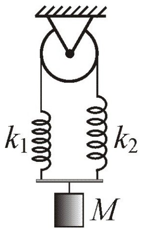
Решения заключительного этапа Олимпиады школьников «Ломоносов» по ФИЗИКЕ
10 - 11 класс

Вариант 1

1.10.1. Сформулируйте закон Гука. Чему равна потенциальная энергия упруго деформированной пружины?

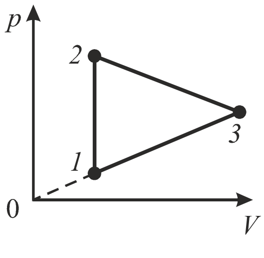


Задача. В устройстве, показанном на рисунке, груз массой $M = 0{,}2$ кг подвешен к середине стержня, а стержень расположен горизонтально. Блок, нить, пружины и стержень невесомы, нить нерастяжима. Коэффициенты жёсткости пружин $k_1 = 30$ Н/м, $k_2 = 20$ Н/м. Стержень смещают вертикально вниз на небольшое расстояние и отпускают. Определите период T возникших после этого малых вертикальных колебаний груза. Считайте, что стержень остаётся в процессе колебаний всё время горизонтальным.

1.10.1. Решение. В положении равновесия сила упругости, возникающая в каждой из пружин, равна $\frac{Mg}{2}$. Поэтому удлинения пружин в положении равновесия $\Delta y_1 = \frac{Mg}{2k_1}$, $\Delta y_2 = \frac{Mg}{2k_2}$, где g – ускорение свободного падения. Пусть в некоторый момент времени горизонтальный стержень опустится на величину y. Из-за нерастяжимости нити верхние концы пружин сместятся при этом в разные стороны – левой пружины на величину Δy вниз, а правой – на столько же вверх (поскольку $k_1 > k_2$). Сила натяжения нити слева и справа одинакова, поэтому $k_1(y - \Delta y + \Delta y_1) = k_2(y + \Delta y + \Delta y_2)$. С учетом полученных выше выражений для Δy_1 и Δy_2 отсюда следует, что $\Delta y = y\frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2}$, а сила упругости, возникающая в каждой из пружин, $F = \frac{2yk_1k_2}{k_1 + k_2} + \frac{Mg}{2}$. По второму закону Ньютона для груза имеем $Ma = Mg - 2F = -4\frac{k_1k_2}{k_1 + k_2}y$, или $\ddot{y} + \frac{4k_1k_2}{M(k_1 + k_2)}y = 0$. Это уравнение описывает гармонические колебания груза относительно положения равновесия с частотой $\omega = 2\sqrt{\frac{k_1k_2}{M(k_1 + k_2)}}$ и периодом $T = \frac{2\pi}{\omega} = \pi\sqrt{\frac{M(k_1 + k_2)}{k_1k_2}}$. **Ответ:** $T = \pi\sqrt{\frac{M(k_1 + k_2)}{k_1k_2}} \approx 0{,}4$ с.

Ответ: $k_2 = \frac{\pi^2 M k_1}{k_1 T^2 - \pi^2 M} \approx 20{,}9$ Н/м.

2.2.1. Сформулируйте определение внутренней энергии термодинамической системы. Укажите способы изменения внутренней энергии.



Задача. На рисунке показана pV-диаграмма циклического процесса, проводимого над $\nu = 1$ молем идеального газа. Температура газа в точке *1* равна $T_1 = 200$ К, а его температуры в точках *2* и *3* одинаковы и равны $T_2 = 800$ К. Продолжение прямой *1 – 3* проходит через начало координат. Определите работу A газа за цикл. Универсальная газовая постоянная $R = 8{,}31$ Дж/(моль·К).

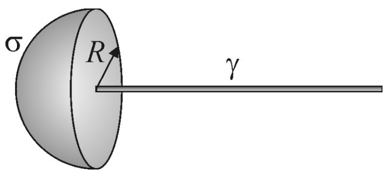
2.2.1. Решение. Пусть p_i и V_i – давление и объём газа в i-ой точке. Работа $A=\frac{1}{2}(p_2-p_1)(V_3-V_1)$.

Так как $p_2V_1=p_3V_3=\nu RT_2$, $\frac{p_1}{V_1}=\frac{p_3}{V_3}=\frac{p_1V_1}{V_1^2}=\frac{p_3V_3}{V_3^2}=\frac{\nu RT_1}{V_1^2}=\frac{\nu RT_2}{V_3^2}$, то справедливы равенства $\frac{V_3}{V_1}=\sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$, $p_2V_3=\nu RT_2\sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$, $p_1V_3=\nu R\sqrt{T_1T_2}$. Отсюда $A=\frac{1}{2}\nu R(T_2-T_1)\cdot\left(\sqrt{\frac{T_2}{T_1}}-1\right)$.

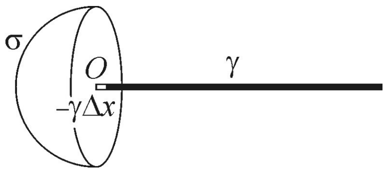
Ответ: $A=\frac{1}{2}\nu R(T_2-T_1)\cdot\left(\sqrt{\frac{T_2}{T_1}}-1\right)\approx 2{,}46$ кДж.

3.4.1. Как определяется потенциал электростатического поля? Чему равен потенциал поля точечного заряда?

Задача. Найдите силу F взаимодействия непроводящей равномерно заряженной полусферы радиуса $R=10$ см с бесконечно длинным равномерно заряженным тонким стержнем. Один конец стержня расположен в центре полусферы, а стержень направлен вдоль оси симметрии полусферы, как показано на рисунке. Поверхностная плотность зарядов на полусфере $\sigma=10^{-6}$ Кл/м^2, линейная плотность зарядов на стержне $\gamma=10^{-6}$ Кл/м, электрическая постоянная $\varepsilon_0=8{,}85\cdot10^{-12}$ Ф/м.

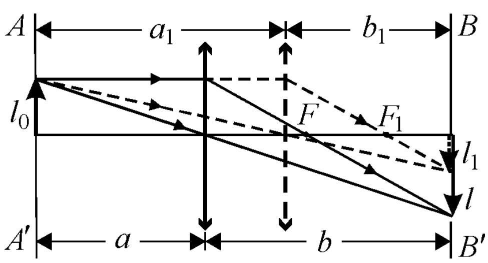


3.4.1. Решение. Потенциал точки, находящейся на расстоянии r от точечного заряда q, относительно бесконечно удалённой от него точки равен $\varphi=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$. Поскольку все точки поверхности полусферы находятся на одинаковом расстоянии R от ее центра, и полусфера заряжена равномерно, потенциал точки O, расположенной в центре полусферы, равен $\varphi_O=\frac{\sigma S}{4\pi\varepsilon_0 R}$, где $S=2\pi R^2$ − площадь полусферы.



Таким образом, $\varphi_O=\frac{\sigma R}{2\varepsilon_0}$. Переместим стержень вдоль оси на небольшое расстояние Δx. Так как стержень бесконечно длинный, это эквивалентно тому, что мы поместим на конец стержня, обращенный к полусфере, заряд $-\gamma\Delta x$. Энергия взаимодействия этого заряда с полусферой равна $\Delta W=-\gamma\Delta x\cdot\varphi_O$. Эта величина равна изменению энергии системы «полусфера − стержень». С другой стороны, изменение энергии системы равно работе силы взаимодействия полусферы со стержнем при перемещении стержня на расстояние Δx, т.е. $\Delta W=-F\Delta x$. Окончательно получаем $F=\frac{\gamma\sigma R}{2\varepsilon_0}$. **Ответ:** $F=\frac{\gamma\sigma R}{2\varepsilon_0}\approx 5{,}6\cdot10^{-3}$ Н.

4.3.1. Сформулируйте законы преломления света. Что такое абсолютный и относительный показатели преломления?



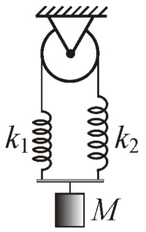
Задача. На столе стоит горящая свеча. Школьник с помощью тонкой собирающей линзы получил на стене резкое изображение пламени свечи и обнаружил, что, переместив линзу к стене на расстояние $\Delta l=0{,}3$ м, можно получить на стене еще одно резкое изображение пламени. Определите фокусное расстояние линзы f. Расстояние от горящей свечи до стены $L=0{,}9$ м.

4.3.1. Решение. При фиксированном расстоянии между свечой и стеной, превышающем $4f$, существуют два положения линзы, при которых она дает на стене резкое изображение пламени. Это следует из того, что формула тонкой линзы $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$, связывающая расстояние от предмета до линзы a, расстояние от линзы до изображения b и фокусное расстояние линзы f, симметрична относительно a и b: при замене $a_1=b$, $b_1=a$ эта формула остается справедливой. Построение изображения пламени свечи показано на рисунке, где упомянутые положения линзы изображены сплошной и штриховой линиями, а через AA' и BB' обозначены плоскости объекта и изображения, соответственно. Видно, что когда линза занимает ближнее к пламени положение, то она дает увеличенное изображение (сплошные линии), а если дальнее от пламени, то уменьшенное изображение (штриховые линии). Кроме того, справедливы соотношения $a+b=L$, $a-b=\Delta l$. Решая записанную систему уравнений, находим, что $f=\frac{L^2-\Delta l^2}{4L}$. **Ответ:** $f=\frac{L^2-\Delta l^2}{4L}=0{,}2$ м.

Вариант 2

1.10.2. Чему равна кинетическая энергия материальной точки и системы материальных точек? Как связаны приращение кинетической энергии тела и работа приложенных к телу сил?

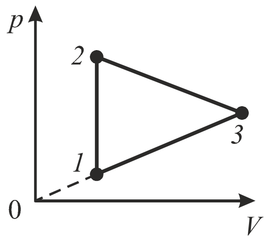
Задача. Устройство, показанное на рисунке, состоит из двух легких пружин с коэффициентами жесткости k_1 = 30 Н/м и k_2 = 20 Н/м, верхние концы которых привязаны к невесомой нерастяжимой нити, перекинутой через невесомый блок. Нижние концы пружин прикреплены к несомому стержню, к середине которого подвешен груз, причем стержень расположен горизонтально. Стержень сместили параллельно самому вниз на небольшое расстояние и отпустили, в результате чего возникли малые вертикальные колебания груза с периодом T = 0,4 с. Определите массу груза M. Считайте, что стержень остаётся в процессе колебаний всё время горизонтальным.



1.10.2. Решение. В положении равновесия сила упругости, возникающая в каждой из пружин, равна $\frac{Mg}{2}$. Поэтому удлинения пружин в положении равновесия $\Delta y_1=\frac{Mg}{2k_1}$, $\Delta y_2=\frac{Mg}{2k_2}$, где g – ускорение свободного падения. Пусть в некоторый момент времени горизонтальный стержень опустится на величину y. Из-за нерастяжимости нити верхние концы пружин сместятся при этом в разные стороны – левой пружины на величину Δy вниз, а правой – на столько же вверх (поскольку $k_1 > k_2$). Сила натяжения нити слева и справа одинакова, поэтому $k_1(y-\Delta y+\Delta y_1)=k_2(y+\Delta y+\Delta y_2)$. С учетом полученных выше выражений для Δy_1 и Δy_2 отсюда следует, что $\Delta y=y\frac{k_1-k_2}{k_1+k_2}$, а сила упругости, возникающая в каждой из пружин, $F=\frac{2yk_1k_2}{k_1+k_2}+\frac{Mg}{2}$. По второму закону Ньютона для груза имеем $Ma=Mg-2F=-4\frac{k_1k_2}{k_1+k_2}y$, или $\ddot{y}+\frac{4k_1k_2}{M(k_1+k_2)}y=0$. Это уравнение описывает гармонические колебания груза относительно положения равновесия с частотой $\omega=2\sqrt{\frac{k_1k_2}{M(k_1+k_2)}}$ и периодом $T=\frac{2\pi}{\omega}=\pi\sqrt{\frac{M(k_1+k_2)}{k_1k_2}}$. Отсюда получаем, что $M=\frac{T^2k_1k_2}{\pi^2(k_1+k_2)}$.

Ответ: $M=\frac{T^2k_1k_2}{\pi^2(k_1+k_2)}\approx 195$ г.

2.2.2. Дайте определение идеального газа. Запишите уравнение состояния идеального газа, указав смысл входящих в это уравнение величин.



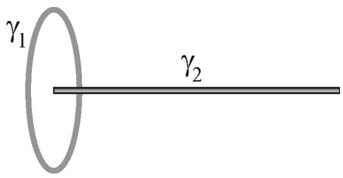
Задача. Рабочим телом теплового двигателя является $\nu = 1$ моль идеального газа. В двигателе проводится циклический процесс, pV-диаграмма которого изображена на рисунке. В точках *2* и *3* температура газа равна $T_2 = 900$ К, объём V_3 газа в точке *3* в $n = 3$ раза превышает его объём V_1 в точке *1*, а продолжение прямой *1 – 3* проходит через начало координат Определите работу A двигателя за цикл. Универсальная газовая постоянная R = 8,31 Дж/(моль·К).

2.2.2. Решение. Пусть p_i и V_i – давление и объём газа в i-ой точке. Работа $A = \frac{1}{2}(p_2 - p_1)(V_3 - V_1)$.

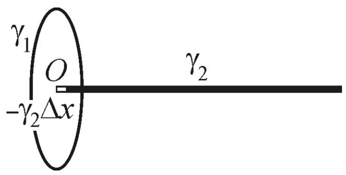
Так как $p_2V_1 = p_3V_3 = \nu RT_2$, $\frac{p_1}{V_1} = \frac{p_3}{V_3} = \frac{p_1V_1}{V_1^2} = \frac{p_3V_3}{V_3^2} = \frac{\nu RT_1}{V_1^2} = \frac{\nu RT_2}{V_3^2}$, то справедливы равенства $\frac{T_1}{T_2} = \frac{V_1^2}{V_3^2} = \frac{1}{n^2}$, $p_2V_3 = \nu RT_2\sqrt{\frac{T_2}{T_1}} = n\nu RT_2$, $p_1V_3 = \nu R\sqrt{T_1T_2} = \frac{\nu RT_2}{n}$. Поэтому искомая работа равна $A = \frac{1}{2}\nu RT_2\left(n - 1 - \frac{1}{n} + \frac{1}{n^2}\right)$. **Ответ:** $A = \frac{\nu RT_2}{2n^2}(n^3 - n^2 - n + 1) \approx 6{,}65$ кДж.

3.4.2. Что такое напряженность электрического поля? Чему равна напряженность электростатического поля точечного заряда?

Задача. Найдите силу F взаимодействия тонкого непроводящего равномерно заряженного кольца с бесконечно длинным равномерно заряженным тонким стержнем. Один конец стержня расположен в центре кольца, а стержень направлен вдоль оси кольца, как показано на рисунке. Линейная плотность зарядов на кольце $\gamma_1 = 2\cdot10^{-6}$ Кл/м, линейная плотность зарядов на стержне $\gamma_2 = 10^{-6}$ Кл/м, электрическая постоянная $\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-12}$ Ф/м.



3.4.2. Решение. Потенциал точки, находящейся на расстоянии r от точечного заряда q, относительно бесконечно удалённой от него точки равен $\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$. Поскольку все точки кольца находятся на одинаковом расстоянии R от его центра, и кольцо заряжено равномерно, потенциал точки O, расположенной в центре кольца, равен $\varphi_O = \frac{\gamma_1 L}{4\pi\varepsilon_0 R}$, где $L = 2\pi R$ – периметр кольца. Таким образом, $\varphi_O = \frac{\gamma_1}{2\varepsilon_0}$. Переместим стержень вдоль оси на небольшое расстояние Δx. Так как стержень бесконечно длинный, это эквивалентно тому, что мы поместим на конец стержня, обращенный к кольцу, заряд $-\gamma_2\Delta x$. Энергия взаимодействия этого заряда с кольцом равна $\Delta W = -\gamma_2\Delta x\cdot\varphi_O$. Эта величина равна изменению энергии системы «кольцо – стержень». С другой стороны, изменение энергии системы равно работе силы взаимодействия кольца со стержнем при перемещении стержня на расстояние Δx, т.е. $\Delta W = -F\Delta x$. Окончательно получаем $F = \frac{\gamma_1\gamma_2}{2\varepsilon_0}$.

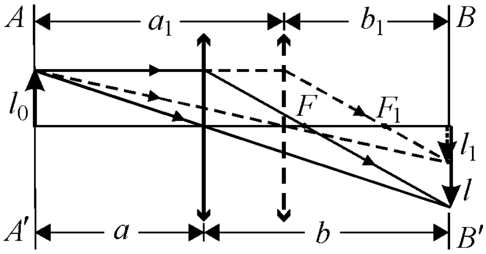


Ответ: $F = \frac{\gamma_1\gamma_2}{2\varepsilon_0} \approx 1{,}1\cdot10^{-1}$ Н.

4.3.2. Какие линзы называют тонкими? Дайте определения фокусного расстояния и оптической силы тонкой линзы.

Задача. Любознательный школьник с помощью тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием $f = 9$ см рассматривал изображение пламени свечи на стене. Оказалось, что, изменяя расстояние между линзой и стеной, можно получить на стене резкое изображение пламени свечи при двух разных положениях линзы. На какую величину Δl отличались друг от друга соответствующие расстояния от линзы до стены? Расстояние от горящей свечи до стены $L = 1$ м.

4.3.2. Решение. При фиксированном расстоянии между свечой и стеной, превышающем $4f$,

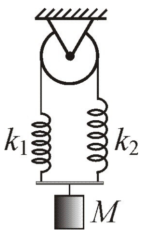


существуют два положения линзы, при которых она дает на стене резкое изображение пламени. Это следует из того, что формула тонкой линзы $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$, связывающая расстояние от предмета до линзы a, расстояние от линзы до изображения b и фокусное расстояние линзы f, симметрична относительно a и b: при замене $a_1 = b$, $b_1 = a$ эта формула остается справедливой. Построение изображения пламени свечи показано на рисунке, где упомянутые положения линзы изображены сплошной и штриховой линиями, а через AA' и BB' обозначены плоскости объекта и изображения, соответственно. Видно, что когда линза занимает ближнее к пламени положение, то она дает увеличенное изображение (сплошные линии), а если дальнее от пламени, то уменьшенное изображение (штриховые линии). Кроме того, справедливы соотношения $a+b=L$, $a-b=\Delta l$. Решая записанную систему уравнений, находим, что $\Delta l = \sqrt{L^2-4Lf}$. **Ответ:** $\Delta l = \sqrt{L^2-4Lf} = 0{,}8$ м.

Вариант 3

1.10.3. Какие колебания называют гармоническими? Что такое амплитуда, период и фаза гармонических колебаний?

Задача. Для исследования механических колебаний школьник собрал установку, изображенную



на рисунке. Он взял две легких пружины с разной жесткостью, верхние концы которых привязал к невесомой нерастяжимой нити, перекинутой через невесомый блок. Нижние концы пружин он прикрепил к несомому стержню, к середине которого подвесил груз массой $M = 0{,}2$ кг, а стержень расположил горизонтально. Затем он сместил стержень параллельно самому вниз на небольшое расстояние и отпустил, в результате чего возникли малые вертикальные колебания груза с периодом $T = 0{,}4$ с, а стержень оставался в процессе колебаний всё время горизонтальным. Зная, что коэффициент жёсткости одной из пружин $k_1 = 30$ Н/м, школьник смог определить коэффициент жёсткости k_2 второй пружины. Какой ответ получил школьник?

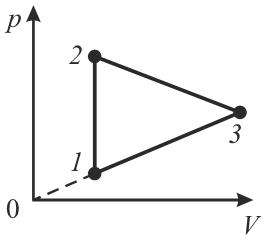
1.10.3. Решение. В положении равновесия сила упругости, возникающая в каждой из пружин, равна $\frac{Mg}{2}$. Поэтому удлинения пружин в положении равновесия $\Delta y_1 = \frac{Mg}{2k_1}$, $\Delta y_2 = \frac{Mg}{2k_2}$, где g – ускорение свободного падения. Будем считать, что $k_1 > k_2$. Пусть в некоторый момент времени горизонтальный стержень опустится на величину y. Из-за нерастяжимости нити верхние концы пружин сместятся при этом в разные стороны – левой пружины на величину Δy вниз, а правой – на столько же вверх. Сила натяжения нити слева и справа одинакова, поэтому $k_1(y-\Delta y+\Delta y_1) = k_2(y+\Delta y+\Delta y_2)$. С учетом полученных выше выражений для Δy_1 и Δy_2 отсюда следует, что $\Delta y = y\frac{k_1-k_2}{k_1+k_2}$, а сила упругости, возникающая в каждой из пружин, $F = \frac{2yk_1k_2}{k_1+k_2}+\frac{Mg}{2}$.

По второму закону Ньютона для груза имеем $Ma = Mg - 2F = -4\frac{k_1k_2}{k_1+k_2}y$, или $\ddot{y}+\frac{4k_1k_2}{M(k_1+k_2)}y = 0$

. Это уравнение описывает гармонические колебания груза относительно положения равновесия с частотой $\omega = 2\sqrt{\dfrac{k_1 k_2}{M(k_1+k_2)}}$ и периодом $T = \dfrac{2\pi}{\omega} = \pi\sqrt{\dfrac{M(k_1+k_2)}{k_1 k_2}}$. Отсюда $k_2 = \dfrac{\pi^2 M k_1}{k_1 T^2 - \pi^2 M}$.

Ответ: $k_2 = \dfrac{\pi^2 M k_1}{k_1 T^2 - \pi^2 M} \approx 20{,}9$ **Н/м.**

2.2.3. Сформулируйте первый закон термодинамики. Запишите формулы для теплоемкости идеального одноатомного газа в изохорном и изобарном процессах.

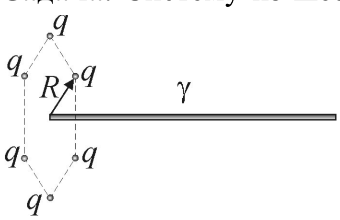


Задача. Над $\nu = 1$ молем идеального газа проводят циклический процесс, pV-диаграмма которого показана на рисунке. Температуры газа в точках *2* и *3* одинаковы и равны $T_2 = 400$ К, а отношение давлений $p_2/p_1 = n = 4$. Продолжение прямой *1 – 3* проходит через начало координат. Определите работу A газа за цикл. Универсальная газовая постоянная $R = 8{,}31$ Дж/(моль·К).

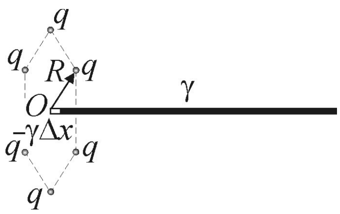
2.2.3. Решение. Пусть p_i и V_i – давление и объём газа в i-ой точке. Работа $A = \dfrac{1}{2}(p_2 - p_1)(V_3 - V_1)$ **. Так как** $p_2 V_1 = p_3 V_3 = \nu R T_2$, $\dfrac{p_1}{V_1} = \dfrac{p_3}{V_3} = \dfrac{p_1 V_1}{V_1^2} = \dfrac{p_3 V_3}{V_3^2} = \dfrac{\nu R T_1}{V_1^2} = \dfrac{\nu R T_2}{V_3^2}$, **то справедливы равенства** $\dfrac{T_2}{T_1} = \dfrac{p_2}{p_1} = n$, $p_2 V_3 = \nu R T_2 \sqrt{\dfrac{T_2}{T_1}} = \sqrt{n}\,\nu R T_2$, $p_1 V_3 = \nu R\sqrt{T_1 T_2} = \dfrac{\nu R T_2}{\sqrt{n}}$ **. Поэтому искомая работа равна** $A = \dfrac{1}{2}\nu R T_2\left(\sqrt{n} - \dfrac{1}{\sqrt{n}} - 1 + \dfrac{1}{n}\right)$. **Ответ:** $A = \dfrac{\nu R T_2}{2n}\left(n\sqrt{n} - \sqrt{n} - n + 1\right) \approx 1{,}25$ **кДж.**

3.4.3. Сформулируйте закон Кулона. Приведите формулировку принципа суперпозиции электрических полей.

Задача. Систему из шести одинаковых зарядов $q = 10^{-8}$ Кл удерживают в вершинах правильного шестиугольника со стороной $R = 10$ см. Найдите силу F взаимодействия этих зарядов с бесконечно длинным равномерно заряженным тонким стержнем. Один конец стержня расположен в центре шестиугольника, а стержень направлен перпендикулярно плоскости шестиугольника, как показано на рисунке. Линейная плотность зарядов на стержне $\gamma = 10^{-6}$ Кл/м, электрическая постоянная $\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-12}$ Ф/м.



3.4.3. Решение. Потенциал точки, находящейся на расстоянии r от точечного заряда q, относительно бесконечно удалённой от него точки равен $\varphi = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$.



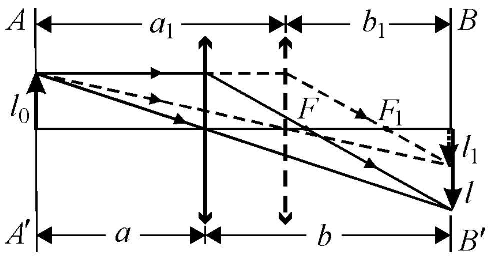
Поскольку все заряды находятся на одинаковом расстоянии R от центра шестиугольника, потенциал точки O, расположенной в центре шестиугольника, равен $\varphi_O = \dfrac{6q}{4\pi\varepsilon_0 R}$. Таким образом, $\varphi_O = \dfrac{3q}{2\pi\varepsilon_0 R}$.

Переместим стержень вдоль оси на небольшое расстояние Δx. Так как стержень бесконечно длинный, это эквивалентно тому, что мы поместим на конец стержня, обращенный к шестиугольнику, заряд $-\gamma\Delta x$. Энергия взаимодействия этого заряда с шестью зарядами q равна $\Delta W = -\gamma\Delta x\cdot\varphi_O$. Эта величина равна изменению энергии системы «6 зарядов − стержень». С другой стороны, изменение энергии системы равно работе силы взаимодействия зарядов со стержнем при перемещении стержня на расстояние Δx, т.е. $\Delta W = -F\Delta x$. Окончательно получаем $F = \dfrac{3\gamma q}{2\pi\varepsilon_0 R}$. Ответ: $F = \dfrac{3\gamma q}{2\pi\varepsilon_0 R} \approx 5{,}4\cdot10^{-3}$ Н.

4.3.3. Запишите формулу тонкой линзы и укажите смысл входящих в эту формулу величин. Как определяется увеличение, даваемое линзой?

Задача. На столе стоит горящая свеча. Любознательный школьник с помощью тонкой собирающей линзы получил на стене резкое изображение пламени свечи и обнаружил, что, переместив линзу к стене на расстояние $\Delta l = 0{,}3$ м, ему удалось получить на стене еще одно резкое изображение пламени. При этом первое изображение оказалось в $n = 4$ раза больше второго. Определите фокусное расстояние линзы f.

4.3.3. Решение. При фиксированном расстоянии между свечой и стеной, превышающем $4f$, существуют два положения линзы, при которых она дает на экране изображение предмета. Это следует из того, что формула тонкой линзы $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$, связывающая расстояние от предмета до линзы a, расстояние от линзы до изображения b и фокусное расстояние линзы f, симметрична относительно a и b: при замене $a_1 = b$, $b_1 = a$ эта формула остается справедливой. Построение изображения пламени свечи показано на рисунке, где упомянутые положения линзы изображены сплошной и штриховой линиями, а через AA' и BB' обозначены плоскости объекта и изображения, соответственно. Видно, что когда линза занимает ближнее к пламени положение, то она дает увеличенное изображение (сплошные линии), а если дальнее от пламени, то уменьшенное изображение (штриховые линии). Имеем: $\frac{l}{l_0}=\frac{b}{a}$, $\frac{l_1}{l_0}=\frac{b_1}{a_1}=\frac{a}{b}$. Из этих соотношений следует, что $n=\frac{l}{l_1}=\frac{b^2}{a^2}$. Из системы уравнений $b-a=\Delta l$, $b=a\sqrt{n}$ находим, что $a=\frac{\Delta l}{\sqrt{n}-1}$, $b=\frac{\Delta l\sqrt{n}}{\sqrt{n}-1}$. По формуле линзы $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$, откуда $f=\frac{ab}{a+b}$.



Ответ: $f=\frac{\Delta l\sqrt{n}}{n-1}=20$ **см.**

Критерии оценки

Теоретические вопросы (каждый вопрос оценивается максимально в 10 баллов)

1. Ответ по существу обеих частей вопроса полностью отсутствует – **0 баллов**.
2. Ответ является неполным (дан ответ только на одну часть вопроса) – **1 – 5 баллов**.
3. Ответ является неполным (даны формально ответы на обе части вопроса, но отсутствуют или не полностью приведены необходимые пояснения) – **6 – 9 баллов**
4. Ответ является полным (содержит по обеим частям вопроса необходимые физические понятия и величины с пояснением их смысла) – **10 баллов**.

Задачи (каждая задача оценивается максимально в 15 баллов)

1. Задача вовсе не решалась – **0 баллов**.
2. Задача не решена, но сделан поясняющий рисунок (если требуется), частично сформулированы необходимые физические законы – **1 – 5 баллов**.
3. Задача не решена, но правильно сформулированы физические законы и правильно записаны основные уравнения, необходимые для решения задачи – **6 – 10 баллов**.
4. Задача решена, но допущены незначительные погрешности – **11-14 баллов**.
5. Задача решена полностью и получен правильный ответ – **15 баллов**.

Максимальное количество баллов за полностью выполненное задание - 100.