснование законов, используемых в задаче, для описания движения тел. Задание 2022 года строится на теоретическом материале из раздела «Механика» и его решение максимально оценивается в 4 балла. При этом пра-

вильное обоснование применяемых законов оценивается одним первичным баллом, а стандартная часть решения задачи высокого уровня сложности неизменно оценивается максимально в 3 балла.

Методические рекомендации по подготовки учащихся к ЕГЭ при выполнении заданий из раздела «Механика»

Согласно выполненному анализу при решении задач на уроках физики следует более тщательно внимание уделять тем разделам механики, которые формируют дальнейшее представление о физической картине мира. На базовом уровне больше обращать внимание на фундаментальные законы: законы Ньютона и условия их применения, законы сохранения, основные кинематические определения и выражения. Для заданий повышенной и высокой сложности целесообразно отдельно выделять проблемные темы: криволинейное движение, динамика тел, принцип суперпозиции сил, механическое давление, статика и простые механизмы.

Необходимо обратить внимание на установление межпредметных связей, прежде всего с математикой, например, работе с алгебраическими преобразованиями, табличными величинами, графиками. Поскольку решение многих задач школьной физики без хорошей математической подготовки просто невозможно.

Для подготовки решения выпускников к заданиям повышенной сложности важно проводить различного рода олимпиады, в том числе на школьном уровне, знакомить учащихся с заданиями в открытых базах данных ЕГЭ и Всероссийских олимпиад по физике, так как решение нестандартных, практически значимых (в том числе олимпиадных) задач позволяет развивать не только логическое мышление, но и способствует дальнейшему развитию интереса к физике у учащихся.