



ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ЗАДАЧ КИМ ЕГЭ по физике

В.А.Грибов

*Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,
XII летняя школа учителей физики,
Красновидово, 27 июня 2024 года*

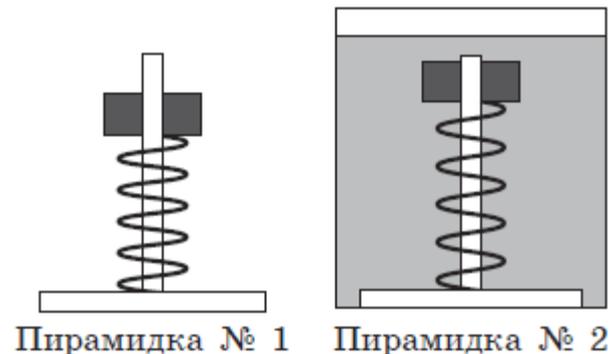


Качественные задачи впервые появились
в вариантах ЕГЭ по физике в 2009 году.
Основные типы этих задач актуальны и сегодня.

Задачи на изменение физических величин из любого раздела школьного курса физики

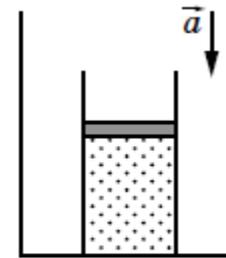
Пример задачи по механике

Два деревянных кольца детских пирамидок № 1 и № 2, способных без трения скользить по оси, соединили с основаниями этих пирамидок двумя одинаковыми лёгкими пружинками (см. рисунок). Пирамидку № 2 поместили в прочный сосуд с водой, прикрепив основание к его дну. Обе пирамидки покоятся относительно Земли. Как изменится по сравнению с этим случаем (увеличится, уменьшится или останется прежней) длина пружин пирамидок № 1 и № 2 во время свободного падения с балкона высокого дома? Сопротивлением воздуха пренебречь. Ответ поясните, указав, какие физические закономерности Вы использовали для объяснения.



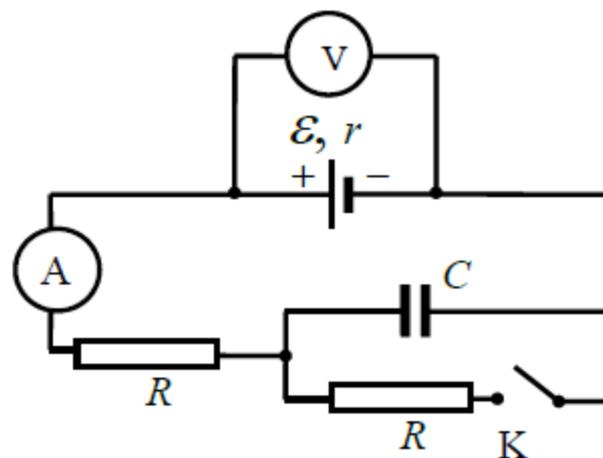
Задача по механике и молекулярной физике

На полу неподвижного лифта стоит теплоизолированный сосуд, открытый сверху. В сосуде под тяжёлым подвижным поршнем находится одноатомный идеальный газ. Поршень находится в равновесии. Лифт начинает равноускоренно опускаться вниз. Куда сдвинется поршень относительно сосуда после начала движения лифта и как при этом изменится температура газа в сосуде? Трением между поршнем и стенками сосуда, а также утечкой газа из сосуда пренебречь. Ответ поясните, указав, какие физические закономерности Вы использовали для объяснения.



Задача по теме «Постоянный ток»

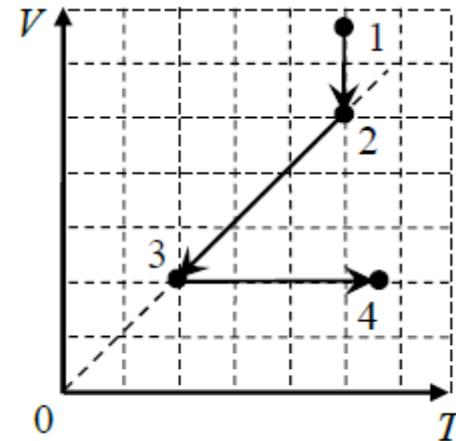
На рисунке показана электрическая цепь, содержащая источник тока (с отличным от нуля внутренним сопротивлением), два резистора, конденсатор, ключ К, а также амперметр и идеальный вольтметр. Как изменятся показания амперметра и вольтметра в результате замыкания ключа К? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности Вы использовали для объяснения.



Задачи на исследование заданных графиков

Как правило, это задачи по молекулярной физике

На V - T -диаграмме показано, как изменялись объём и температура некоторого постоянного количества разреженного газа при его переходе из начального состояния 1 в состояние 4. Как изменялось давление газа p на каждом из трёх участков 1–2, 2–3, 3–4: увеличивалось, уменьшалось или же оставалось неизменным? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности Вы использовали для объяснения.

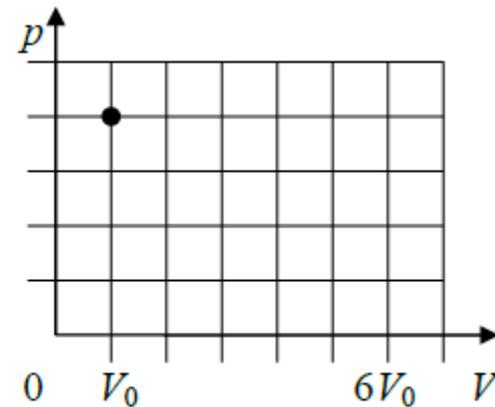


Задачи на построение графиков физических величин в заданных процессах

Тематика может быть разная.
Здесь – молекулярная физика

В цилиндре под поршнем при комнатной температуре t_0 долгое время находится только вода и её пар. Масса жидкости в два раза больше массы пара. Первоначальное состояние системы показано точкой на pV -диаграмме. Медленно перемещая поршень, объём V под поршнем изотермически увеличивают от V_0 до $6V_0$.

Постройте график зависимости давления p в цилиндре от объёма V на отрезке от V_0 до $6V_0$. Укажите, какими закономерностями Вы при этом воспользовались.

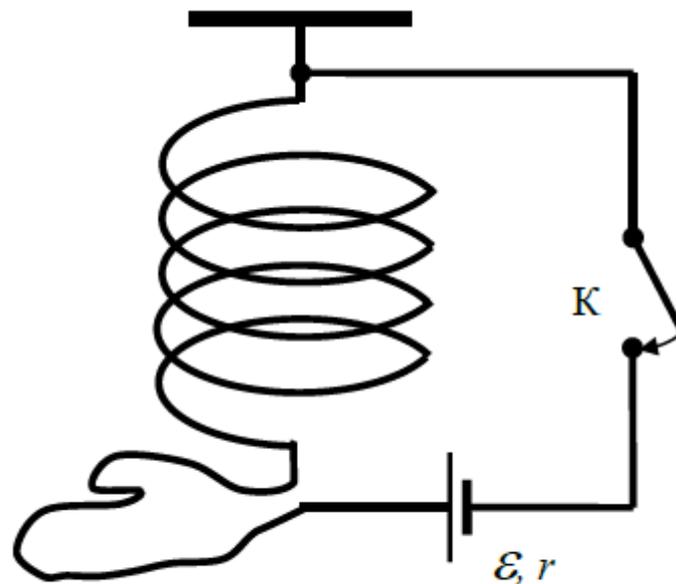


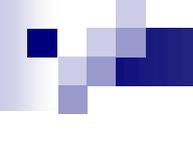


Во всех упомянутых задачах вопрос поставлен предельно конкретно: он касается поведения определённой величины в определённых условиях.

Но среди качественных задач в первые годы встречались и задачи с менее конкретным условием. Вот пример

Мягкая пружина из нескольких крупных витков провода подвешена к потолку. Верхний конец пружины подключается к источнику тока через ключ К, а нижний – с помощью достаточно длинного мягкого провода (см. рисунок). Как изменится длина пружины через достаточно большое время после замыкания ключа К? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности Вы использовали для объяснения.





Казалось бы, вопрос и здесь вполне конкретный – про изменение длины пружины. Вот только причина этого изменения в условии не указана.

На что рассчитывали составители задачи? На то, что школьники видели этот опыт на уроке и знают, что пружина сожмётся из-за сил Ампера. А длительное время в условии нужно, чтобы не обсуждать переходные процессы.

А что же школьники? Большинство ребят никак не упомянули силы Ампера и написали, что пружина увеличит длину, сославшись на закон Джоуля – Ленца и тепловое расширение тел. Ясно, что нужного опыта они в школе не видели.

Поэтому пришлось отказаться от упоминания ситуаций, которые школьники могли хотя бы увидеть в ходе демонстрации физических опытов в школе.



Статистика выполнения качественных задач из года в год выглядит непривлекательно: полный балл за решение получают от 5 до 15 % участников.

Основных причин таких низких результатов видится две:

- неумение создавать логически выстроенный текст,
- незнание критериев оценки решения задач в ЕГЭ.

Каковы же эти критерии? Они опубликованы во многих пособиях (например, «30 вариантов» или «10 вариантов» под редакцией М.Ю.Демидовой) и приведены в демонстрационном варианте КИМ ЕГЭ по физике на сайте ФИПИ (fipi.ru)

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае: п.) и полное верное объяснение (в данном случае: пп.) с указанием используемых для анализа наблюдаемых явлений и законов (в данном случае:)	3

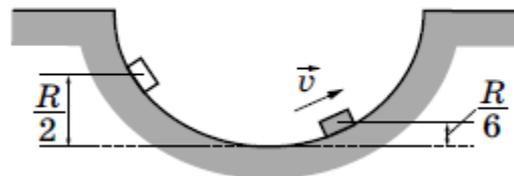
Таким образом, в чистовике решения задачи должны быть явно названы те явления и закономерности, которые автор использует в своём решении.

Как это работает?

Поскольку в 2025 году предполагается в качественных задачах ЕГЭ использовать сюжеты из механики, мы тоже остановимся прежде всего на задачах из механики.

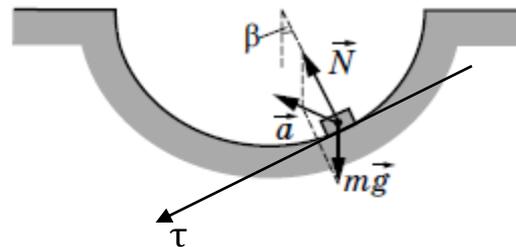
Задача на поведение физической величины

Маленькая шайба движется из состояния покоя по неподвижной гладкой сферической поверхности радиусом R . Начальное положение шайбы находится на высоте $\frac{R}{2}$ относительно нижней точки поверхности. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на шайбу в момент, когда она движется вправо вверх, находясь на высоте $\frac{R}{6}$ над нижней точкой поверхности (см. рисунок). Покажите на этом рисунке, куда направлено в этот момент ускорение шайбы (по радиусу поверхности, по касательной к поверхности, внутрь поверхности, наружу от поверхности). Ответ обоснуйте. Сопротивление воздуха не учитывать.



Образец возможного решения:

1. К шайбе приложены сила тяжести $m\vec{g}$, направленная вертикально вниз, и сила реакции поверхности \vec{N} , направленная по радиусу вверх. Ускорение шайбы \vec{a} направлено внутрь траектории левее направления силы \vec{N} . (см. рисунок).



2. В промежуточной точке скорость шайбы $\vec{v} \neq 0$, поэтому у шайбы есть центростремительное ускорение $\vec{a}_\text{ц} \neq 0$, направленное к центру окружности, по которой движется шайба.

3. Проекция ускорения шайбы на касательную к окружности равна по модулю $g \sin \beta$. Поэтому у шайбы есть касательная составляющая ускорения $\vec{a}_\tau \neq 0$, направленная в сторону нижней точки сферы.

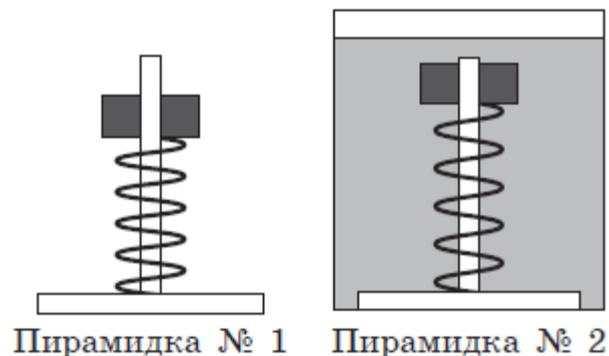
4. Ускорение шарика $\vec{a} = \vec{a}_\text{ц} + \vec{a}_\tau$ направлено внутрь сферической поверхности левее направления силы \vec{N} .

Как видим, ответ приведён в п.1, а решение – в пп. 2 – 4:

- на рисунке показаны силы, действующие на шайбу; учтено, что поверхность гладкая;
- в п. 2 обосновано наличие центростремительного ускорения шайбы и указано его направление;
- в п. 3 обосновано наличие тангенциального ускорения шайбы и указано его направление;
- в п. 4 использовано представление ускорения шайбы в виде суммы векторов нормального и тангенциального ускорений.

Вернёмся к уже упомянутой сегодня задаче

Два деревянных кольца детских пирамидок № 1 и № 2, способных без трения скользить по оси, соединили с основаниями этих пирамидок двумя одинаковыми лёгкими пружинками (см. рисунок). Пирамидку № 2 поместили в прочный сосуд с водой, прикрепив основание к его дну. Обе пирамидки покоятся относительно Земли. Как изменится по сравнению с этим случаем (увеличится, уменьшится или останется прежней) длина пружин пирамидок № 1 и № 2 во время свободного падения с балкона высокого дома? Сопротивлением воздуха пренебречь. Ответ поясните, указав, какие физические закономерности Вы использовали для объяснения.

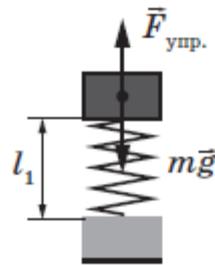


Возможное решение

1. Пружина пирамидки № 1 станет длиннее, а пружина пирамидки № 2 станет короче, чем в состоянии, когда пирамидки покоились.

2. Пока пирамидки покоились относительно Земли, пружина пирамидки № 1 под весом кольца была сжата, а пружина пирамидки № 2 была растянута так, чтобы сила упругости и сила тяжести, действующие на деревянное кольцо, скомпенсировали силу Архимеда, равную по модулю весу вытесненной воды.

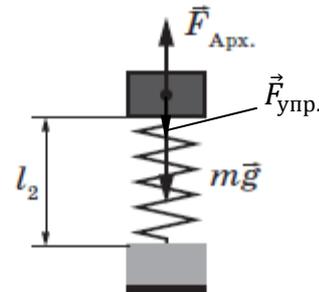
№ 1



$$F_{\text{упр}} = mg$$

$$F_{\text{упр}} = k|l_0 - l_1|$$

№ 2



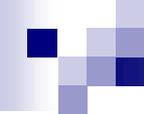
$$F_{\text{Арх.}} = F_{\text{упр.}} + mg$$

$$F_{\text{упр.}} = F_{\text{Арх.}} - mg = k|l_2 - l_0|$$

m — масса кольца, l_0 — длина недеформированной пружины.

3. При свободном падении тело испытывает состояние невесомости, невесомы стали и кольцо, и вода. Сила Архимеда стала равна нулю.

4. При равном нулю весе всех предметов обе пружины перестали быть деформированными, при этом первоначально сжатая пружина № 1 увеличила свою длину, а растянутая № 2 сократила.



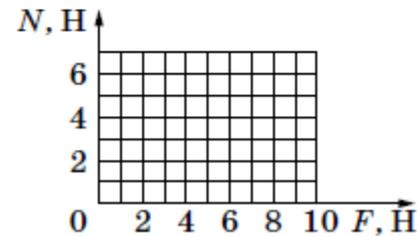
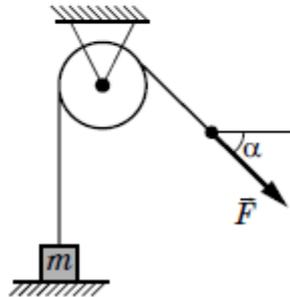
Снова ответ приведён в п. 1, а решение – в пп. 2 – 4:

- на рисунке показаны силы, действующие на кольца, пока пирамидки покоятся относительно Земли;
- в п. 2 из условия равновесия получены выражения для упругой силы в обоих случаях (обратите внимание на направление упругой силы на левом и правом рисунках);
- в п. 3 указано на состояние невесомости, отсюда следует равенство нулю силы Архимеда;
- в п. 4 обосновано отсутствие деформации пружин в состоянии невесомости.

Задача на построение графика физической величины

Лёгкая нить, привязанная к грузу массой $m = 0,6$ кг, перекинута через идеальный неподвижный блок. К правому концу нити приложена постоянная сила \vec{F} . Левая часть нити вертикальна, а правая наклонена под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту (см. рисунок).

Постройте график зависимости модуля силы реакции стола N от F на отрезке $0 \leq F \leq 10$ Н. Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности Вы использовали для объяснения.



Возможное решение

1. Если сила \vec{F} достаточно мала, груз покоится относительно стола (эту систему отсчёта будем считать инерциальной). На груз при этом действуют сила тяжести $m\vec{g}$, сила реакции со стороны стола \vec{N} и сила натяжения нити \vec{T} , показанные на рис. а.

Запишем второй закон Ньютона для груза в проекциях на ось y введённой системы отсчёта: $N + T - mg = 0$.

Поскольку нить лёгкая, а блок идеальный, модуль силы натяжения нити во всех точках одинаков, поэтому $T = F$.

Отсюда получаем: $N = mg - F \geq 0$ при $F \leq mg = 6$ Н.

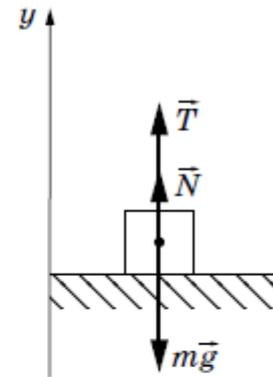


Рис. а

2. При $F > mg = 6$ Н груз отрывается от стола и движется вдоль оси y с ускорением. На груз при этом действуют только сила тяжести $m\vec{g}$ и сила натяжения нити \vec{T}' , показанные на рис. б, а модуль силы реакции стола $N = 0$.

Таким образом: а) при $F \leq mg = 6$ Н $N = mg - F$;

б) при $F > mg = 6$ Н $N = 0$.

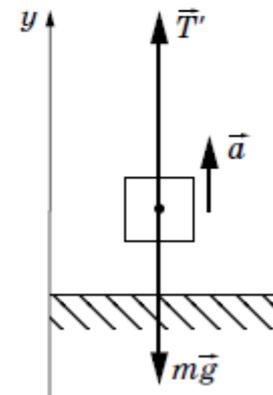
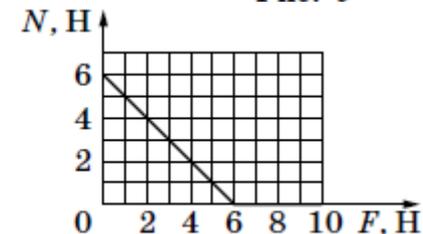


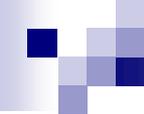
Рис. б

3. График этой зависимости представляет собой ломаную линию.



- Ответ приведён в п. 3, а решение – в пп. 1 – 2:
- выбрана инерциальная система отсчёта;
 - на рисунке а) показаны силы, действующие на груз, пока он покоится на столе;
 - на рисунке б) показаны силы, действующие на груз, когда он оторвался стола;
 - в п. 1 из условия равновесия (на основе второго закона Ньютона) получено выражение для модуля силы реакции стола; учтены невесомость нити и идеальность блока; найден соответствующий диапазон значений силы натяжения нити;
 - в п. 2 найден диапазон значений силы натяжения нити, в котором груз уже не давит на стол;
 - в п. 3 построен график.

Отметим, что в этом сюжете можно поставить и другую задачу: на построение графика зависимости модуля ускорения груза от модуля силы натяжения нити.



Ежегодно в журнале «Педагогические измерения» публикуются рекомендации по подготовке к ЕГЭ следующего года.

В одной из таких публикаций рассматривался «вопросный» метод решения качественных задач. Он позволяет тщательнее анализировать физическую ситуацию и обосновывать свои выводы с опорой на изученные закономерности.

Нужно только научиться ставить правильные вопросы. А это требует некоторой дотошности, которая, впрочем, свойственна многим в юном возрасте.

Рассмотрим большую цитату из журнала. Речь идёт о задаче по электростатике, а не по механике. Но именно в этой задаче многие при правильном ответе и верных рассуждениях не получили полный балл именно потому, что не проявили должной дотошности и не ответили на один очевидный вопрос.

Итак, цитата.

Приведём пример рассуждений для задачи, в которой на экзамене большинство из приступивших к решению получили правильный ответ, но допустили пропуски в объяснении.

На столе установили два незаряженных электрометра и соединили их металлическим стержнем с изолирующей ручкой (рис. 1). Затем к первому электрометру поднесли, не касаясь шара, отрицательно заряженную палочку (рис. 2). Не убирая палочки, убрали стержень, а затем убрали палочку. Ссылаясь на известные Вам законы и явления, объясните, почему электрометры оказались заряженными, и определите знаки заряда каждого из электрометров после того, как палочку убрали.

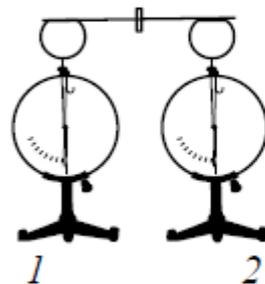


Рис. 1

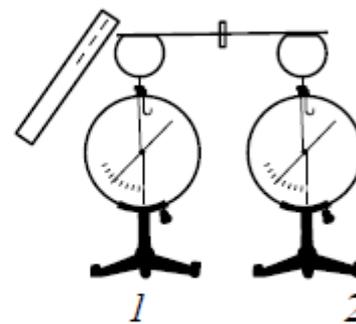


Рис. 2

- Что наблюдалось до поднесения заряженной палочки?

Два соединённых металлическим стержнем электрометра образуют изолированную систему, первоначальный заряд которой равен нулю.

- Что происходит при поднесении отрицательно заряженной палочки к шару электрометра 1?

Электроны в шаре, стержне и стрелке электрометра 1 по металлическому стержню стали перемещаться на электрометр 2.

- Почему происходит перемещение зарядов и чем это можно подтвердить?

Электроны перемещаются под действием электрического поля, созданного палочкой, так как одноименные заряды отталкиваются.

- До каких пор будет происходить перемещение зарядов?

Движение электронов будет происходить до тех пор, пока все точки металлических частей двух электрометров не будут иметь одинаковые потенциалы.

- Какие заряды приобретут электрометры?

Электрометр 1 имеет положительный заряд, а электрометр 2 – отрицательный. Модули зарядов будут одинаковы.

- Чем это можно подтвердить?

Так как первоначальный заряд системы электрометров был равен нулю, то согласно закону сохранения заряда положительный заряд электрометра 1 в точности равен по модулю отрицательному заряду электрометра 2.



Так где же чаще всего терялись баллы? На каком вопросе?

Чаще всего в решении не говорилось про эквипотенциальность в конечном состоянии всех соединённых друг с другом металлических частей обоих электрометров.

Но задайте себе естественный вопрос: а почему перемещение электронов прекращается? Ответ готов: значит, уменьшилось до нуля электрическое поле в металле. Следовательно, потенциал всех точек в металле одинаков.



**Пожелаем удачи
нашим будущим выпускникам!
Спасибо за внимание!**