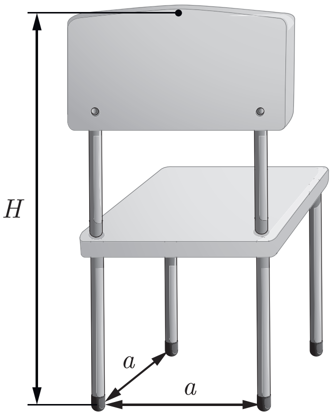
81-я Московская олимпиада школьников по физике
2020 год
9 класс

Условия задач, ответы и критерии оценивания

1. Стул начинает опрокидываться

(10 баллов), Варламов С. Д.

К гладкому горизонтальному полу прибита тонкая (высотой примерно 1 см) планка. Вася приставил к планке стул передними ножками, привязал к верхней точке спинки стула верёвку и с помощью динамометра выяснил, что стул начинает опрокидываться, когда к верёвке перпендикулярно планке прикладывается горизонтальная сила $F_1 = 16$ Н. Затем он изменил положение стула, и теперь стул касается планки своими задними ножками. В этом случае минимальное значение силы, приложенной перпендикулярно планке в горизонтальном направлении, необходимой для опрокидывания стула, оказалось равно $F_2 = 12$ Н. Расстояние между ножками стула (см. рисунок) равно $a = 42$ см. Высота верхней точки спинки стула над полом равна $H = 72$ см. Можно считать, что эта точка находится ровно над линией задних ножек. Какую минимальную силу F_3 нужно приложить к верёвке, чтобы опрокинуть стул, если к планке стул приставлен правыми ножками? Считайте, что ускорение свободного падения равно $g = 10$ м/с^2. Правая и левая половинки стула симметричны.



Ответ: $F \approx 13{,}4$ Н.

Критерии

1) Записано условие равновесия для первого опыта при отрыве задних ножек от пола в виде уравнения моментов — *2 балла.*

2) Записано условие равновесия для второго опыта при отрыве передних ножек от пола в виде уравнения моментов — *2 балла.*

3) Найдена масса стула $m = 4{,}8$ кг —*1 балла.*

4) Высказана в любой форме мысль о том, что в третьем опыте минимальное значение силы достигается при максимальном значении плеча силы —*1 балл.*

5) Найдено максимальное значение плеча силы, записано условие равновесия для третьего опыта в момент отрыва левых ножек от пола в виде уравнения моментов, получено значение искомой силы —*4 балла.* Рассуждения верные, но допущены арифметические ошибки — *2 балла.*

Если значение силы F найдено в предположении, что эта сила должна быть горизонтальна (в условии этого требования нет), при этом найдено верное значение силы $F = 14$ Н, — *6 баллов* за всю задачу.

2. Резистор начинает плавиться

(10 баллов), Крюков П. А.

При увеличении тока через проволочный резистор он нагревается, при этом его температура в зависимости от протекающего тока изменяется нелинейно. При малых токах, составляющих для типичных резисторов величину порядка 10 мА, температура резистора T практически неотличима от температуры окружающей среды T_0. При увеличении тока до некоторого предельного значения $I_{\max}$ резистор очень быстро (почти мгновенно) нагревается до очень высокой температуры и плавится (сгорает).

Пусть сопротивление некоторого резистора при комнатной температуре и токе 1 мА равно 10 Ом. Известно, что значение предельного тока для этого резистора равно $I_{\max} = 1{,}35$ А. Найдите сопротивление резистора и напряжение на нём при токе, равном $0{,}8 I_{\max}$.

Можно считать, что зависимость сопротивления резистора от температуры линейная: $R(T) = R_0\,(1 + \alpha(T - T_0))$, R_0 — сопротивление резистора при температуре T_0, α — неизвестный коэффициент. Мощность теплоотдачи пропорциональна разности температур резистора и окружающей среды.

Ответ: $R \approx 27{,}8$ Ом, $U \approx 30$ В.

Критерии

1) Записано уравнение теплового баланса резистора при заданном токе — *2 балла.*

2) Любым образом получено соотношение $I^2_{\max} = \dfrac{k}{\alpha R_0}$, связывающее максимальный ток через резистор с другими параметрами — *5 баллов.*

3) Найдено сопротивление резистора при токе $I = 0,8 I_{\max}$ — *2 балла.*

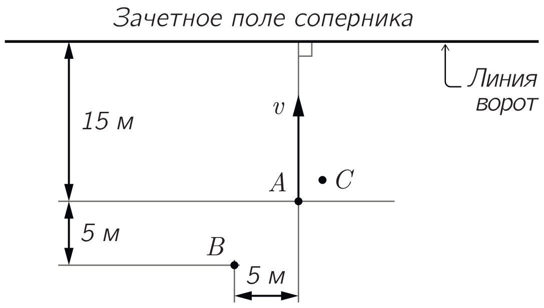
4) Найдено напряжение на резисторе —*1 балл.*

3. Регби (10 баллов)

Бычков А. И., по мотивам з. 1.24 из [2]

Регби — это командная игра с мячом. Цель игры – принести мяч в зачётное поле соперника, расположенное за линией ворот. Игрок с мячом может отдать передачу другому игроку своей команды, причём передачу нельзя делать вперёд (только вбок или назад). Игроки команды соперника имеют право остановить игрока с мячом. На рисунке представлен фрагмент поля с тремя регбистами: A и B — игроки из одной команды, C — игрок команды соперника. Игрок C вот-вот остановит игрока A, поэтому тот делает передачу игроку B. Чтобы сделать точную передачу, игрок A предварительно притормозил, и в момент броска его скорость направлена в сторону линии ворот и равна $v = 2$ м/с.

Пусть скорость игрока B равна 8 м/с при движении по любой траектории. Расположение игроков A, B и C на поле, показанное на рисунке, соответствует моменту броска



1) С какой минимальной скоростью (относительно себя) должен бросить мяч игрок A, чтобы игрок B принял передачу и добежал до зачетного поля соперника за минимальное время? (*2 балла*)

2) Пусть игрок A бросил мяч с относительной скоростью 6 м/с. Докажите, что минимальное время $t_{\min}$, за которое игрок B может добежать до зачётного поля соперника, поймав мяч в процессе движения, достигается, если после броска игрока A мяч летит параллельно линии ворот. (*4 балла*)

3) Найдите время $t_{\min}$. Утверждением из п. 2) можно пользоваться без доказательства. (*4 балла*)

<u>Ответ</u>: 1) $w_{\min}^{(\text{отн})} \approx 8{,}2$ м/с; 3) $t_{\min} \approx 2{,}5$ с.

Критерии

1) Высказано соображение: что игрок B добежит до зачётного поля соперника за минимальное время, если он будет двигаться по прямой перпендикулярной линии ворот — *0,5 балла.*

2) Указано, что минимальной относительной скорости броска $w_{\min}^{(\text{отн})}$ соответствует случай, когда абсолютная скорость мяча направлена параллельно линии ворот — *0,5 балла.*

3) Указано, что скорость мяча относительно земли в этом случае равна 8 м/с — *0,5 балла.*

4) Найден правильный числовой ответ для относительной скорости $w_{\min}^{(\text{отн})} \approx 8{,}2$ м/с — *0,5 балла.*

5) Приведено полное, аргументированное доказательство утверждения, сформулированного в п. 2 условия, как в авторском решении или любым другим способом, — *4 балла.* Приведено частичное доказательство, которое требует доработки, — *2 балла.*

6) Найдена скорость мяча относительно земли $w = 4\sqrt{2}$ м/с — *0,5 балла.*

7) Изображён треугольник, сторонами которого являются: перемещения игрока B и мяча до момента их встречи и отрезок AB, где A и B — положения игроков в момент броска — *1,5 балла.*

8) Найдены углы этого треугольника — *1 балл.*

9) Найдено правильное числовое значение минимального времени $t_{\min} \approx 2{,}5$ с — *1 балл.*

Если минимальное время найдено без использования треугольника перемещений, при этом получен верный числовой ответ — *4 балла.* Рассуждения верные, но допущены ошибки при вычислениях — *2 балла.*

4. Вова начинает расчёты (10 баллов)

Черников Ю. А., Крюков П. А.

Вова с папой поехали на машине из Москвы в Санкт-Петербург. На трассе скорость их автомобиля была не более 110 км/ч, но не менее 80 км/ч. От скуки Вова решил снять видео на смартфон. В поле съемки попал джип, двигавшийся некоторое время по соседней полосе с той же скоростью, что и автомобиль Вовиного папы. И тут Вова обнаружил, что на экране его телефона радиальные поперечины на диске колеса джипа (форма диска показана на рисунке ниже) либо стоят на месте, либо медленно вращаются, совершая не более одного оборота за время около 10 с. Позже на стоянке по маркировке на покрышке обогнавшего их джипа, Вова определил диаметр его колеса, получилось 72 см. Вова знает, что его смартфон снимает видео с частотой 30 кадров в секунду. Он считает, что каждый кадр представляет собой мгновенную фотографию.

Вова подумал, что по имеющимся данным он может не просто определить скорость v джипа в тот момент, когда он поравнялся с машиной папы, но и указать границы интервала $v_{\min} < v < v_{\max}$, в пределах которого лежит значение скорости v.

1) Чему может быть равна скорость v? Достаточно одного значения. (*8 баллов*)

2) Определите границы интервала $v_{\min}$ и $v_{\max}$ возможных скоростей. (*2 балла*)

<u>Ответ</u>: 96,8 км/ч $< v <$ 98,4 км/ч.

Критерии

1) В любой форме высказывается мысль о том, что за время кадра колесо совершает $\dfrac{n}{5}$ оборотов — *3 балла.* Если в процессе решения делается не совсем верное утверждение о том, что за время кадра колесо должно совершать полный оборот (или целое число полных оборотов) — *1 балл.*

2) Получено соотношение для возможных скоростей джипа (без учёта медленного вращения изображения) как в решении $v = 6n \cdot 2{,}26 \cdot 3{,}6$ км/ч или аналогичное — *3 балла.*
Если при выводе выражения для скорости допущены вычислительные ошибки — *1,5 балла.*

3) Произведён числовой расчёт и выбрано верное значение скорости, соответствующее $n = 2$, — *2 балла.*

4) Получены границы интервала скоростей, обусловленного медленным вращением изображения — *2 балла.* Рассуждения верные, но при вычислениях допущены ошибки — *1 балл.*

5. Тень начинает притягиваться

(10 баллов), Крюков П. А.

Широко известен опыт, который обычно называют «притягивающиеся тени». Протяжённый источник света освещает два предмета, и тень одного как бы притягивается к тени другого. Опыт иллюстрируют рис. 1 и рис. 2.

Рис. 1: Лампа освещает линейку и книжку. На стене наблюдаются тени.

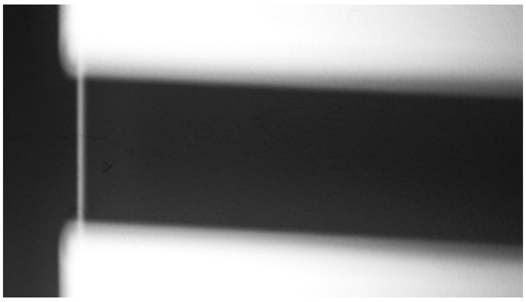


Рис. 2: Область «притягивающихся» теней. Фрагмент фотографии сильно увеличен.

Рассмотрим упрощённую схему опыта, изображённую на рис. 3. Протяжённый источник AB освещает книжку и линейку. Поперечный размер источника равен $D = 6$ см, он расположен так, что осевая линия c проходит через середину отрезка AB. Расстояния, обозначенные на рис. 3, известны, $a = 10$ см.

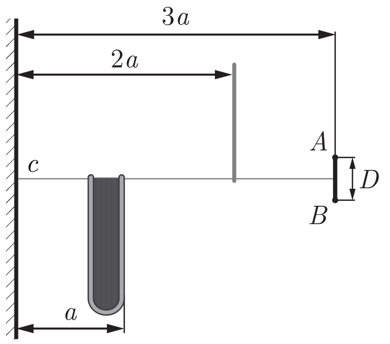


Рис. 3

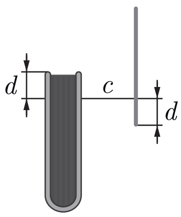


Рис. 4

Книжка и линейка отстоят от осевой линии c на одинаковое (неизвестное) расстояние d, как схематично показано на рис. 4 (соотношения между длинами изменены для удобства восприятия). При каких значениях d на стене между областью полной тени линейки и полной тени книжки будет наблюдаться область полутени? Рассмотрите два случая.

1) Точки отрезка AB излучают изотропно (равномерно по всем направлениям). (*6 баллов*)

2) Любая точка источника испускает лучи света, составляющие с осевой линией угол не более, чем α, при этом $\operatorname{tg}\alpha = 0{,}15$. (*4 балла*)

Примечание. Полной тенью называется область на стене, в которую не попадает ни один луч света от источника.

Ответ: 1) $d < 1$ см; 2) $d < 7{,}5$ мм.

Критерии

1) В любой форме высказывается мысль о том, что возникновение полутени между тенями книжки и линейки обусловлено конечными размерами источника — *2 балла.*

2) Сделан рисунок, на котором показан луч, идущий от края источника, касающийся книжки и линейки (объяснение также может быть дано на словах). Указывается, что изображённая конфигурация соответствует максимальному значению d — *3 балла.*

3) Сделан расчёт, получен верный числовой ответ на первый вопрос — *1 балл.*

4) Получен верный числовой ответ на второй вопрос — *4 балла.* Рассуждения верные, но при вычислениях допущены ошибки — *2 балла*

Список литературы

[1] Бычков А. И., Крюков П. А. Цепи постоянного тока. — М. : МЦНМО, 2019. — 112 с.

[2] Уокер Джирл. Новый физический фейерверк. Сборник качественных задач по физике. — М. : Манн, Иванов и Фербер, 2019. — 465 с.