



ВАРИАНТ ДВИ
ФИЗИЧЕСКОГО
ФАКУЛЬТЕТА МГУ
2015 ГОДА

Грачев А.В., Грачева М.А.

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, кафедра общей физики

grachev_av61@list.ru

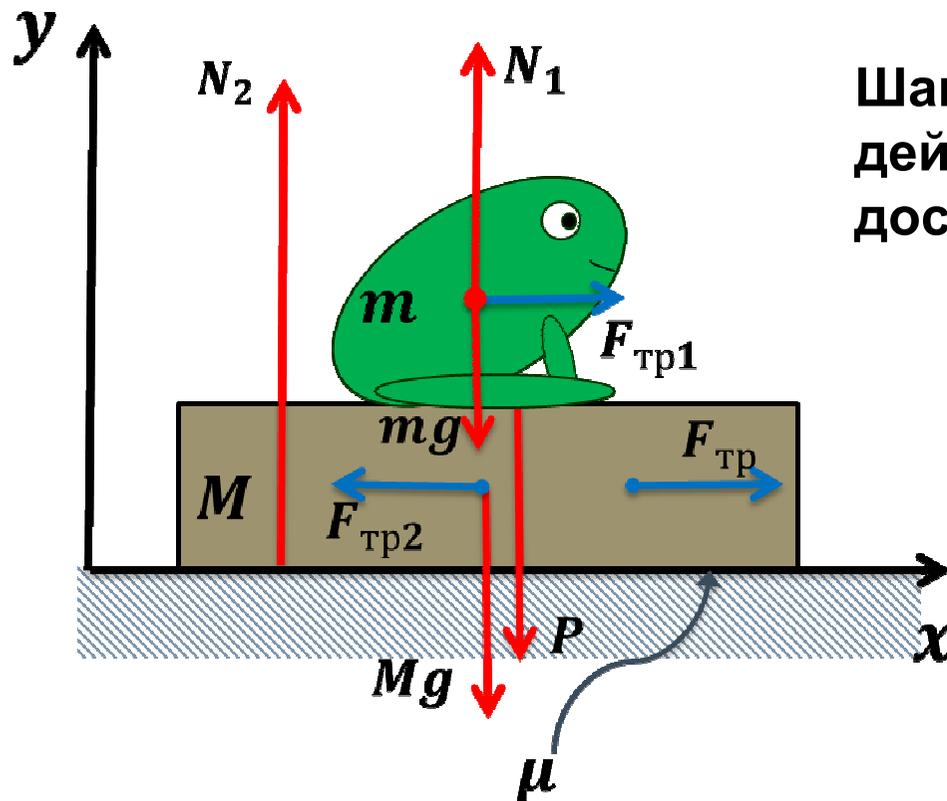
1.6.1. Запишите связь между приращением импульса материальной точки и импульсом силы. Сформулируйте закон сохранения импульса.

Задача. На горизонтальной поверхности стола лежит доска массой M , а на доске сидит лягушка массой m . В некоторый момент времени лягушка совершает прыжок, отталкиваясь от доски, и приобретает скорость v , направленную под углом α к горизонту. Считая, что длительность толчка лягушки о доску равна τ , а сила, действующая на лягушку во время толчка, практически постоянна, определите, при каких значениях коэффициента трения μ доски о стол, доска в момент толчка будет оставаться неподвижной.

Для решения воспользуемся алгоритмом, приведенном в учебнике Физика 10 (например, §22).

Шаг 0. Выбор модели. Поскольку нас не интересуют различия в движении отдельных частей лягушки и доски, будем считать их материальными точками. Влияние воздуха на движение объектов будем считать пренебрежимо малым.

Шаг 1. Выбор ИСО. Выберем в качестве тела отсчета Землю. Ось X направим вдоль горизонтальной поверхности по направлению прыжка лягушки, ось Y – вертикально вверх.



Шаг 2. Изображение на рисунке сил, действующих на тела (лягушку и доску) во время отталкивания.

Шаг 3. Определение проекций сил на координатные оси.
См. рисунок.

Шаг 4. Запись уравнений движения по координатным осям.

Второй закон Ньютона в проекциях на координатные оси для лягушки

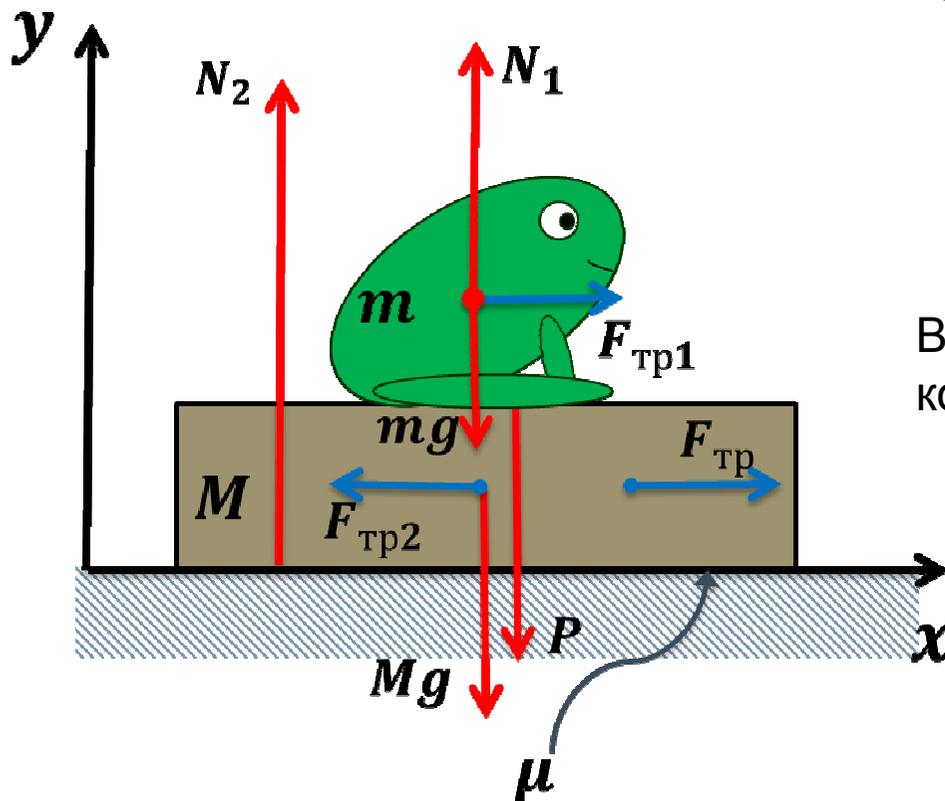
$$F_{\text{тр}1} = ma_x$$

$$N_1 - mg = ma_y$$

Второй закон Ньютона в проекциях на координатные оси для доски

$$F_{\text{тр}} - F_{\text{тр}2} = MA_x$$

$$N_2 - Mg - P = MA_y$$



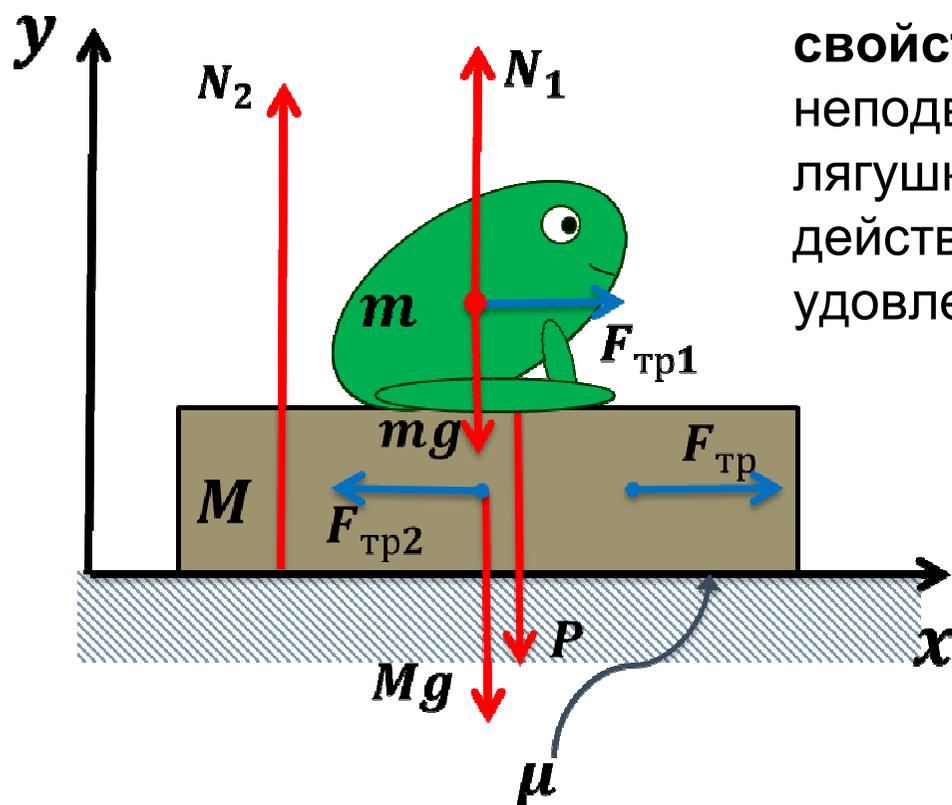
Шаг 4*. По третьему закону Ньютона модули сил взаимодействия лягушки и доски вдоль осей X и Y равны.

$$F_{\text{тр}1} = F_{\text{тр}2}$$

$$N_1 = P$$

Шаг 5. Использование индивидуальных свойств сил. То, что доска остается неподвижной в процессе отталкивания лягушки от доски, означает, что модуль действующей на нее силы трения покоя удовлетворяет неравенству

$$F_{\text{тр}} \leq \mu N_2$$



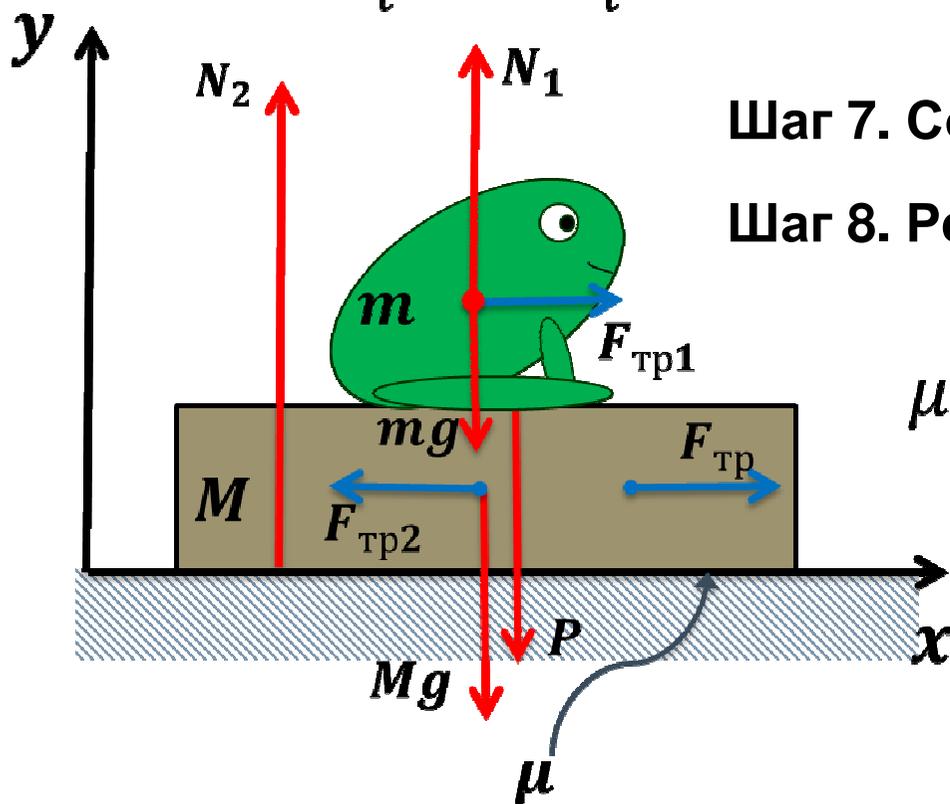
Шаг 6. Уравнения кинематических связей. По условию доска остается неподвижной, поэтому

$$A_x = A_y = 0$$

Сила, действующая на лягушку в процессе отталкивания от доски, по условию постоянна. Следовательно, ускорение тоже постоянно и по определению равно отношению изменения скорости к промежутку времени, за которое это изменение произошло

$$a_x = \frac{\Delta v_x}{\tau} = \frac{v \cos \alpha}{\tau}$$

$$a_y = \frac{\Delta v_y}{\tau} = \frac{v \sin \alpha}{\tau}$$



Шаг 7. Составление системы уравнений.

Шаг 8. Решение системы уравнений.

$$\mu \geq \frac{mv \cos \alpha}{mv \sin \alpha + (m + M)g\tau}$$

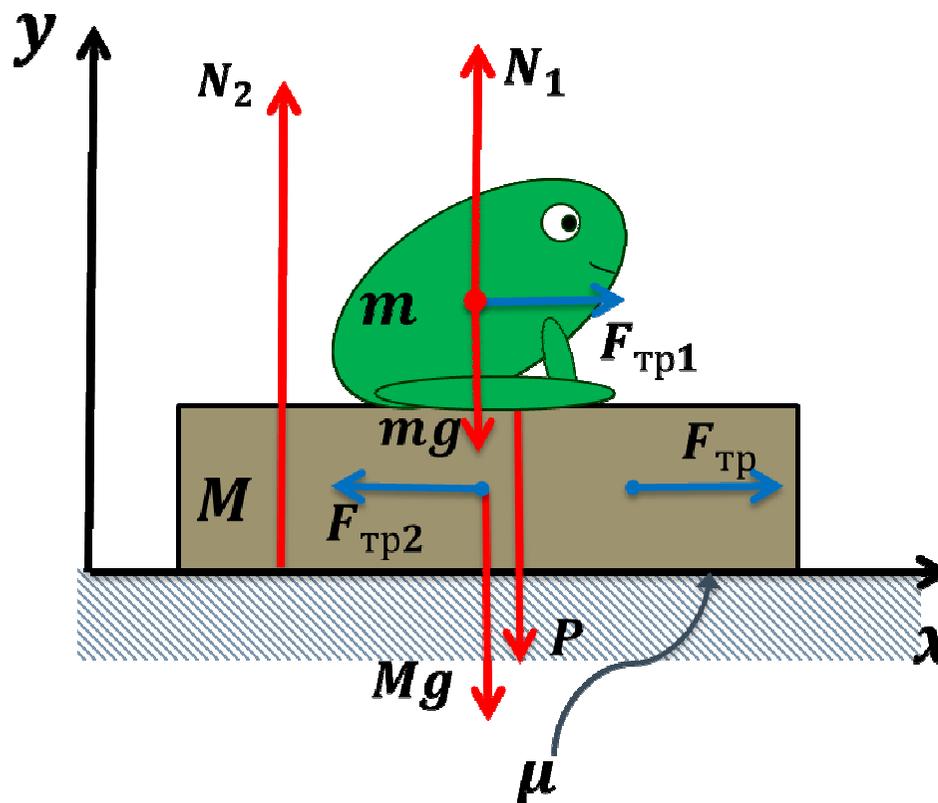
Шаг 9. Анализ полученного результата.

$$\mu \geq \frac{mv \cos \alpha}{mv \sin \alpha + (m + M)g\tau}$$

В первую очередь о размерности. Полученный ответ безразмерен, что соответствует определению коэффициента трения μ .

Видно, что чем меньше угол α , тем больше $\cos \alpha$, и, следовательно, необходим больший коэффициент трения, чтобы удержать доску неподвижной.

Увеличение времени отталкивания лягушки τ наоборот приводит к уменьшению значения необходимого коэффициента трения.



Для дальнейшего анализа поделим числитель и знаменатель на m .

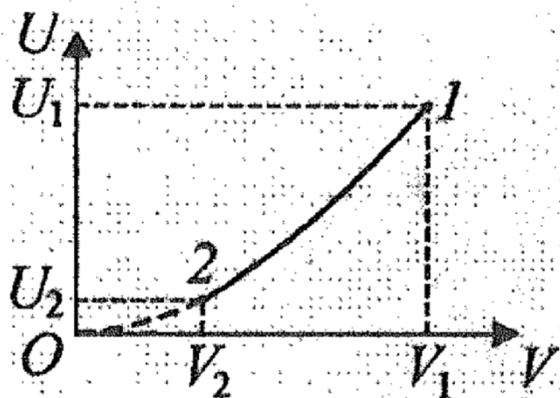
$$\mu \geq \frac{v \cos \alpha}{v \sin \alpha + \left(1 + \frac{M}{m}\right)g\tau}$$

Тогда видно, что увеличение массы доски M приводит к уменьшению значения μ , а увеличение массы лягушки m - к увеличению значения μ .

Все эти выводы соответствуют известным экспериментальным фактам, поэтому полученный результат имеет физический смысл

2.7.1. Что такое идеальный газ? Запишите основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа и укажите смысл входящих в это уравнение величин.

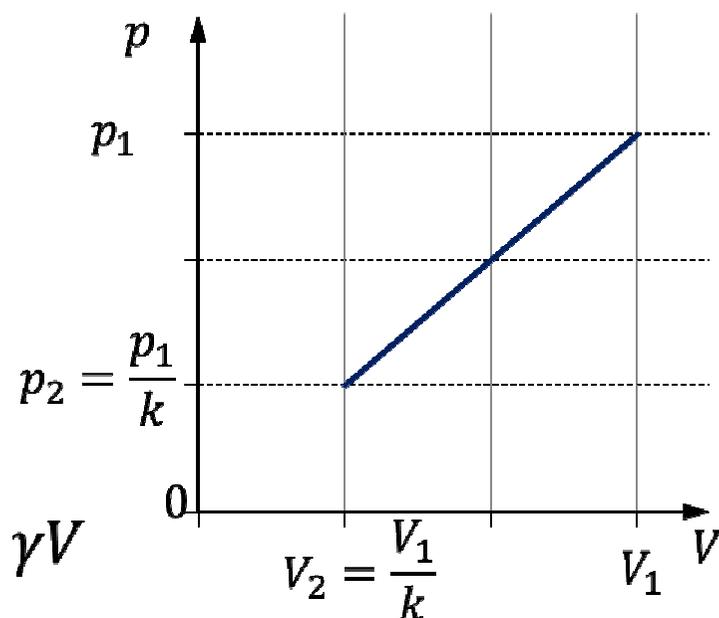
Задача. Какую работу A надо совершить для сжатия некоторого количества идеального одноатомного газа в $k = 3$ раза, если внутренняя энергия газа U меняется при этом так, как показано на рисунке? Участок $1-2$ – отрезок параболы с вершиной в начале координат. Исходное значение внутренней энергии газа равно $U_1 = 135$ кДж.



Поскольку в условии задачи требуется определить работу, совершенную над газом, следует построить график процесса в осях pV (см. сводную таблицу на стр. 301 учебника Физика 10).

Воспользовавшись формулой для расчета внутренней энергии (см. стр. 301) и уравнением процесса в осях UV получим зависимость $T(V)$ в данном процессе. После этого, используя уравнение состояния Менделеева-Клапейрона, получим зависимость $p(V)$.

$$\left. \begin{array}{l} U = \frac{3}{2} \nu RT \\ U = \alpha V^2 \end{array} \right\} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} T = \beta V^2 \\ pV = \nu RT \end{array} \right\} \Rightarrow p = \gamma V$$



Видно, что зависимость $p(V)$ представляет собой линейную функцию, график которой показан на рисунке справа. Площадь под этим графиком и представляет собой искомую работу A (поскольку работа газа по модулю равна работе над газом).

Рассчитаем эту площадь с учетом условий задачи и полученных соотношений. Отдельно отметим, что в рассмотренном процессе при уменьшении объема в k раз внутренняя энергия уменьшается в k^2 раз.

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{p_1 + p_2}{2} (V_1 - V_2) = \gamma \frac{V_1 + V_2}{2} (V_1 - V_2) = \frac{1}{2} (\gamma V_1^2 - \gamma V_2^2) = \\
 &= \frac{1}{2} \nu R (T_1 - T_2) = \frac{12}{23} (U_1 - U_2) = \frac{k^2 - 1}{3k^2} U_1 = 40 \text{ кДж}
 \end{aligned}$$

3.8.1. Что такое потенциал электростатического поля? Как связана разность потенциалов с напряженностью однородного электростатического поля?

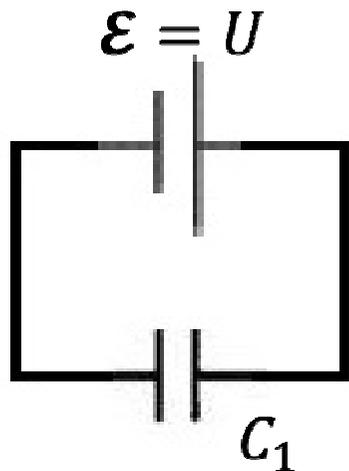
Задача. Конденсатор емкостью $C_1 = 10$ мкФ зарядили от источника постоянного напряжения с ЭДС U . Отключив конденсатор от источника, его соединили с незаряженным конденсатором емкостью $C_2 = 2C_1$. После установления напряжения на конденсаторах их обкладки замкнули проводником с достаточно большим сопротивлением, в котором выделилось количество теплоты $Q = 0,3$ Дж. Определите ЭДС источника U .



Прежде всего обратим внимание на то, что в условии задачи описаны три процесса:

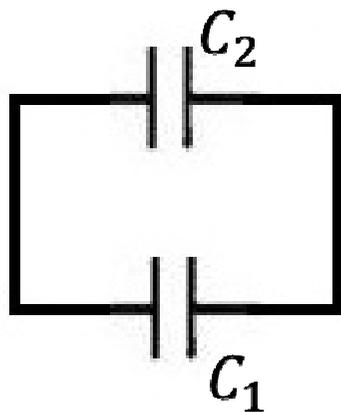
1. Зарядка конденсатора от источника напряжения;
2. Перераспределение зарядов между двумя конденсаторами (заряженным и незаряженным) после их соединения;
3. Разрядка соединенных конденсаторов через большое сопротивление.

Каждый из этих процессов ограничен моментами начала процесса и конца. При этом промежуток времени между этими моментами подразумевается достаточно большим. Решение задачи будет успешным, если школьники, во-первых, не будут путать **моменты** и **процессы**, и, во-вторых, будут рассматривать каждый из процессов по отдельности.



Первый процесс завершается зарядкой конденсатора до напряжения, равного напряжению источника. В результате заряд конденсатора может быть найден по следующей формуле

$$q = C_1 U \quad (1)$$

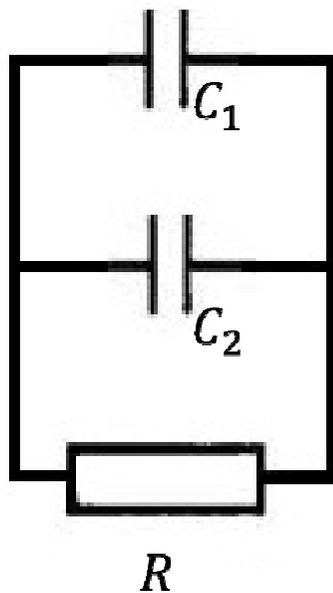


Второй процесс соответствует частному случаю процесса, рассмотренного в §76 учебника Физика 10. Этот процесс завершается установлением на конденсаторах одинакового напряжения (уравнение 2). Уравнение 3 получается из закона сохранения заряда: суммарный заряд на конденсаторах станет равен первоначальному заряду первого конденсатора

$$U_2 = U_1 \quad (2)$$

$$q_1 + q_2 = q \quad (3) \quad \Rightarrow \quad (C_1 + C_2)U_1 = C_1 U$$

$$U_1 = \frac{C_1 U}{C_1 + C_2}$$



Третий процесс является частным случаем процесса перезарядки конденсаторов, рассмотренного в §16 учебника Физика 11.

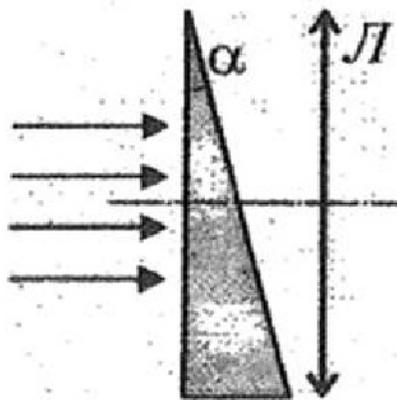
После замыкания конденсаторов проводником с большим сопротивлением они полностью разрядятся, а выделившееся при этом количество теплоты практически (за счет того, что сопротивление R является достаточно большим) будет равно электрической энергии, которой обладали конденсаторы до замыкания.

$$Q = \frac{(C_1 + C_2)U_1^2}{2} = \frac{C_1^2 U^2}{2(C_1 + C_2)}$$

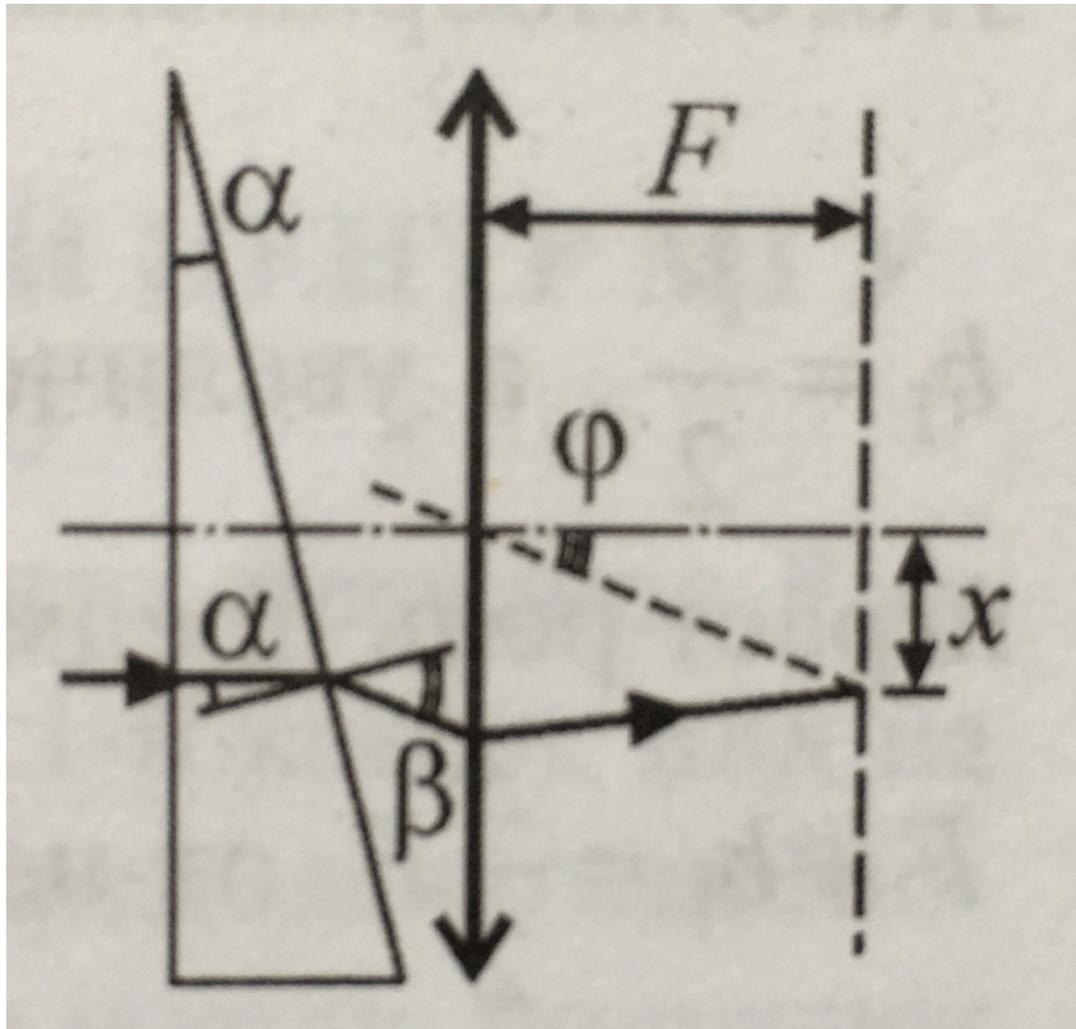
$$U = \frac{\sqrt{2Q(C_1 + C_2)}}{C_1} \approx 424 \text{ В}$$

4.1.1. Сформулируйте законы отражения света. Приведите пример построения изображения предмета в плоском зеркале.

Задача. Параллельный пучок света падает по нормали на грань стеклянной призмы. Угол при вершине призмы равен α , показатель преломления стекла n . За призмой установлена тонкая собирающая линза с фокусным расстоянием F так, что главная оптическая ось линзы перпендикулярна входной грани призмы (см. рисунок). На каком расстоянии x от главной оптической оси линзы будет сфокусирован световой пучок, преломленный призмой? Считайте, что $\alpha \ll 1$.



Рассмотрим распространение одного луча из параллельного пучка света через стеклянную призму. Так как по условию луч падает на левую грань призмы по нормали, то при преломлении на этой границе раздела сред отклонения от первоначального направления распространения не происходит.



Из рисунка видно, что на правую грань призмы пучок падает под углом α .

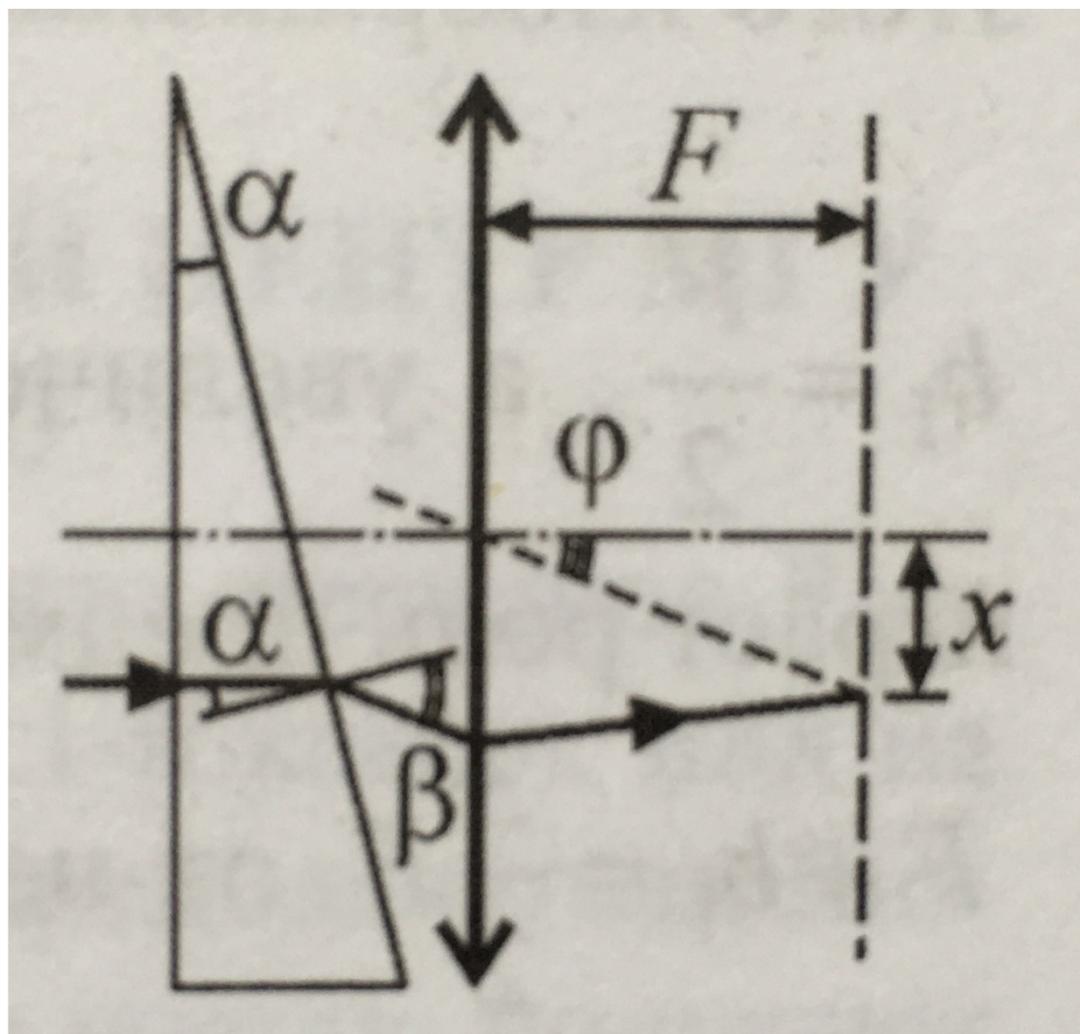
Для нахождения угла преломления β воспользуемся законом Снеллиуса:

$$n * \sin \alpha = 1 * \sin \beta.$$

Считая углы малыми, получим, что $n\alpha \approx \beta$.

Тогда угол φ , на который призма отклоняет падающий на нее параллельный пучок света, определяется формулой

$$\varphi = \beta - \alpha \approx (n - 1)\alpha$$



Линза, стоящая за призмой, собирает параллельный пучок лучей в побочном фокусе. При этом луч, идущий через оптический центр линзы, не преломляется. Отсюда следует, что

$$x = F * \operatorname{tg} \varphi \approx \\ \approx F * \varphi \approx F * (n - 1)\alpha$$

Уважаемые коллеги, в связи с вашими многочисленными просьбами приводим вам данные о методических пособиях для учителей к нашему УМК

Физика: 10 класс: проектирование учебного курса: методическое пособие / А.В. Грачёв, В.А. Погожев, П.Ю. Боков и др. — М.: Вентана-Граф, 2017. — 128 с.

Физика: 11 класс: проектирование учебного курса: методическое пособие / А.В. Грачёв, В.А. Погожев, П.Ю. Боков и др. — М.: Вентана-Граф, 2017. — 178 с.

В электронном виде (на сайте ЛИТРЕС)

Методическое пособие 10 класса

<https://www.litres.ru/aleksandr-grachev-8802582/fizika-10-klass-proektirovanie-uchebnogo-kursa-metodicheskoe-posobie-24055642/>

Методическое пособие 11 класса

<https://www.litres.ru/aleksandr-grachev-8802582/fizika-11-klass-proektirovanie-uchebnogo-kursa-metodicheskoe-posobie-24436792/>