



**В этом сборнике приведены примеры задач,
которые использовались на занятиях по физике**

Летней многопредметной школы

Лицея «Вторая школа» в 2022 году

Часть 1

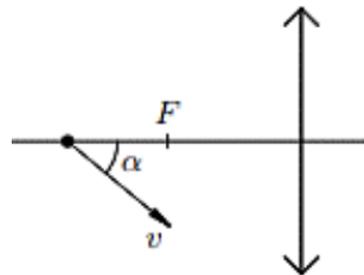
8–9 классы



Вступительная олимпиада ЛМШ-2022 8-9 классов (2 варианта)

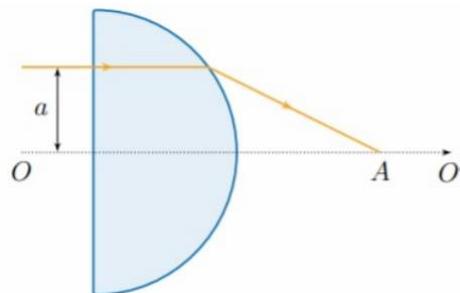
1. а) Тонкая линза создаёт прямое изображение предмета с увеличением 0,25. Во сколько раз расстояние между предметом и изображением больше фокусного расстояния линзы?
б) Тонкая линза создаёт прямое увеличенное изображение предмета, причём расстояние между предметом и изображением в два раза меньше фокусного расстояния линзы. Найдите увеличение.

2. Фокусное расстояние собирающей линзы равно F . Муха в некоторый момент пересекает главную оптическую ось линзы на расстоянии от линзы $7F/5$, двигаясь со скоростью v под углом α ($\operatorname{tg} \alpha = 4/3$) к оси линзы (см. рис).



- 1) На каком расстоянии от линзы находится изображение мухи в этот момент?
2) Под каким углом изображение мухи пересекает главную оптическую ось?
3) Найдите скорость изображения мухи в этот момент.
3. Тонкая линза создаёт изображение предмета, расположенного перпендикулярно главной оптической оси, с увеличением $\varphi = 4$. Предмет перемещают (не трогая линзу) вдоль главной оптической оси и получают изображение с тем же увеличением. При этом предмет остаётся по одну сторону линзы.
- 1) Линза собирающая или рассеивающая? Ответ поясните.
2) Найти отношение перемещения предмета к фокусному расстоянию линзы.

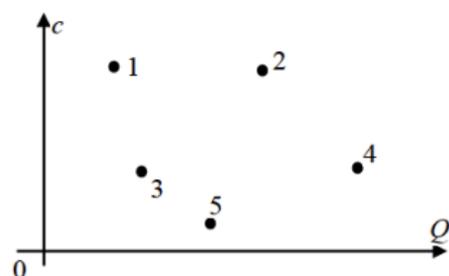
4. Тонкий пучок лучей света падает перпендикулярно на плоскую поверхность половины оптически прозрачного шара (см. рисунок). Радиус шара R , расстояние от луча до оси OO' , проходящей через центр шара O , равно $a = 0,6R$, показатель преломления материала шара $4/3$. Найти расстояние от точки O до точки A пересечения луча, преломлённого на сферической поверхности, с осью OO' .



5. При нагревании на плите кастрюли с водой температура воды увеличилась от 90°C до 92°C за 1 мин. Какая доля энергии, получаемой водой, рассеивается в окружающем пространстве, если время остывания той же воды от 92°C до 90°C равно 9,0 мин?
6. В лаборатории провели измерения удельной теплоемкости пяти твёрдых тел, имеющих одинаковую массу. Изменений агрегатного состояния вещества в процессе эксперимента не происходило. Результаты измерений нанесли на график, по одной оси которого откладывалась удельная теплоемкость c , а по другой — количество теплоты Q , подведённой к телам при их нагревании. К сожалению, масштаб по осям со временем был утрачен. Определите:

- 1) какому телу было передано больше всего теплоты?
2) у какого тела изменение температуры оказалось самым большим, а у какого — самым маленьким?
3) у каких тел изменения температуры оказались одинаковыми?

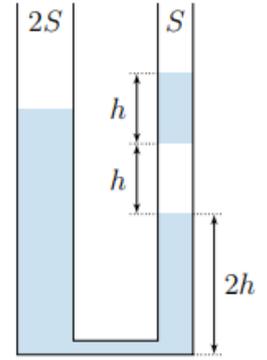
Примечание! Применять свои линейки для нанесения на график масштаба нельзя.





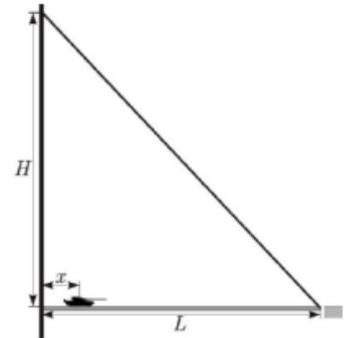
1. Бульк.

Экспериментатор Глюк, проводя опыт, налил воду в сообщающиеся сосуды с сечениями $S = 10 \text{ мм}^2$ и $2S$ (см. рисунок). Но в узкий сосуд попал воздушный пузырек, высота которого $h = 4,0 \text{ см}$ оказалась равна высоте находящегося над ним столбика воды и вдвое меньше высоты столбика воды снизу. Для того, чтобы удалить пузырек из сосуда, Глюк стал добавлять в узкое колено воду до тех пор, пока пузырек не достиг соединительной трубки и не «пробулькнул» через широкий сосуд. На сколько по отношению к первоначальному изменился уровень воды в широком сосуде после удаления пузырька? Объем пузырька практически не менялся при доливании воды.



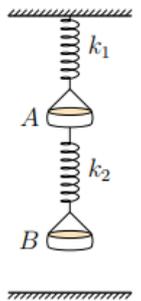
2. Искринский мост

Танк массой $m = 50 \text{ т}$ выезжает по откидному мосту из базы Искра (см. рисунок). Мост представляет собой однородную балку длиной $L = 60 \text{ м}$ и массой $M = 60 \text{ т}$. Правый конец моста удерживается в горизонтальном положении двумя наклонными тросами так, как показано на рисунке. Расстояние от моста до верхней точки крепления тросов $H = 80 \text{ м}$. Постройте график зависимости модуля силы натяжения T одного троса от положения x танка на мосту.



3. Ниже некуда

К потолку прикреплена конструкция, состоящая из двух пружин и двух маленьких чашек А и В. Расстояние от пола до потолка равно 2 м. Жесткости пружин равны $k_1 = 15 \text{ Н/м}$ и $k_2 = 30 \text{ Н/м}$. Длины нерастянутых пружин одинаковы и равны $l = 30 \text{ см}$. Масса чашки А равна $m = 100 \text{ г}$, чашка В невесома. Груз какой массы надо положить в чашку А, чтобы чашка В достала до пола? Какой груз надо положить в чашку В, чтобы она достала до пола (чашка А при этом пуста)?

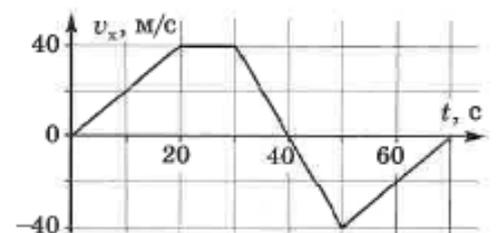


4. Джони, не стреляй в себя!

На учебных стрельбах поставлена задача: в минимальное время поразить снаряд, выпущенный вертикально вверх со скоростью $v_1 = 1000 \text{ м/с}$, вторым снарядом, скорость которого на 10% меньше. Через сколько секунд, после первого выстрела, следует сделать второй выстрел, если стрелять из того же места?

5. Незнайка на волне графика

Во время путешествия на Луну Незнайка решил покататься на луноходе. Он повернул какую-то ручку и нажал на педаль. Машина дернулась и стала медленно набирать ход. Тогда Незнайка начал дергать другие ручки. В результате скорость лунохода изменялась так, как показано на графике. Нарисуйте график зависимости ускорения a и координаты x лунохода от времени. Найдите путь S , пройденный луноходом, считая, что он двигался только вдоль оси x . Начальная координата $x = 0$.



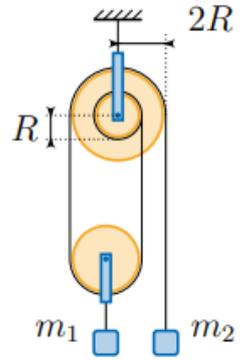


6. Новые приключения красной шапочки

Вася и Петя спускались вниз на эскалаторе. Когда они проехали половину спуска, Вася, неудачно пошутив, сорвал с Пети шапку и бросил ее на встречный эскалатор. Петя побежал вверх по эскалатору за шапкой, а Вася побежал вниз, чтобы потом подняться вверх по встречному эскалатору и опередить Петю. Кто первый добежит до шапки, если скорости обоих мальчиков относительно эскалатора одинаковы, постоянны и не зависят от направления движения?

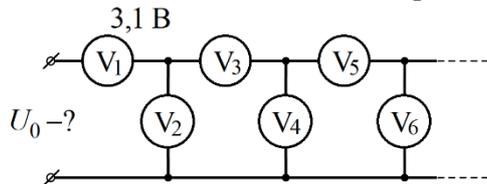
7. Такое разное натяжение

К системе, состоящей из подвижного блока, блока с неподвижной осью и двумя скрепленными шкивами подвесили два груза с массами m_1 и m_2 . На шкиве меньшего радиуса нить намотана в несколько витков, и её конец закреплен. Радиусы скрепленных шкивов относятся как 2:1. Определите отношение масс грузов $m_1 : m_2$, если система находится в равновесии.



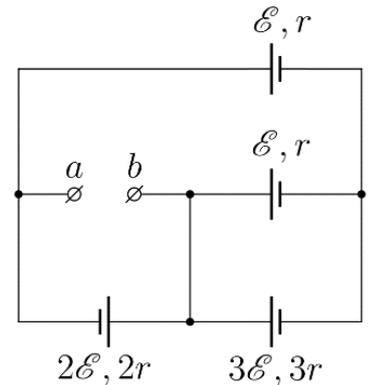
8. Бесконечность не предел!

Бесконечную цепь, собранную из одинаковых вольтметров, подключили к идеальному источнику с некоторым неизвестным напряжением U_0 (см. рисунок). Найдите напряжение источника, если показания первого вольтметра V_1 оказались равны 3,1 В.



9. ЭДСнутая задача

Идеальный вольтметр подключили между точками a и b в схеме, изображённой на рисунке (параметры схемы указаны). Определите показания вольтметра.



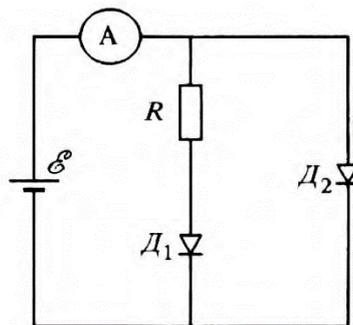
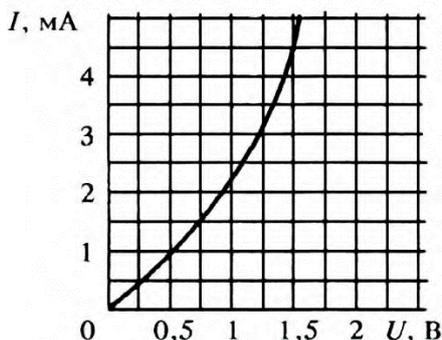
10. ВАХ!

Вольт-амперная характеристика диода в прямом направлении изображена на рисунке слева. Два таких диода D_1 и D_2 включены в схему, изображённую на правом рисунке. ЭДС батареи $\varepsilon = 1,5$ В, сопротивление резистора $R = 500$ Ом.

1) Чему равно напряжение на диоде D_1 ?

2) Что покажет амперметр A ?

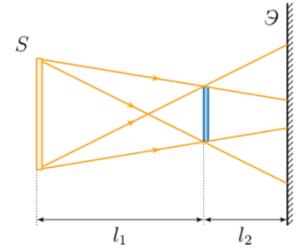
Внутренним сопротивлением батареи и амперметра пренебречь.



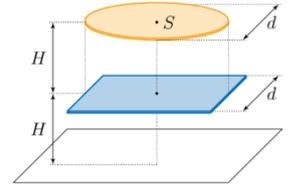


Оптика. Прямолинейное распространение света

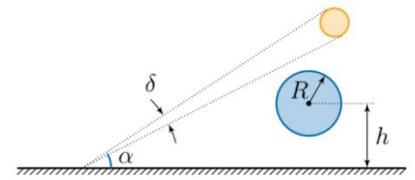
1. Между экраном и источником света в форме диска радиусом $R = 30$ см поместили соосный ему круг из картона радиусом $r = 20$ см (см. рисунок). Найдите расстояние l_1 между источником и кругом, если площадь полутени на экране в три раза больше площади тени, а расстояние от круга до экрана равно $l_2 = 4$ м.



2. Над горизонтальной поверхностью параллельно ей расположен светящийся диск диаметра $d = 2$ м. Между диском и поверхностью помещен соосный диску непрозрачный квадрат со стороной d . Расстояния от диска до квадрата и от квадрата до поверхности равны $H = 3$ м (см. рисунок). Чему равна площадь полной тени на горизонтальной поверхности?

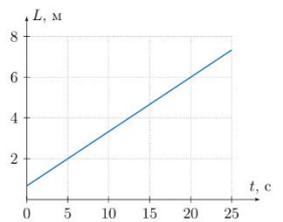


3. На какой минимальной высоте должен лететь воздушный шар радиусом $R = 10$ м, чтобы не создавать полной тени при освещении Солнцем, находящимся в зените? Угловой размер Солнца $\delta = 0,5$. Как изменится ответ, если лучи будут падать под углом 45° к горизонту?

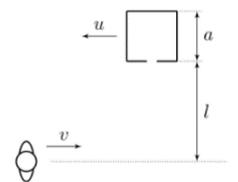


4. Стоящий на освещаемой солнечным светом горизонтальной площадке шест высотой $h = 1,2$ м отбрасывает тень длиной $l = 0,9$ м. Шест начинают медленно наклонять в направлении отбрасываемой им тени так, что его нижний конец не сдвигается с места. Длина тени при этом сначала увеличивается, а потом уменьшается. Чему равна максимальная длина тени от шеста?

5. Человек идет с постоянной скоростью $v = 1,0$ м/с по горизонтальному тротуару от столба, на котором на высоте $H = 8,5$ м висит фонарь. График зависимости длины L его тени от времени t приведен на рисунке. Определите, чему равен рост человека.



6. Вдоль квадратной камеры-обскуры со стороной a на расстоянии l от нее движется человек со скоростью v (см. рис). С какой скоростью движется изображение человека на экране камеры, если сама камера движется во встречном направлении со скоростью u ?



7. Фотографировать тигра с расстояния менее 20 метров опасно. Какой размер должна иметь камера-обскура с отверстием диаметром 1 мм, чтобы тигр на фотографии был полосатым? Расстояние между полосами на шкуре тигра равно 20 см.

8. Полдень. По горизонтальному участку шоссе, ведущему строго на северо-восток, движется фургон. По задней стенке фургона мелькают тени деревьев, находящихся на обочине дороги. Если тень верхушки какого-либо дерева пробегает от одного угла задней стенки по диагонали до другого угла, то на это уходит 0,1 с. Нарисуйте, как движется тень верхушки дерева в этом случае. Как движутся тени других верхушек? Найдите скорость фургона и высоту Солнца над горизонтом (высота Солнца измеряется в градусах). Задняя стенка фургона вертикальна и имеет размеры 2,0 м по вертикали и 2,5 м по горизонтали.

9. Бессмертный Шерлок Холмс идёт вдоль многоэтажного дома по дороге, параллельной одной из его стен. Шерлок не видит солнце, но зато видит его отражение в панельных окнах 15-го этажа, причём пока Холмс сделал 370 шагов, солнце прошло слева направо через 40 окон. Посмотрев на землю, Холмс заметил, что длина его тени равна 2,5 м, причём тень перпендикулярна дороге. Сделав все эти измерения, Холмс повернулся на 90 градусов и по прямой дорожке подошёл к



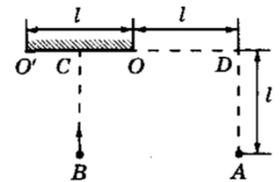
дому – теперь он насчитал 120 шагов. Внутри дома Шерлок измерил высоту от пола до потолка – 3 м и ширину комнаты, единственное окно которой выходит на сторону дороги, где он прогуливался – 5 м. Сделав все необходимые вычисления, Холмс определил толщины стен и межэтажных перекрытий в здании. Вычислите их вслед за сыщиком.

10. Тележка с водой движется по горизонтальной поверхности с постоянным ускорением. На тележку под углом α к вертикали падает луч света, который после отражения распространяется под углом γ к вертикали. Найдите ускорение a тележки. Ускорение свободного падения равно g .

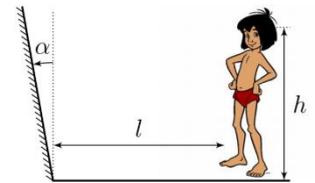
Отражение света

1. Человек, рост которого $h = 1,75$ м находится на расстоянии $l = 6$ м от столба высотой $H = 7$ м. На каком расстоянии от себя человек должен положить на землю горизонтально маленькое плоское зеркало, чтобы видеть в нем изображение верхушки столба?

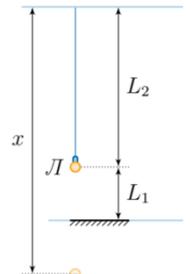
2. Сбоку от зеркала $O'O$ в точке A стоит человек (см.рис). Второй человек приближается к зеркалу по перпендикуляру BC , проходящему через его середину. Размер зеркала $l = 2CO = OD = DA = 1$ м. На каком расстоянии от зеркала будет находиться второй человек в момент, когда оба увидят друг друга в зеркале?



3. На стене, плоскость которой отклонена от вертикали на $\alpha = 7,16^\circ$, закреплено плоское зеркало, как показано на рисунке. С какого максимального расстояния мальчик, рост которого $h = 150$ см, сможет увидеть в зеркале хотя бы часть своего изображения?



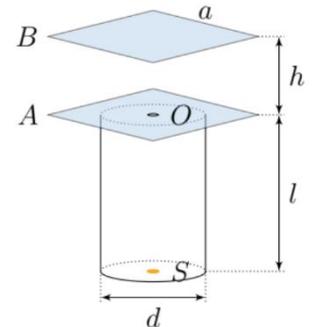
4. Висящая на проводе небольшая лампочка L находится на расстояниях $L_1 = 0,6$ м от поверхности горизонтального стола и $L_2 = 1,8$ м от потолка, как показано на рисунке. На столе лежит осколок плоского зеркала в форме треугольника со сторонами 5 см, 6 см и 7 см.



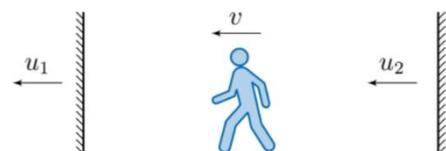
(а) На каком расстоянии x от потолка находится изображение нити накала лампочки?

(б) Определите форму и размеры зайчика, полученного на потолке от осколка.

5. Первые эксперименты по оптике Ньютон проводил с зеркально полированной цилиндрической трубой длиной $l = 8$ см и диаметром $d = 1$ см (см. рисунок). В центре ее нижнего основания он устанавливал точечный источник света S , а верхнее основание закрывал черной шторкой A с маленьким отверстием O посередине. В его экспериментах на высоте $h = 5$ см над шторкой располагался горизонтальный квадратный экран B со стороной $a = 3$ см с центром точно на оси трубы. Изобразите в масштабе 1 : 1 картину, которую видел Ньютон на экране. Что увидел бы Ньютон, если бы поднял шторку на высоту $\Delta l = 2$ см над верхним торцом трубы (не изменяя положение остальных предметов)?



6. Петя идет со скоростью $v = 4$ км/ч между двумя зеркальными стенками, одна из которых движется перед ним в ту же сторону со скоростью $u_1 = 2$ км/ч, а другая движется сзади со скоростью $u_2 = 1$ км/ч, как показано на рисунке. Определите с какой скоростью движутся друг относительно друга первые изображения Пети в зеркалах.

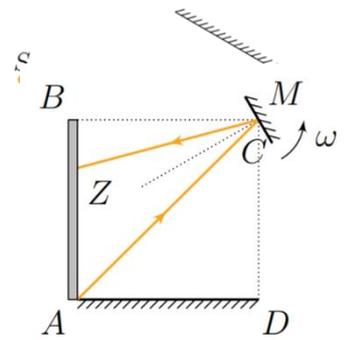


7. Два зеркала, образующие двугранный угол $\varphi = 60^\circ$, приближаются со скоростью v к точечному источнику света S , находящемуся в плоскости,



делящей угол пополам (см.рисунок). Найдите скорости всех изображений источника.

8. Экран АВ и плоское зеркало AD образуют две боковые грани прямоугольного параллелепипеда с квадратным основанием. Вдоль ребра С проходит ось вращения небольшого плоского зеркала М, которое равномерно вращается и совершает один оборот за время $T = 12$ мин. Из небольшого отверстия в ребре А в центр этого зеркала светит луч лазера. Вид сверху на эту систему показан на рисунке. Какое время t лазерный зайчик Z скользя по экрану АВ в течение одного оборота зеркала М?



Преломление света. Часть 1

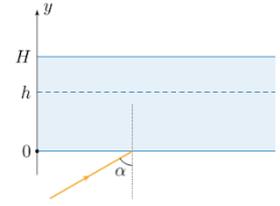
1. Луч света, выходящий из воды ($n_1 = \frac{4}{3}$), падает на ее поверхность под предельным углом полного внутреннего отражения. Выйдет ли луч в воздух, если на поверхность воды вылить слой кедрового масла ($n_k = 1,52$)?
 2. В стекле с показателем преломления $n_1 = 1,5$ имеется сферическая полость радиуса $R = 4,5$ см, заполненная водой. Показатель преломления воды $n_2 = \frac{4}{3}$. На полость падает широкий пучок параллельных световых лучей. Определить радиус r пучка лучей, которые проникают в полость.
 3. Два параллельных луча, расстояние между которыми равно R круглого прямого прозрачного цилиндра, падают на боковую поверхность этого цилиндра. Найти величину показателя преломления n материала этого цилиндра, при которой лучи пересекаются на его поверхности.
-
4. Луч света падает на стеклянный полушар радиуса R на расстоянии a от его оси симметрии параллельно ей. На какой угол α отклонится вышедший после преломления в полушаре луч, если $a = 0,5R, n = 1,414$?
-
5. Световой луч падает на поверхность стеклянного шара. Угол падения $\alpha = 45^\circ$, показатель преломления стекла $n = 1,41$. Найти угол γ между падающим лучом и лучом, вышедшим из шара.
 6. На стеклянный шар радиусом R с показателем преломления n падает узкий пучок света, образуя угол α с осью, проведенную через точку падения и центр шара. На каком расстоянии d от этой оси пучок выйдет из шара?
 7. Снаружи от прозрачного шара вплотную к его поверхности помещен точечный источник света. При каких значениях n показателя преломления материала шара все выходящие из него лучи (за исключением луча, проходящего через центр шара) будут наклонены по направлению к оси, проведенной через источник и центр шара?
 8. Торец круглого прозрачного стержня с показателем преломления n освещается рассеянным светом. Под каким максимальным углом γ к оси стержня будут выходить световые лучи через его боковую поверхность?
 9. Снаружи круглого прозрачного стержня вблизи от центра его торца помещен точечный источник света. Найти ширину l области на боковой поверхности стержня, через которую будут выходить наружу световые лучи. Радиус стержня R , показатель преломления n .



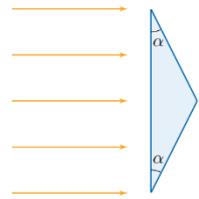
Преломление света. Часть 2

1. На спокойной поверхности водоема появилось мусорное пятно радиуса $R = 5$ м. Определите размер области на дне водоема, куда не попадает свет. Поверхность воды освещается рассеянным светом. Глубина водоема $H = 2,6$ м, показатель преломления воды $n = 4/3$. Отражение от дна не учитывать.

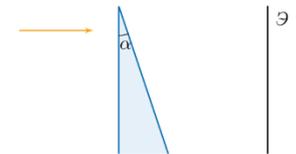
2. Показатель преломления некоторой среды зависит от координаты y следующим образом: при $y < 0$ $n = n_0 = 1,4$; при $0 < y < H$, $n(y) = n_0 - ky$, где $k = 0,2 \text{ м}^{-1}$, а $H = 2$ м; при $y > H$, $n = 1$. На плоскость $y = 0$ падает узкий пучок света под углом $\alpha = 60^\circ$ (см. рисунок). На какую максимальную глубину h в среду сможет проникнуть луч?



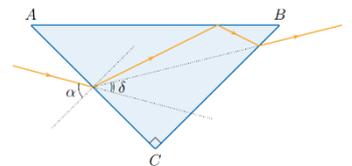
3. Равнобедренная стеклянная призма с малыми углами преломления α помещена в параллельный пучок лучей, падающих нормально к ее основанию. Показатель преломления стекла $n = 1,57$, размер основания призмы $2a = 5$ см. Найдите гол преломления α , если в середине экрана на расстоянии $L = 100$ см от призмы образуется темная полоса шириной $2d = 1$ см.



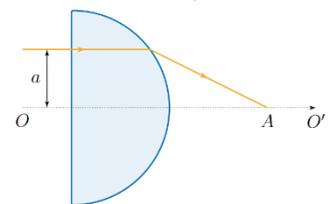
4. На стеклянный клин перпендикулярно Э его грани падает тонкий луч света. Показатель преломления стекла $n = 1,41$, угол при вершине $\alpha = 10^\circ$. Сколько светлых пятен будет видно на экране, поставленном за клином?



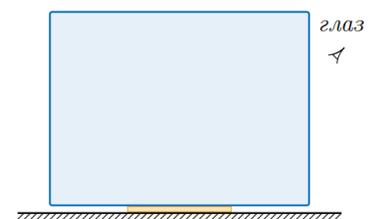
5. Луч падает на грань AC прямоугольной призмы с показателем преломления n под углом α (см. рисунок). Найдите угол отклонения вышедшего из призмы луча, отразившегося от грани AB.



6. Тонкий пучок лучей света падает перпендикулярно на плоскую поверхность оптически прозрачного шара. Радиус шара R , расстояние от луча до оси OO' , проходящей через центр шара O до точки A пересечения луча, преломленного на сферической поверхности, с осью OO' .



7. Над монетой находится стеклянный параллелепипед. При каком показателе преломления стекла монета видна через боковую грань параллелепипеда?



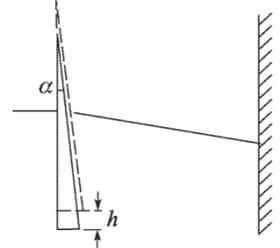
8. Экспериментатор Глюк рассматривает точечный источник света S через стеклянную пятиугольную призму. Известно, что расстояние от источника до передней по отношению к нему грани призмы 80 см, угол $\alpha = 0,1$ рад, продольный размер призмы $d = 30$ см, а ее показатель преломления $n = 1,5$. На каком расстоянии будут все изображения, которые увидит Глюк? Для малых углов $\sin \alpha \approx \text{tg} \alpha \approx \alpha$.





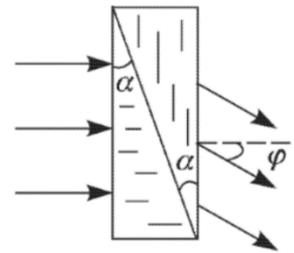
Оптические системы

1. Построить ход луча через плоскопараллельную стеклянную пластину, если угол падения луча $\alpha = 60^\circ$. Каким будет смещение луча относительно первоначального направления после его выхода из пластины в воздух, если толщина пластины $h = 2$ см?
2. На столе лежит лист бумаги. Луч света, падающий на бумагу под углом $\alpha = 45^\circ$, образует на нем светлое пятно. На сколько сместится это пятно, если на бумагу положить стеклянную пластину толщиной $h = 2$ см?

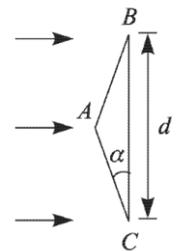


3. Узкий пучок световых лучей падает на стеклянный клин перпендикулярно его передней грани, расположенной вертикально. Пройдя клин, пучок попадает на вертикальный экран. На какое расстояние Δh сместится световое пятно на экране, если сдвинуть клин вверх на расстояние $h = 5$ см? Показатель преломления клина $n = 1,5$, угол при его вершине $\alpha = 5,7^\circ$. При расчетах использовать принцип малости углов.

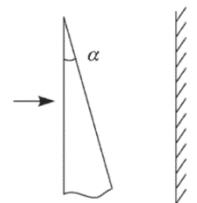
4. Две призмы с равными углами при вершине $\alpha = 5^\circ$, имеющие разные показатели преломления, плотно прижаты друг к другу и расположены, как показано на рисунке. При освещении этой системы призм параллельным пучком света, падающим нормально на переднюю грань системы, оказалось, что вышедший из нее пучок отклонился от первоначального направления на угол $\varphi = 3^\circ$. Найти разность Δn показателей преломления материалов призм. При расчетах использовать принцип малости углов.



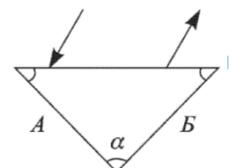
5. На равнобедренную стеклянную призму падает широкий параллельный пучок света, перпендикулярный грани BC , ширина которой $d = 5$ см. На каком расстоянии L от грани BC преломленный призмой свет разделится на два непересекающихся пучка? Показатель преломления стекла $n = 1,5$, угол при основании призмы $\alpha = 5,7^\circ$. При расчетах использовать принцип малости углов.



6. На стеклянный клин перпендикулярно его передней грани падает тонкий луч света. Показатель преломления стекла $n = 1,41$, угол при вершине клина $\alpha = 10^\circ$. Построив ход преломленных и отраженных от граней клина лучей, определить, сколько светлых пятен будет видно на экране, поставленном за клином.



7. Стеклянная призма имеет равные углы при основании. Чему равен угол α при вершине призмы, если известно, что произвольный луч, падающий на ее основание в плоскости чертежа после двукратного отражения от граней A и B призмы выходит параллельно первоначальному направлению?



8. На бипризму, изготовленную из стекла с показателем преломления $n = 1,5$ и имеющую ширину $b = 3$ см, пустили широкий пучок параллельных лучей света. Углы при вершине бипризмы одинаковы и равны $\alpha = 0,05$ рад. За бипризмой образовалось два сходящихся пучка параллельных лучей.

(а) Под каким углом φ будут сходиться лучи? Если за бипризмой установить экран, то на нем можно наблюдать область, освещенную обоими пучками.

(б) На каком расстоянии L_1 от бипризмы нужно установить экран, чтобы область перекрытия



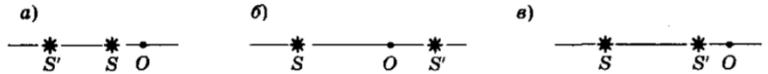
пучка была максимальной ?

(с) На каком максимальном расстоянии L_2 от бипризмы пучки лучей еще будут пересекаться?

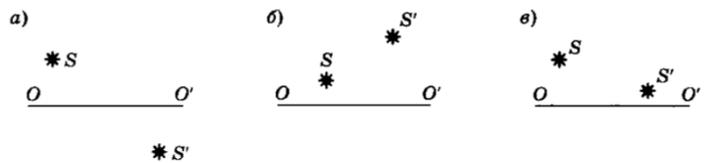
9. В фокусе сферического зеркала прожектора помещен источник света в виде светящегося диска радиусом $r = 1$ см. Найти диаметр D освещенного пятна на стене, расположенной на расстоянии $L = 50$ м от прожектора перпендикулярно главной оптической оси, если фокусное расстояние сферического зеркала $F = 40$ см, а диаметр зеркала $d = 10$ см.

Тонкие линзы 1

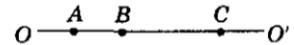
1. Определить графически и аналитически положение фокусов линзы, если известны положения оптического центра O , источника S и его изображения S' (см. рис.): а) $OS = 5$ см, $OS' = 15$ см; б) $OS = 20$ см, $OS' = 10$ см; в) $OS = 20$ см, $OS' = 5$ см. Какая линза используется в каждом случае?



2. На рисунке показаны: OO' – главная оптическая ось линзы. S и S' – светящаяся точка и ее изображение соответственно. Найти построением положение линзы и ее фокусов. Построение пояснить. Какая это линза? Изображение действительное или мнимое?



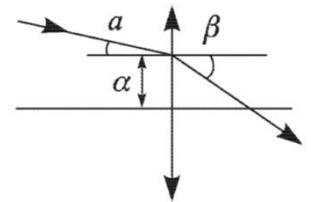
3. Точечный источник света находится на главной оптической оси OO' линзы. Когда он находился в точке A , его изображение было в точке B , а когда его переместили в точку B , изображение попало в точку C . Найти фокусное расстояние линзы, если $AB = 10$ см и $BC = 20$ см.



4. Тонкая линза создает прямое изображение предмета с увеличением 3. Во сколько раз расстояние между предметом и изображением больше фокусного расстояния линзы?

5. Тонкая линза создает прямое увеличенное изображение предмета, причем расстояние между предметом и изображением в два раза меньше фокусного расстояния линзы. Найдите увеличение.

6. На поверхность собирающей линзы с фокусным расстоянием f падает луч света на расстоянии a от главной оптической оси. Под каким углом β к главной оптической оси луч выйдет из линзы?



7. Тонкая линза с фокусным расстоянием $F = 0,4$ м создает на экране увеличенное изображение предмета, который помещен на расстоянии $L = 2,5$ м от экрана. Каково расстояние d от предмета до линзы?

8. С помощью тонкой собирающей линзы на экране, установленном перпендикулярно главной оптической оси, получают изображение светящегося диска. Диаметр изображения в $n = 8$ раз меньше диаметра диска. Когда линзу отодвинули от экрана на $\Delta l = 28$ см, то на экране снова появилось изображение диска. Определить фокусное расстояние линзы.

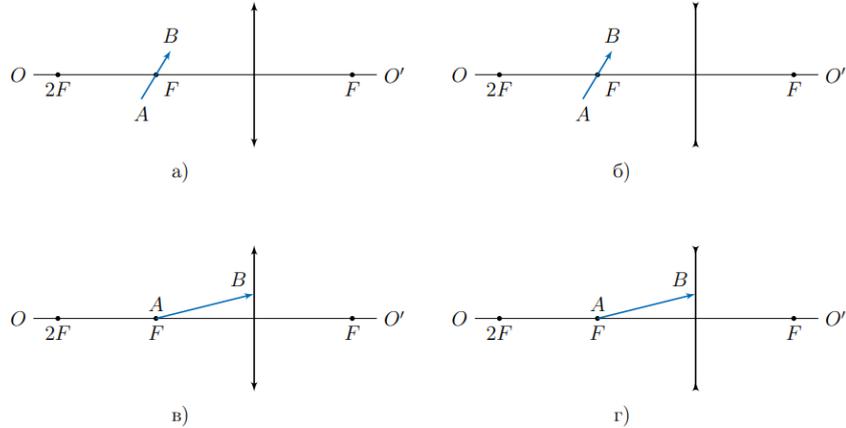
9. Тонкая линза дает на экране изображение предмета с линейным увеличением $m_1 = 2$. Во сколько раз a нужно изменить расстояние между предметом и изображением, чтобы получить на экране изображение предмета с увеличением $m_2 = 3$?

10. Тонкая палочка AB длиной $l = 10$ см расположена параллельно главной оптической оси тонкой собирающей линзы на расстоянии $h = 15$ см от неё (см. рис.). Конец A палочки располагается на расстоянии $a = 40$ см от линзы. Постройте изображение палочки в линзе и определите его длину L . Фокусное расстояние линзы $F = 20$ см.

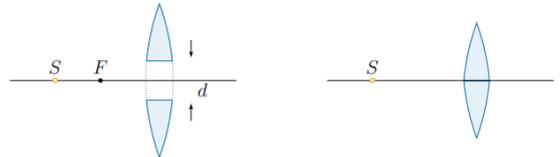


Тонкие линзы 2

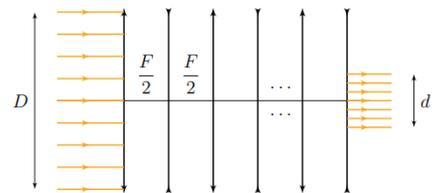
1. Постройте изображение предмета АВ в собирающих/рассеивающих линзах, изображенных на рисунке.



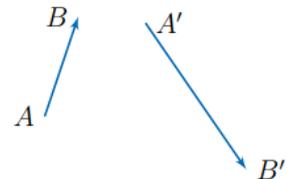
2. На оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 5$ см на расстоянии $l = 10$ см от нее расположен точечный источник света S , как показано на рисунке. Из линзы вдоль диаметра вырезали центральную полосу шириной $d = 1$ см и оставшиеся части сдвинули. Определите расстояние L между изображениями источника.



3. Есть N собирающих линз с фокусным расстоянием F и N рассеивающих линз с фокусным расстоянием $F/2$. Линзы установлены поочередно, так, что расстояние между соседними равно $F/2$ (см. рисунок). Вдоль оси в систему входит параллельный пучок света диаметром D . Найдите диаметр d выходящего пучка.



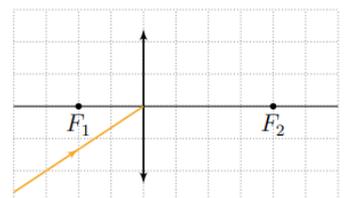
4. На рисунке представлен предмет АВ и его изображение АОВ в линзе. Построением определите положение линзы и ее фокусов.



5. Говорят, что в архиве Снеллиуса нашли чертеж оптической схемы. От времени чернила выцвели, и на чертеже остался виден только луч, идущий через тонкую линзу и две точки А и В пересечения его с передней и задней фокальными плоскостями. При помощи построения восстановите положение линзы и ее фокусы. (Рассмотреть хотя бы один случай)



6. Постройте ход лучей в линзе с отличающимися передним и задним фокусными расстояниями.





7. Условимся считать изображение на пленке фотоаппарата резким, если вместо идеального изображения в виде точки на пленке получается изображение пятна диаметром не более некоторого предельного значения. Поэтому, если объектив находится на фокусном расстоянии от пленки, то резкими считаются не только бесконечно удаленные предметы, но и все предметы, находящиеся дальше некоторого расстояния d . Оцените диаметр входного отверстия объектива D , если при фокусном расстоянии $F = 80$ мм резкими оказались все предметы, находившиеся на расстояниях более $d = 4$ мм от объектива. Предельный размер пятна равен $\delta = 0,2$ мм. Сделайте рисунок, поясняющий образование пятна.

8. На рисунке обозначены образующие параллелограмм два точечных действительных источника света и два их изображения, полученные с помощью тонкой линзы. Построением определите тип линзы, ее положение, положение главной оптической оси и фокусов F .



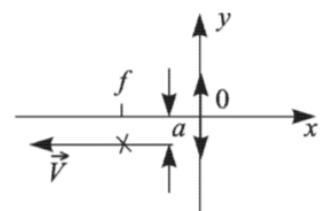
9. Говорят, что в архиве Снеллиуса нашли чертеж оптической схемы, на которой были изображены тонкая собирающая линза, круг и его изображение в линзе. От времени чернила выцвели, и на чертеже остались видны лишь круг и его изображение, но известно, что круг целиком располагался в плоскости, проходящей через главную оптическую ось линзы, и что круг и его изображение располагались по разные стороны от плоскости линзы. Пользуясь циркулем и линейкой без делений, восстановите положения:

- (a) Оптического центра O линзы
- (b) Плоскости линзы
- (c) Фокусов F_1 и F_2 линзы.



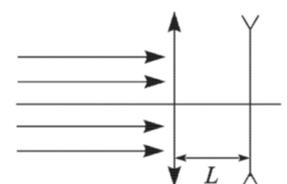
Системы линз и действия с ними

1. Начало системы координат помещено в центр тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием f , причем ось x совпадает с главной оптической осью линзы. Точечный источник удаляется от линзы равномерно со скоростью V по прямой, параллельной оси x и проходящей на расстоянии a от нее. Найти координаты $x(t), y(t)$ изображения источника как функции времени. При $t = 0$ источник находился в фокальной плоскости линзы.



2. Изображение предмета наблюдают на экране, расположенном на расстоянии $a = 5$ см от тонкой линзы, фокусное расстояние которой $f = 3,5$ см. Линзу смещают в направлении, перпендикулярном ее главной оптической оси, на расстояние $\Delta = 7$ мм. На какое расстояние x сместится при этом изображение предмета?

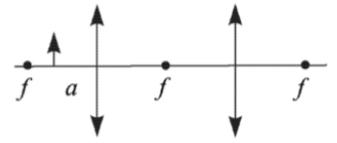
3. Тонкая собирающая линза с фокусным расстоянием $f_1 = 0,6$ м и тонкая рассеивающая линза с фокусным расстоянием $f_2 = -1$ м имеют общую оптическую ось и расположены на расстоянии $L = 0,2$ м друг от друга.





На собирающую линзу вдоль общей оптической оси падает пучок параллельных лучей света. На каком расстоянии x от рассеивающей линзы он будет сфокусирован?

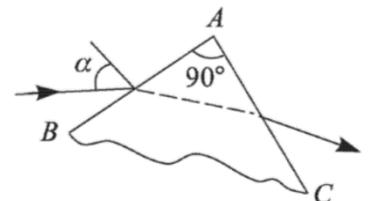
4. Оптическая система состоит из двух одинаковых собирающих линз с фокусным расстоянием f , расположенных так, что их фокусы совпадают. Предмет находится на расстоянии $a < f$ перед первой линзой. На каком расстоянии b от второй линзы будет располагаться изображение предмета?



5. Две собирающие линзы с фокусными расстояниями $F_1 = 10$ см и $F_2 = 15$ см расположены вдоль общей главной оптической оси на расстоянии $l = 30$ см друг от друга. Где следует поместить точечный источник света, чтобы идущие от него лучи после прохождения обеих линз образовали пучок лучей, параллельных главной оптической оси? Рассмотрите два варианта.
6. Пучок параллельных световых лучей падает на линзу с оптической силой $D_1 = -10$ дптр. На каком расстоянии за ней нужно поставить соосно линзу с оптической силой $D_2 = +2,5$ дптр, чтобы из второй линзы лучи пучка вышли параллельно?
7. Две собирающие линзы с оптическими силами $D_1 = 5$ дптр и $D_2 = 6$ дптр расположены на расстоянии $l = 60$ см друг от друга. Найдите, используя построение в линзах, где находится изображение предмета, расположенного на расстоянии $a = 40$ см от первой линзы, и поперечное увеличение системы.
8. Две тонкие линзы с фокусными расстояниями $F_1 = F_2 = 10$ см помещаются на одной оси на расстоянии $l = 15$ см друг от друга. На каком расстоянии b_2 от второй линзы находится даваемое этой системой изображение предмета, расположенного на расстоянии $a_1 = 15$ см перед первой линзой? Постройте ход лучей в системе.
9. С помощью тонкой линзы на экране получили изображение предмета, расположенного перпендикулярно оптической оси линзы. Между линзой и экраном поставили вторую линзу на расстоянии 5 см от экрана, после чего экран пришлось отодвинуть от линз на 5 см, чтобы получить на нём новое изображение. 1) Найдите фокусное расстояние второй линзы. 2) Каково отношение размеров нового и старого изображений?
10. Оптическая система состоит из двух одинаковых собирающих линз с фокусным расстоянием F , расположенных на расстоянии F друг от друга (главные оптические оси линз совпадают). Предмет находится на расстоянии $a = F/3$ от первой линзы и расположен перпендикулярно главной оптической оси системы. Постройте изображение предмета в данной системе. Найдите расстояние b от изображения до второй линзы и увеличение Γ , даваемое системой.

Оптические системы 2

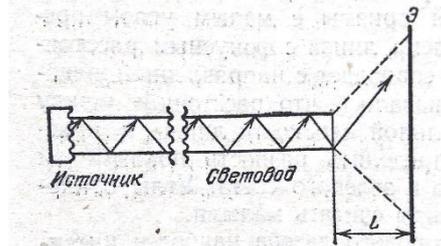
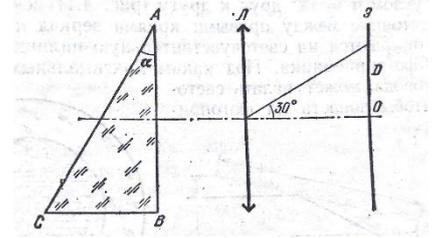
1. На поверхность стеклянного шара с показателем преломления $n < 2$ падает узкий пучок света, образуя малый угол α с осью шара, проведенной через точку падения и центр шара. Под каким углом γ к этой оси пучок выйдет из шара? При расчетах положить $\sin \alpha \approx \alpha$.
2. Луч света, лежащий в плоскости рисунка, падает на боковую грань АВ призмы, имеющей при вершине угол 90° . В каких пределах лежат возможные значения угла падения α , если известно, что луч выходит из боковой грани АС? Показатель преломления призмы $n = 1,25$.
3. Снаружи круглого прозрачного стержня вблизи от центра его торца помещен точечный источник света. При каких значениях показателя преломления материала стержня n свет не будет выходить через его боковую поверхность?
4. Высота Солнца над горизонтом составляет угол $\varphi = 10^\circ$. Пользуясь зеркалом, пускают “зайчик в водоем”. Под каким углом β к горизонту нужно расположить зеркало, чтобы луч света шел в воде под углом $\alpha = 41^\circ$ к вертикали ($\sin \alpha \approx 0,655$). Показатель преломления воды $n = 1,32$.





Нормаль к зеркалу лежит в вертикальной плоскости.

5. Свет от удаленного источника, состоящий из красного и зеленого света, параллельным пучком падает перпендикулярно на одну из преломляющих граней призмы с малым углом преломления α . За призмой установлена линза с фокусным расстоянием f так, что ее оптическая ось совпадает с направлением падающего на призму пучка света. Оказалось, что расстояние между изображениями источника в фокальной плоскости линзы в красном и зеленом свете равно l . Определить разность показателей преломления призмы для красного и зеленого света. Углы отклонения лучей от оптической оси линзы считать малыми.
6. В спектре излучения аргонового лазера наиболее интенсивными являются линии с длинами волн $\lambda_1 = 488$ нм и $\lambda_2 = 515$ нм. При каких углах преломления α призмы, поставленной на пути лучей, из призмы выйдет пучок, содержащий компоненту λ_2 и не содержащий компоненту λ_1 ? На первую грань призмы лучи падают нормально. Зависимость показателя преломления призмы от длины имеет вид $n = 1 + a/\lambda^2$, где $a = 2,38 \times 10^{-9}$ см².
7. Для измерения показателя преломления n стеклянной призмы с углом при вершине $\alpha = 30^\circ$ была использована схема, показанная на рисунке. Призма помещалась перед собирающей линзой так, что грань АВ была перпендикулярна к оптической оси линзы. В фокальной плоскости линзы помещался экран, на котором при освещении грани АС рассеянным светом можно было наблюдать две области: освещенную и неосвещенную. Отрезок, соединяющий на схеме границу между областями (точку D) с центром линзы, оказался расположенным под углом 30° к оптической оси линзы. Определить показатель преломления n призмы.
8. Световод (длинная тонкая нить) изготовлен из прозрачного материала с показателем преломления $n = 1,2$. Один из торцов световода прижат к источнику рассеянного света, другой торец размещен на расстоянии $L = 5$ см от экрана (см.рис). Найти диаметр светового пятна на экране.

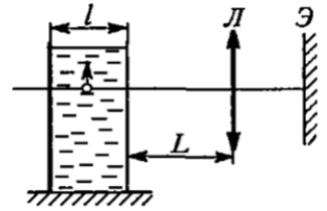


Линзы и жидкости

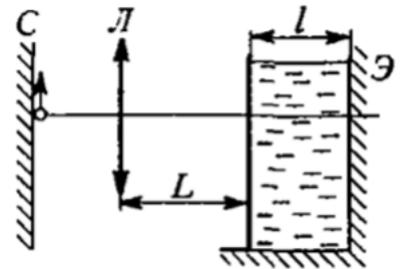
1. Для определения показателя преломления неизвестной прозрачной жидкости экспериментатор Глюк положил на дно мензурки монету и налил в неё исследуемую жидкость. Толщина слоя жидкости $H = 27$ см. Далее он сфотографировал монету с высоты $h = 37$ см над поверхностью жидкости и получил резкое изображение, диаметр которого в $k = 10$ раз меньше диаметра монеты. Фокусное расстояние объектива $F = 50$ мм. Оптическая ось объектива перпендикулярна поверхности жидкости. 1) Какое расстояние d было установлено на шкале дальности объектива? 2) Найдите показатель преломления n жидкости.
2. Тонкая собирающая линза с фокусным расстоянием $F = 15$ см прикреплена к стенке аквариума, заполненного водой ($n = 4/3$). На линзу под углом α падает параллельный пучок света. Известно, что луч, прошедший сквозь линзу на расстоянии h от её оптического центра, не изменяет своего направления. Найти угол α , если $h = 5$ мм.
3. Тонкая рассеивающая линза с фокусным расстоянием $F = 15$ см прикреплена к стенке аквариума, заполненного водой ($n = 4/3$). На линзу под углом α падает параллельный пучок света (см. рисунок). Известно, что луч, прошедший сквозь линзу на расстоянии h от её оптического центра, не изменяет своего направления. Найти h , если $\text{tg } \alpha = 0,08$.



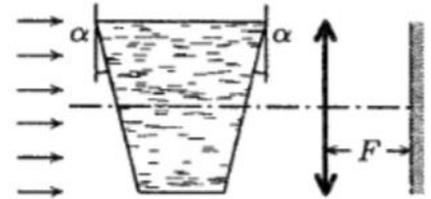
4. Маленький воздушный пузырёк всплывает по центру прямоугольного сосуда, заполненного прозрачной жидкостью с показателем преломления $n = 1,4$ (см. рисунок). С помощью собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 24$ см его изображение наблюдают на экране Э. Скорость перемещения изображения пузырька на экране в момент пересечения главной оптической оси линзы равна $v = 80$ см/с. Определить скорость и пузырёка. Линейные размеры: $l = 56$ см, $L = 10$ см.



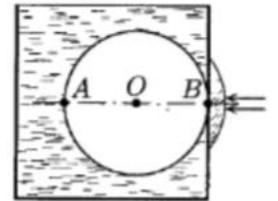
5. По вертикальной стене С ползёт муха со скоростью $v = 2$ см/с. С помощью собирающей линзы Л с фокусным расстоянием $F = 24$ см изображение мухи получают на задней стенке Э прямоугольного сосуда, заполненного прозрачной жидкостью с показателем преломления $n = 1,4$ (см. рисунок). Определить скорость и перемещения изображения мухи в момент пересечения главной оптической оси линзы. Линейные размеры: $l = 28$ см, $L = 10$ см.



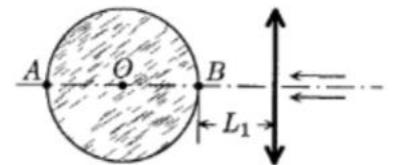
6. Стекланный трапециевидальный сосуд с малым углом $\alpha = 6^\circ$ заполнен водой с показателем преломления $n = 1,33$. На сосуд падает параллельный пучок света. За сосудом расположена собирающая линза с фокусным расстоянием $F = 50$ см (см. рисунок). На экране, расположенном в фокальной плоскости линзы, наблюдается светлая точка. На сколько сместится эта точка на экране, если убрать сосуд? Указание. Для малых углов x справедливо $\sin x \approx x$.



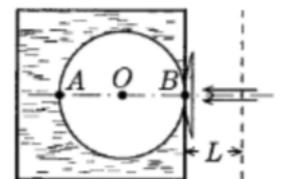
7. В жидкости с показателем преломления $n = 1,5$ на воздушный пузырёк, расположенный у плоской поверхности тонкой прозрачной стенки сосуда, вдоль диаметра АВ пузырька падает параллельный пучок света (см. рисунок). Диаметр пучка много меньше радиуса пузырька. Если вплотную к стенке приставить линзу с фокусным расстоянием $F_1 = 2$ см, то фокусировка света, вошедшего в пузырёк, произойдёт в центре пузырька О. Линзу с каким фокусным расстоянием нужно поставить взамен первой линзы, чтобы свет сфокусировался в точке А? Указание. Для малых углов α можно считать, что $\sin \alpha \approx \text{tg } \alpha \approx \alpha$.



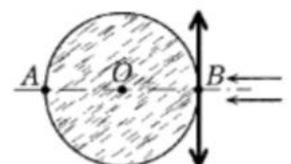
8. На прозрачный шар с показателем преломления $n = 1,5$ вдоль диаметра АВ шара падает параллельный пучок света. Диаметр пучка много меньше радиуса шара. Если на расстоянии $L_1 = 8$ см от шара поставить линзу с фокусным расстоянием $F = 10$ см (см. рисунок), то фокусировка света, вошедшего в шар, произойдёт в центре шара О. На каком расстоянии L_2 от шара нужно поместить эту линзу, чтобы свет сфокусировался в точке А? Указание. Для малых углов α можно считать, что $\sin \alpha \approx \text{tg } \alpha \approx \alpha$.



9. Воздушный пузырёк радиуса R в жидкости касается плоской поверхности тонкой прозрачной стенки сосуда, к которой вплотную приставлена собирающая линза. На линзу вдоль диаметра АВ пузырька падает параллельный пучок света (см. рисунок). Диаметр пучка значительно меньше радиуса пузырька. Параметры оптической системы таковы, что фокусировка света, вошедшего в пузырёк, происходит в точке А. Определить показатель преломления жидкости, окружающей пузырёк, если при смещении линзы на расстояние $L = R/3$ от пузырька свет фокусируется в центре пузырька (точка О). Указание. Для малых углов α можно считать, что $\sin \alpha \approx \text{tg } \alpha \approx \alpha$.



На прозрачный шар с показателем преломления $n = 1,5$ вдоль диаметра АВ шара падает параллельный пучок света (см. рисунок). Диаметр пучка много меньше

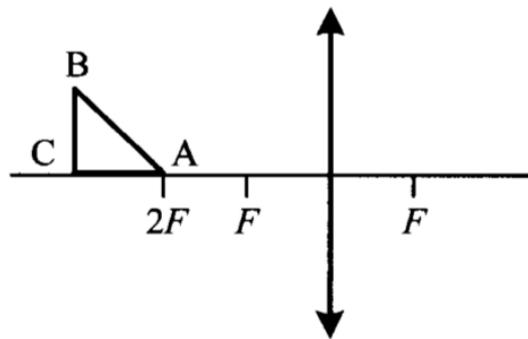




радиуса шара. Если вплотную к шару приставить линзу с фокусным расстоянием $F_1 = 2$ см, то фокусировка света, вошедшего в шар, произойдет в центре шара (точка O). Линзу с каким фокусным расстоянием F_2 нужно поставить взамен первой линзы, чтобы свет сфокусировался в точке A ? Указание. Для малых углов α можно считать, что $\sin \alpha \approx \text{tg } \alpha \approx \alpha$.

Задачи для выходной олимпиады

Задача 1. Индиана Джонс нашел в древней гробнице равнобедренный треугольник ABC и расположил его перед тонкой собирающей линзой так, что его катет AC оказался на главной оптической оси линзы (см. рис). Индиана Джонс прочитал инструкцию к линзе и выяснил, что ее оптическая сила составляет $+2,5$ дптр. Постройте изображение, которое увидел Индиана Джонс, и найдите площадь этого изображения.



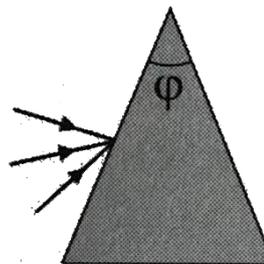
Задача 2. На экране с помощью тонкой линзы получено изображение Индианы Джонса с пятикратным увеличением. Индиана Джонс и плоскость экрана расположены перпендикулярно главной оптической оси линзы. Злые враги передвинули экран на 30 см вдоль главной оптической оси линзы. Затем, при неизменном положении линзы, Индиана Джонс передвинулся так, чтобы его изображение снова стало резким. В этом случае изображение получилось с трехкратным увеличением. Помогите Индиане Джонсу определить фокусное расстояние линзы.

Задача 3. С какой выдержкой τ надо сфотографировать бегущего от гигантского каменного шара Индиану Джонса, скорость которого 3 м/с, чтобы размытость изображения не превышала $\Delta x = 0,1$ мм? Фокусное расстояние объектива $F = 15$ см. Расстояние от фотоаппарата до Индианы Джонса $l = 10$ м. Пояснение: выдержка - промежуток времени, в течение которого свет попадает на матрицу фотоаппарата.

Задача 4. Каким должен быть минимальный преломляющий угол призмы φ_{\min} , чтобы ни один из лучей, падающих на одну из ее боковых граней и лежащих в плоскости рисунка, не вышел из другой боковой грани? Показатель преломления материала призмы n .

Физический практикум

ОТРАЖЕНИЕ ОТ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА СРЕД

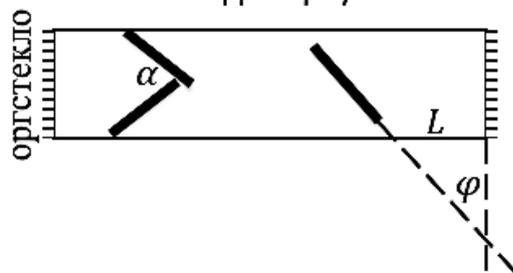


Вид сверху

Задание 1.

Определите угол между зеркалами α в оптическом сером ящике. Достаточно нарисовать 1 луч.

Оборудование: серый ящик, миллиметровка.





Сдать: лист миллиметровки с необходимыми построениями, итоговое значение α .

Задание 2.

Определите угол между зеркалом и стороной оптического серого ящика φ , смещение зеркала L . Необходимо нарисовать 10 лучей.

Оборудование: серый ящик, миллиметровка.

Сдать: лист миллиметровки с необходимыми построениями, итоговые значения φ и L .

Задание 3.

Определите радиус кривизны выпуклого R и вогнутого r зеркал. Необходимо нарисовать 5 лучей.

Оборудование: выпуклое и вогнутое зеркала, крепеж зеркала, 2 муфты, штатив, 2 стержня, лазер, миллиметровка.

Сдать: лист миллиметровки с необходимыми построениями, итоговые значения R и r .

Задание 4.

Определите радиусы кривизны поверхностей линзы R_1 и R_2 . Считая $n = 1,5$, определите фокусное расстояние F линзы. Необходимо нарисовать 5 лучей.

Оборудование: лупа, 2 муфты, штатив, 2 стержня, лазер, миллиметровка.

Сдать: лист миллиметровки с необходимыми построениями, итоговые значения R_1 и R_2 , F .

Преломление на границе раздела сред. Часть 1

Задание 1.

1. Поставьте акриловую колбу на специальную подставку, под дно колбы поместите светодиод. Залейте в колбу воду. Расположите линзу непосредственно над горлышком колбы. Измерьте зависимость расстояния между линзой и четким изображением светодиода от высоты столба жидкости в колбе. Необходимо провести не менее 15 измерений.
2. Столб воды создает промежуточное мнимое изображение светодиода, которое, после прохождения лучами линзы, преобразуется в действительное изображение на экране. Рассчитайте зависимость расстояния между линзой и мнимым изображением светодиода от высоты столба жидкости в колбе. Постройте график этой зависимости, найдите его угловой коэффициент. Укажите расчетную формулу, рассчитайте показатель преломления воды.

Оборудование: штатив, 3 муфты, 2 стержня с соединителем, кольцо, акриловая колба, подставка под колбу, линза ($F = 100$ мм), белый экран, стакан с водой (800 мл), красный излучатель (предельное напряжение 12В), источник питания, рулетка.

Сдать: график, итоговое значение n .

Задание 2.

Измерьте зависимость смещения h луча в плоскопараллельной призме от толщины призмы d . Определите показатель преломления n материала, из которого сделаны призма. Достаточно провести 11 измерений.



Оборудование: 11 плоскопараллельных призм, лазер, миллиметровка.

Сдать: лист миллиметровки с необходимыми построениями, график, итоговое значение n .

Задание 3.

Используя полное внутреннее отражение, определите показатель преломления n материала, из которого сделана призма. Достаточно провести 3 измерения.

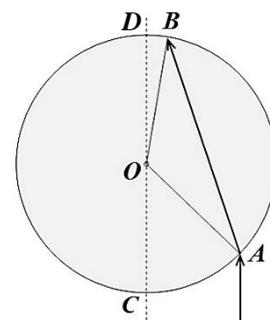
Оборудование: плоскопараллельная призма, миллиметровка.

Сдать: лист миллиметровки с необходимыми построениями, итоговое значение n

Преломление на границе раздела сред. Часть 2

Задание 1.

- Измерьте зависимость показателя преломления n воды от массовой доли сахара C в ней в пределах от 0% до 30%. Массовую долю сахара в растворе рассчитывайте, как: $C = \frac{m_c}{m_c + m_b}$, здесь m_c – масса сахара, m_b – масса воды. Для увеличения точности для каждого значения C проведите измерения показателя преломления раствора n не менее 5 раз при различных углах падения α . На график нанесите не менее 15 точек.
- Для измерений используйте цилиндрический сосуд с водой (около 200 мл). Измерения проводите по лимбу, пуская лучи лазера параллельно OC . Тогда угол падения $\alpha = \angle COA$, угол преломления $\beta = \angle OAB$. Обозначим $\gamma = \angle DOB$. Так как треугольник BOA является равнобедренным, то угол β может быть рассчитан через α и γ по формуле: $\beta = \frac{\gamma + \alpha}{2}$
- Постройте график полученной зависимости $n(C)$ и определите коэффициент наклона k . Показатель преломления чистой воды считайте известным и равным: $n_0 = 1,333$.



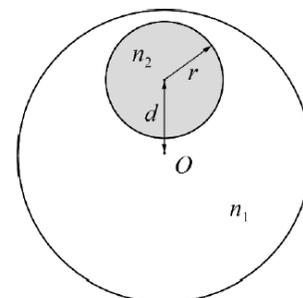
Оборудование: вода в стакане, мензурка 100 мл, электронные весы $c = 0,01$ г, 25 пакетиков сахара, ложка, лимб, круглая емкость, лазер.

Сдать: график, итоговое значение k

Задание 2.

Серый ящик состоит из прямого кругового цилиндра с показателем преломления n_1 , внутри которого расположен другой прямой круговой цилиндр с показателем преломления n_2 . Оси цилиндров параллельны, а высоты равны.

- Определите радиус внутреннего цилиндра r
- Определите расстояние между осями цилиндров d
- Определите показатель преломления n_1





- Определите показатель преломления n_2

Для каждого параметра серого ящика достаточно 1 измерения.

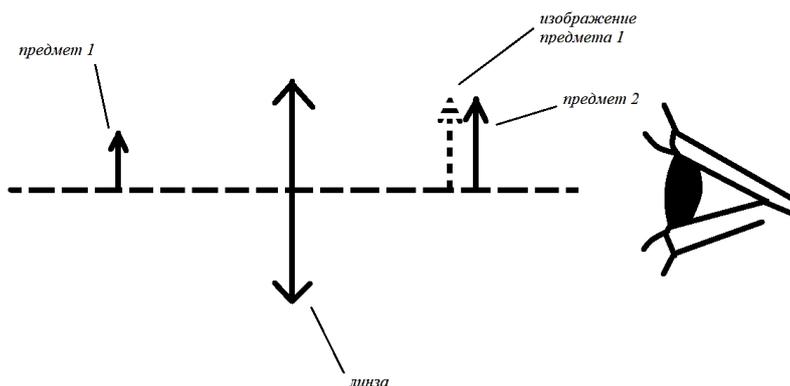
Оборудование: серый ящик, лазер, миллиметровка.

Сдать: лист миллиметровки с необходимыми построениями, итоговое значение r, d, n_1, n_2

Линзы

Задание 1.

Метод параллакса считается одним из самых точных в оптике. Два идентичных предмета (1 и 2) располагаются перед линзой так, как показано на рисунке. При этом наблюдатель видит изображение предмета 1, построенное в определенной точке. Суть метода состоит в том, чтобы приближать предмет 2 к изображению предмета 1, пока они не совпадут. В момент их совпадения изображение предмета 1 будет полностью перекрыто предметом 2. Тогда с любой точки обзора наблюдатель будет видеть, как будто предмет 1 и предмет 2 находятся в одной точке. В этот момент изображение предмета 1 и предмет 2 находятся на одинаковом расстоянии от линзы. Тогда мы можем напрямую измерить расстояние от предмета 1 до линзы d и от изображения предмета 1 до линзы f .



Пользуясь методом параллакса, измерьте зависимость $f(d)$ и, построив линеаризованный график, определите фокусное расстояние лупы F . Измерения провести не менее 15 раз.

Оборудование: лупа, рулетка, канцелярский пластилин для крепления, зубочистки.

Сдать: график, итоговое значение F

Задание 2.

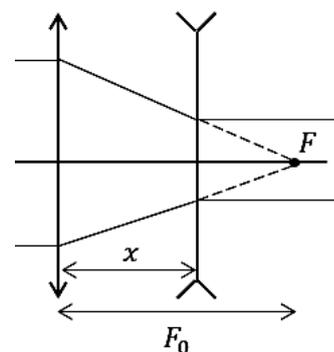
Определите соотношение радиусов кривизны колбы и ее горлышка x . Для каждой из линз проведите не менее 15 измерений, фокусное расстояние линз определите из линеаризованного графика.

Оборудование: плоскодонная колба с водой, лампа на подставке, источник питания 12В, экран на подставке, стрелка на подставке, рулетка

Сдать: два графика, значения фокусных расстояний линз F_1 и F_2 , итоговое значение x .

Задание 3.

1. Используя параллельные лучи лазера, определите фокусное расстояние F_0 собирающей линзы.
2. Поставьте рассеивающую линзу ПОСЛЕ собирающей так, чтобы выходящие из системы линз лучи оставались параллельными. Определите фокусное расстояние рассеивающей линзы: $F_1 = F_0 - x$.
3. Поставьте рассеивающую линзу ПЕРЕД собирающей так, чтобы выходящие из системы линз лучи оставались параллельными. Определите фокусное расстояние рассеивающей линзы: $F_2 = F_0 - x$.





4. Усредните полученные фокусные расстояния рассеивающей линзы. Определите радиус кривизны собирающей и рассеивающей линз считая, что показатель преломления стекла $n = 1,5$.

Оборудование: собирающая линза (призма), рассеивающая линза (призма), лазер, миллиметровка.

Сдать: лист миллиметровки с необходимыми построениями, значения фокусных расстояний линз F_0 и F .

Аберрации и дисперсия

В реальных оптических системах получаемые изображения обычно не точно соответствуют источникам, не вполне отчетливы, оказываются окрашенными и т.п. Такие искажения называются геометрическими аберрациями оптической системы. Различают несколько видов аберраций.

Астигматизм — прошедшая от точечного источника волна перестает быть сферической, после прохождения оптической системы свет не собирается в одной точке. Изображение точечного источника представляет собой две взаимно перпендикулярные линии, расположенные в разных плоскостях на некотором расстоянии друг от друга. Астигматизм объясняется зависимостью углов преломления лучей пучка от углов их падения. Так как отдельные лучи наклонного пучка падают на преломляющую поверхность под разными углами, то и преломляются на разные углы, пересекаясь на разном же расстоянии от преломляющей поверхности. Схема астигматизма приведена на рисунке. Лучи света, пересекающие линзу по вертикальному сечению В, имеют фокус в плоскости ФВ, а по горизонтальному сечению Г — в плоскости ФГ; О—О — оптическая ось; ФВ—ФГ — астигматическая разность.

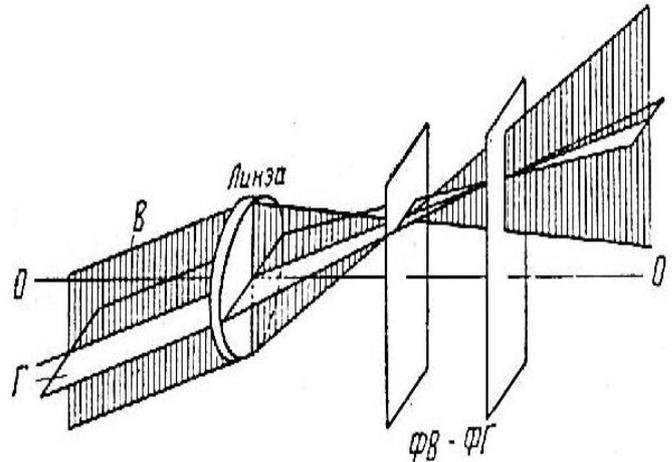
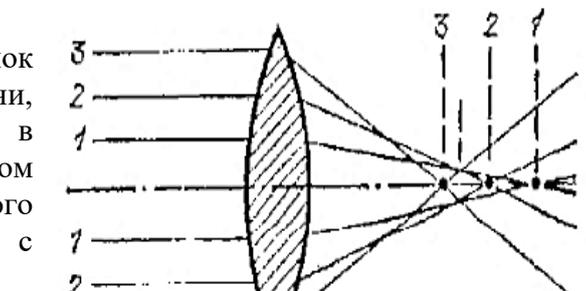


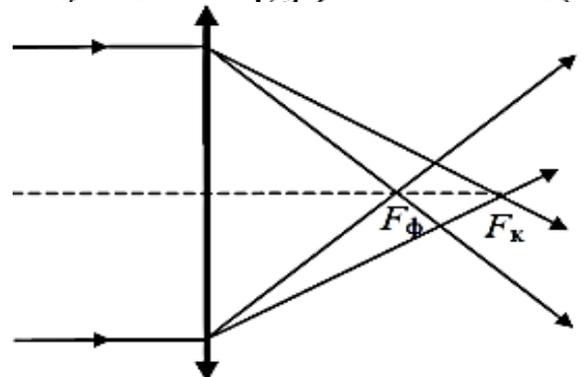
Схема астигматизма приведена на рисунке. Лучи света, пересекающие линзу по вертикальному сечению В, имеют фокус в плоскости ФВ, а по горизонтальному сечению Г — в плоскости ФГ; О—О — оптическая ось; ФВ—ФГ — астигматическая разность.

Кома — изображение точечного источника, расположенного не на главной оптической оси системы, имеет вид неравномерно освещенного пятнышка, напоминающего комету. Это происходит из-за того, что наклонные пучки света после прохождения оптической системы распространяются несимметрично относительно своей оси.

Сферическая аберрация — если на линзу направить пучок света, параллельный главной оптической оси, то лучи, прошедшие через различные участки линзы, соберутся в разных точках на оси. Поэтому на экране, установленном перпендикулярно оси, даже в случае идеального точечного источника будут наблюдаться изображения в виде диска с неоднородным распределением освещенности. Если перед линзой поместить маску, имеющую форму узкого кольца, то сферическая аберрация практически исчезнет, но существенно уменьшится и интенсивность прошедшего света.



Хроматическая аберрация — аберрация, связанная с зависимостью показателя преломления материала линзы от длины волны света. В прозрачных средах показатель преломления n растет с уменьшением длины волны света λ .





В видимой области спектра существует эмпирическая формула, описывающая зависимость показателя преломления от длины волны света: $n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4}$. Здесь A, B, C, \dots –

константы, характерные для данного вещества. Так как в формулу для фокусного расстояния линзы входит показатель преломления, то F является функцией от λ . Поэтому изображение точечного некогерентного источника уже не является точечным, а представляет собой совокупность точек разных цветов. Для протяженного источника это приводит к тому, что края изображения окрашиваются.

Задание 1.

Для изучения сферической аберрации собирающей линзы будем использовать специальные слайды – маски, на которых указан внешний радиус вырезанного кольца. Ширина кольца одинакова и равна 3 мм. Измерьте зависимость фокусного расстояния линзы F от среднего радиуса кольца маски r . Результат представьте в виде графика. Предположите вид зависимости, постройте линеаризованный график и определите угловой коэффициент k .

Оборудование: основание штатива (оптическая скамья), линза $F = 100$ мм на подставке, маски, крепеж для масок, рулетка, канцелярский пластилин для крепления, лампа на подставке, слайд со стрелкой на подставке, экран на подставке, источник 12В.

Сдать: график $F(r)$, линеаризованный график

Задание 2.

Для изучения хроматической аберрации будем использовать лампу и светодиоды различных цветов: красный, зеленый и синий. Для уменьшения сферической аберрации можно воспользоваться диафрагмой. Измерьте фокусное расстояние линзы F при различных длинах волн источника: $F_{\text{бел}}$; $F_{\text{кр}}$; $F_{\text{зел}}$; $F_{\text{син}}$.

Оборудование: основание штатива (оптическая скамья), линза $F = 100$ мм на подставке, диафрагма, рулетка, канцелярский пластилин для крепления, лампа на подставке, слайд со стрелкой на подставке, экран на подставке, источник 12В.

Сдать: итоговые значения $F_{\text{бел}}$; $F_{\text{кр}}$; $F_{\text{зел}}$; $F_{\text{син}}$

Задание 3.

Дисперсией называется зависимость показателя преломления материала от длины волны проходящего через него света. Для большинства прозрачных стекол показатель преломления изменяется во всем видимом диапазоне длин волн (от синего света до красного) в небольших пределах.

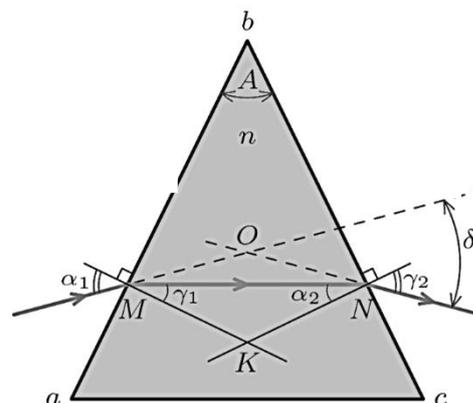
Пройдя через призму, луч отклоняется от своего первоначального направления на угол δ .

$$\delta = (\alpha_1 - \gamma_1) + (\gamma_2 - \alpha_2)$$

Если $\alpha_1 = \gamma_2$, то угол δ минимален, и можно записать:

$$n = 2 \sin \left(30^\circ + \frac{\delta_{\text{min}}}{2} \right)$$

Используя источник белого света и две щели, получите тонкий пучок лучей и направьте его на угол призмы. Вращая столик, определите положение, при котором угол δ минимален. Сделайте отметки на кальке, прикрепленной к экрану, запишите необходимые параметры для нахождения значения $\delta_{\text{бел}}$. Повторите эксперимент для всех углов призмы, усредните результаты и рассчитайте показатель преломления стеклянной призмы $n_{\text{бел}}$.





Повторите эксперимент с красным, зеленым и синим светодиодами, рассчитайте показатели преломления стеклянной призмы $n_{кр}$, $n_{зел}$, $n_{син}$

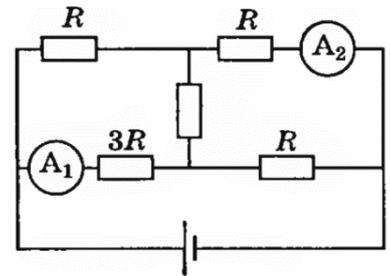
Оборудование: основание штатива (оптическая скамья), правильная треугольная призма на вращающейся подставке, две щели на подставках, рулетка, канцелярский пластилин для крепления, лампа на подставке, экран с калькой на подставке, источник 12В.

Сдать: итоговые значения $n_{бел}$; $n_{кр}$; $n_{зел}$; $n_{син}$

Разветвленные цепи. Часть 1

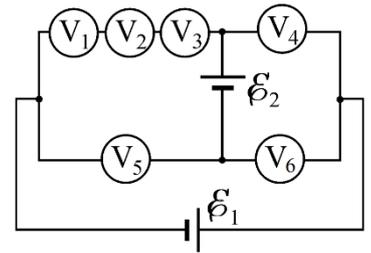
1. Покирхгофим? 😊

В схеме, изображённой на рисунке, амперметр A_1 показывает силу тока i_1 . Какую силу тока показывает амперметр A_2 ? Оба прибора идеальны. Отмеченные на рисунке параметры цепи считайте известными.



2. Попотенциалим? 😊

Электрическая цепь, схема которой изображена на рисунке, состоит из двух батареек с ЭДС $\mathcal{E}_1 = 3$ В и $\mathcal{E}_2 = 2$ В и шести одинаковых вольтметров. Найдите показания U_6 шестого вольтметра. Сопротивления батареек много меньше сопротивлений вольтметров.



3. Посуперпозицим (понакладываем токи)? 😊

В цепи, изображённой на рисунке 1, суммарная мощность, выделяющаяся на резисторах, равна 7 Вт. Определите суммарную мощность, выделяющуюся на резисторах в цепи, изображённой на рисунке 2.

Характеристики всех элементов цепей *не заданы*, но элементы, обозначенные на схемах одинаково, имеют одинаковые характеристики. Источники можно считать идеальными.

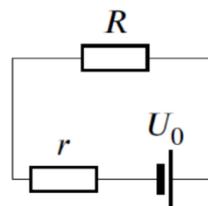


Рис. 1

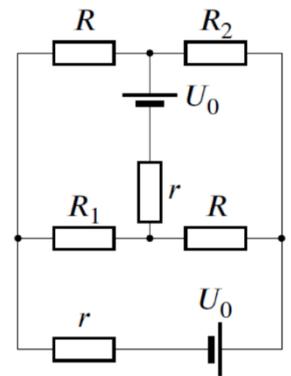
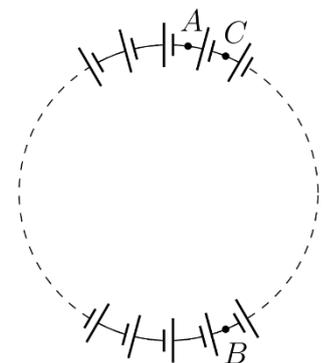


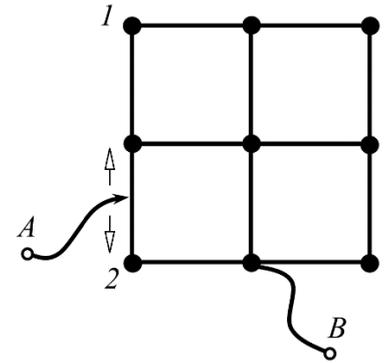
Рис. 2

4. Цепь содержит $N = 1000$ одинаковых источников тока с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r каждый. Между точками A и B (на дуге ACB) находится m источников тока. Найдите разность потенциалов между точками A и B .

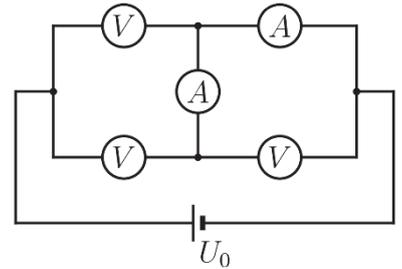




5. Квадратная проволочная сетка собрана из 12 ребер сопротивлением R каждое. Вдоль левой стороны квадрата 1 – 2 может скользить подвижный контакт A . Положение контакта B зафиксировано. Найдите минимальное значение сопротивления сетки между выводами A и B .

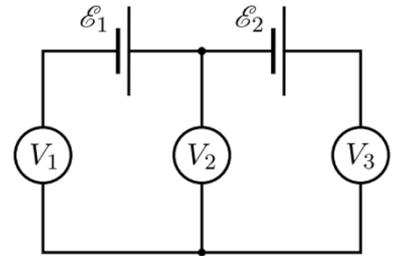


6. К идеальной батарее с ЭДС $U_0 = 1,3$ В подключена мостовая цепь, собранная из трёх одинаковых вольтметров и двух одинаковых миллиамперметров. Известно, что показания миллиамперметров отличаются в 3 раза. Найдите отношение сопротивлений вольтметра и миллиамперметра (считайте, что $r_V > r_A$) и определите показания правого нижнего вольтметра.

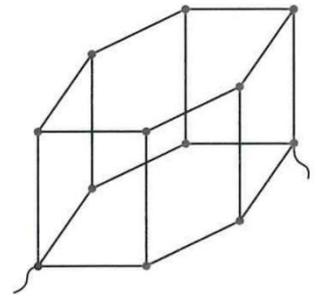


7. Три мунжкетера вольтметра.

Электрическая цепь, схема которой приведена на рисунке, собрана из двух разных источников и трёх одинаковых вольтметров. ЭДС правого источника известна и равна $\mathcal{E}_2 = 10$ В, правый вольтметр показывает напряжение $U_3 = 12$ В. Найти показания двух остальных вольтметров и ЭДС левого источника. Внутренним сопротивлением источников пренебречь.

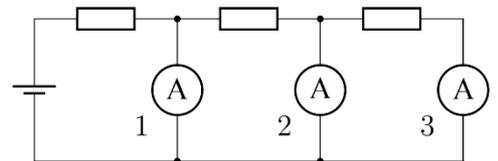


8. Найти сопротивление проволочной фигуры. Сопротивления всех ребер равны R .



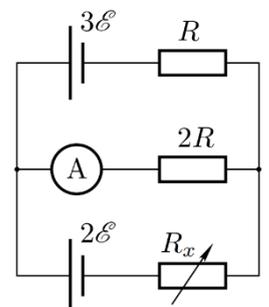
9. Три мунжкетера амперметра.

Цепь, схема которой представлена на рисунке, собрана из трех одинаковых резисторов и трех одинаковых амперметров. Показания первого и третьего вольтметров $i_1 = 10$ мА и $i_3 = 4$ мА соответственно. Найдите показания i_2 второго амперметра.



10. 5%-ая разница.

В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке, ЭДС батареек равны $3\mathcal{E}$ и $2\mathcal{E}$, сопротивления резисторов составляют $R_1 = R$ и $R_2 = 2R$, а $R_x = 3R$. На сколько процентов изменится сила тока, проходящего через амперметр, если сопротивление переменного резистора R_x увеличить на 5%?

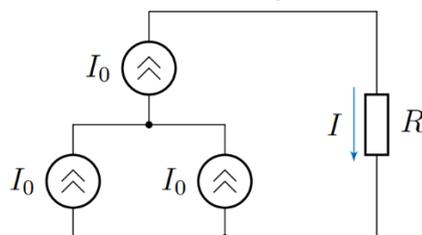
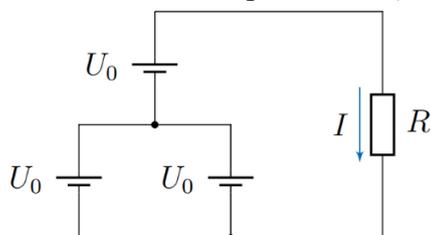




Разветвленные цепи – 2

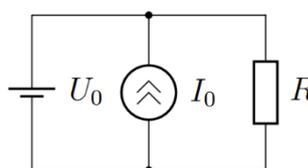
11. Идеальный источник напряжения \mathcal{E} и идеальный источник тока.

Определите силу тока I , текущего через резистор с сопротивлением R , в цепях с одинаковыми идеальными источниками напряжения U_0 и идеальными источниками тока I_0 .

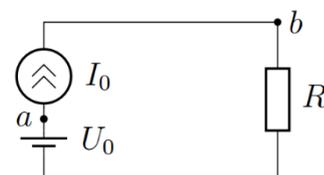


12. На рисунке представлены цепи, содержащие источники постоянного тока I_0 , источники постоянного напряжения U_0 и резисторы сопротивлением R . Определите:

- 1) силу тока I через источник постоянного напряжения (схема а);
- 2) разность потенциалов $\varphi_b - \varphi_a$ (схема б).



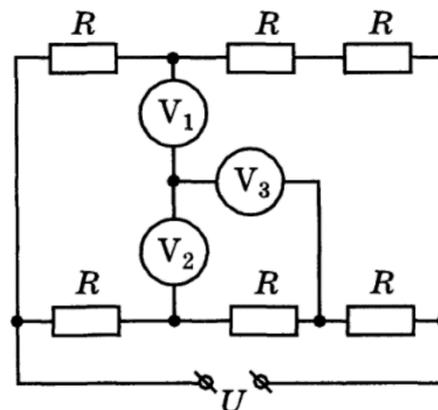
а)



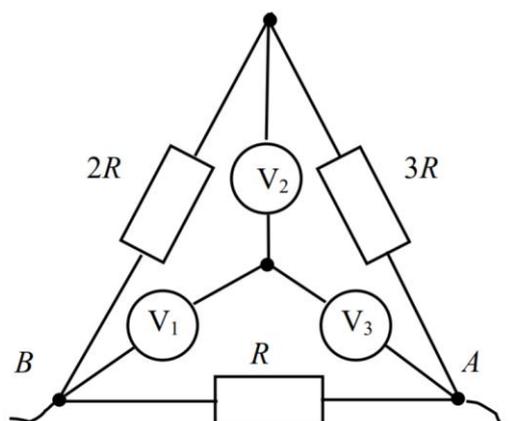
б)

13. $r_V \gg R$: сперва отбросить, а затем – учесть.

В схеме, изображённой на рисунке, все вольтметры одинаковые, а их внутреннее сопротивление много больше всех остальных сопротивлений цепи. Найдите показания вольтметров, если сопротивление каждого из резисторов R , а напряжение на входе цепи U .

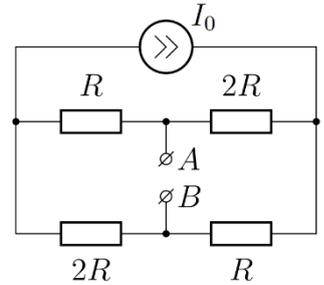


14. Определите показания вольтметров V_1 и V_2 , если вольтметр V_3 показывает $U_3 = 16$ В. Все вольтметры одинаковые. Сопротивление вольтметров гораздо больше сопротивления резисторов.





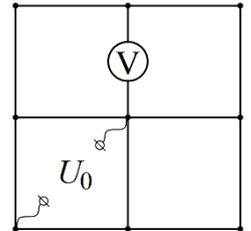
15. Электрическая цепь, схема которой изображена на рисунке, состоит из источника постоянного тока I_0 и четырёх резисторов.



Если к клеммам A и B подключить идеальный вольтметр, то он покажет напряжение $U = 4,5$ В. Если вместо вольтметра подключить идеальный амперметр, он покажет силу тока $I = 30$ мА. Определите, чему равно R , и какой будет сила тока через резистор с сопротивлением $3R$, если его подключить к клеммам A и B .

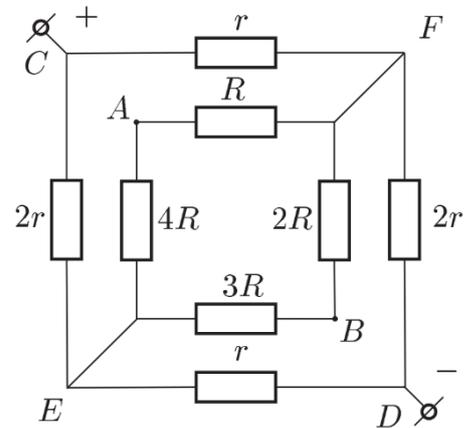
16. Несимметричная (!#?) цепь.

Электрическая цепь представляет собой сетку, состоящую из одинаковых звеньев, имеющих одинаковые сопротивления R . Одно из звеньев заменено на *идеальный* вольтметр. На схему подано напряжение $U_0 = 73$ В. Найдите показание вольтметра.



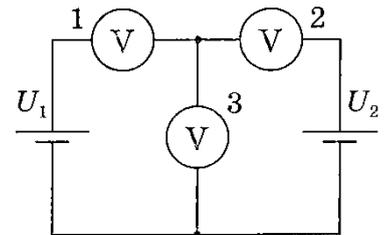
17. Двойной мост.

В электрической цепи, схема которой приведена на рисунке, напряжение между зажимами C и D равно $U_{CD} = U_0 = 15$ В. Известно, что $R \gg r$. Определите показания идеального вольтметра, подключённого к клеммам A и B .



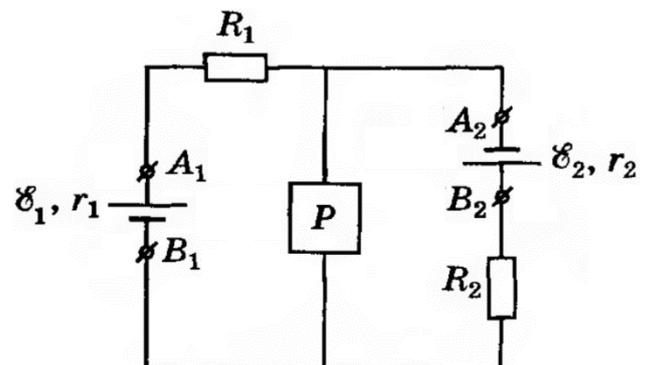
18. Три плюс два.

Электрическая цепь состоит из трех вольтметров, сопротивление одного из которых вдвое меньше, чем у двух остальных, и двух идеальных источников с напряжениями $U_1 = 36$ В и $U_2 = 12$ В. Известно, что один из вольтметров показывает напряжение 24 В. Какой именно вольтметр показывает 24 В? Каковы показания остальных вольтметров? Какой из вольтметров имеет меньшее сопротивление?



19. Неизвестное P-устройство.

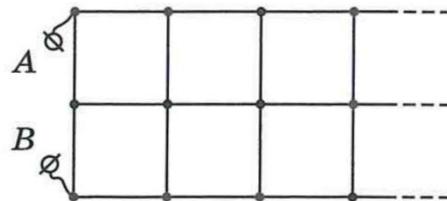
В электрическую цепь включено устройство P с неизвестной электрической схемой. Параметры цепи: $\mathcal{E}_1 = 20$ В, $\mathcal{E}_2 = 10$ В, $r_1 = 2$ Ом, $r_2 = 1$ Ом, $R_1 = 8$ Ом, $R_2 = 9$ Ом. При подсоединении к клеммам A_1B_1 и A_2B_2 идеальных вольтметров они показали одинаковое напряжение. Чему оно равно? Указание: для удобства можно переобозначить параметры как $\mathcal{E}_1 = 2\mathcal{E}$, $\mathcal{E}_2 = \mathcal{E}$, $r_1 = 2r$, $r_2 = r$ и т.д.





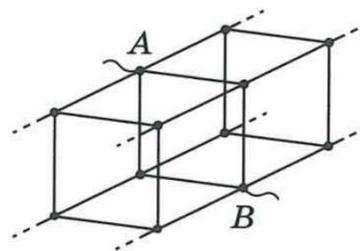
Бесконечные цепи и сетки

1. Определите сопротивление бесконечной цепи между точками A и B , если сопротивление каждого звена равно R .



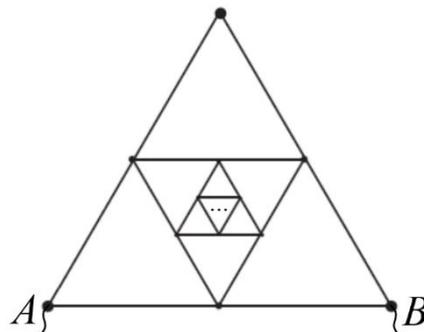
2. \pm бесконечность.

Определите сопротивление бесконечной цепи между точками A и B , если сопротивление каждого звена равно R .

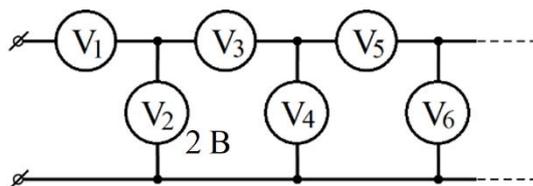


3. Коэффициент (бес)подобия.

Найдите сопротивление проволочной треугольной сетки между точками A и B , если сопротивление куско проволоки AB равно R . Все треугольники равносторонние, их бесконечно много, стороны каждого последующего уменьшаются в 2 раза.

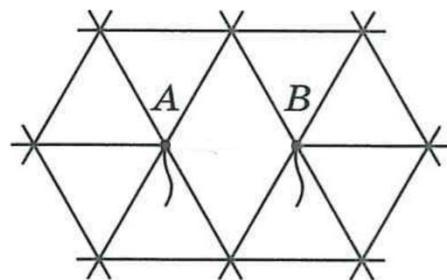


4. Когда цепь, собранную из очень большого числа одинаковых вольтметров, подключили к источнику напряжения, оказалось, что показания второго вольтметра V_2 равны 2 В. Найдите:



- 1) показания вольтметров V_1 и V_3 ;
- 2) сумму показаний всех вольтметров.

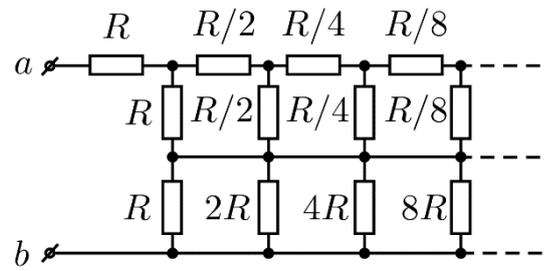
5. У бесконечной сетки удалили одно из ребер. Найдите сопротивление новой сетки, измеренное между точками A и B . Сопротивления всех ребер равны R . Указание: сперва найдите сопротивление «целой» сетки и подумайте, как это может вам помочь.





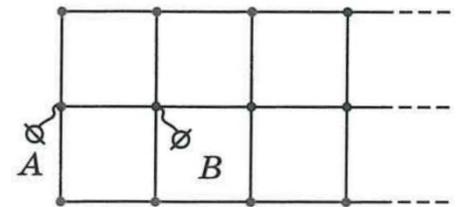
6. Разделяй и властвуй!

Найдите полное сопротивление R_{ab} для цепи, изображённой на рисунке. Указание: «расцепите» цепочку на верхний и нижний ряды.



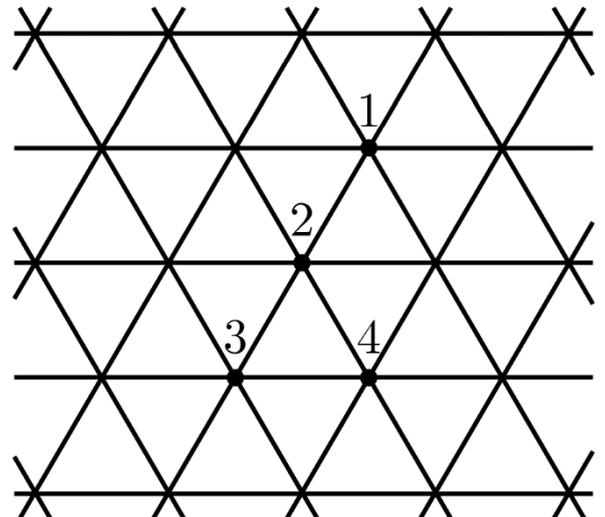
7. Соединяй и властвуй!

Определите сопротивление бесконечной цепи между точками A и B, если сопротивление каждого звена равно R .



8. Красивая задача! ☺

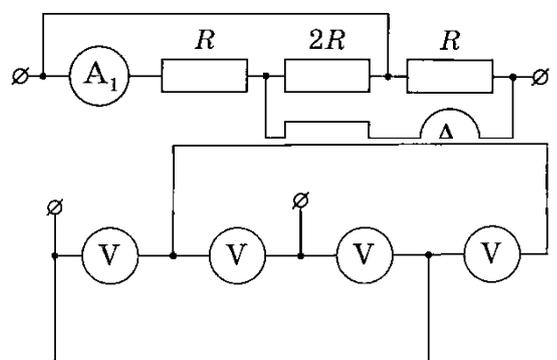
Имеется бесконечная сетка, составленная из одинаковых проволочек. Известно, что сопротивление, измеренное между точками 1 и 2 этой сетки, равно R , а между точками 1 и 3 равно r (на самом деле эти сопротивления связаны определённым образом, но не будем усложнять себе задачу!). Найдите сопротивление между точками 1 и 4, выразив его через R и r .



Перемычки

- 1) Обозначить узлы и резисторы.
- 2) Перерисовать эквивалентную схему без перемычек.
- 3) Расставить токи на эквивалентной схеме.
- 4) Перенести токи на исходную схему.

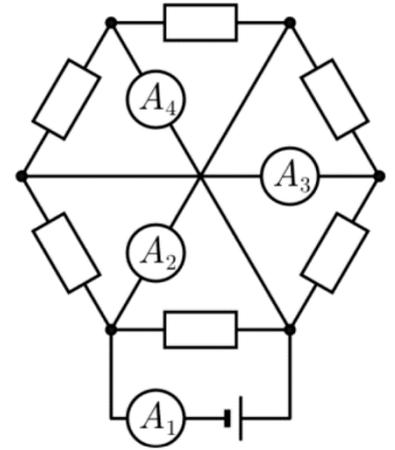
20. Участок цепи, схема которого приведена на рисунке, включает резисторы с сопротивлениями R и $2R$. Показания первого амперметра $i_1 = 0,1$ А. Найдите показания второго амперметра.



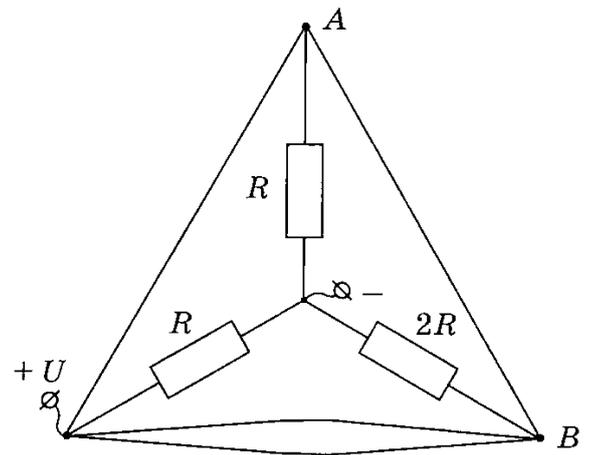


21. Одинаковые вольтметры подключили к источнику с напряжением $U = 12$ В. Найти сумму показаний вольтметров, а также отношение токов в верхней и нижней перемычках.

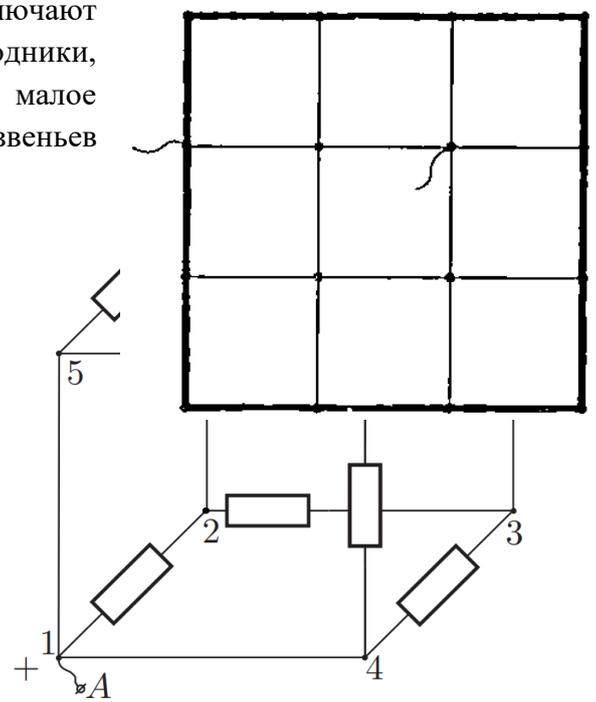
22. Сопротивление каждого из резисторов в цепи, схема которой изображена на рисунке, одинаково и равно 3 Ом. Напряжение между полюсами идеального источника равно 6 В. Все амперметры идеальные, в центре шестиугольника контакта между проводами нет. Найдите показания всех амперметров.



23. Обойдите треугольник по кругу. (Это возможно вообще?) Цепь, состоящая из трех резисторов и четырех одинаковых перемычек (две нижние соединены параллельно), подключена к источнику с напряжением $U = 10$ В (см. рисунок). Считая известными $R = 3$ Ом, определите силу тока в перемычке АВ. Сопротивление перемычек гораздо меньше сопротивления резисторов.



24. Обойдите квадрат по кругу. Проволочную сетку подключают к источнику, как показано на рисунке ниже. Проводники, выделенные толстыми линиями, имеет пренебрежимо малое сопротивление, сопротивление каждого из остальных звеньев сетки равно R . Определите сопротивление проволочной сетки, а также отношение максимальной и минимальной силы тока, текущего в звеньях сетки.



25. Раз КУБ.

В семь рёбер проволочного куба впаяны одинаковые резисторы с сопротивлением R . Сопротивление

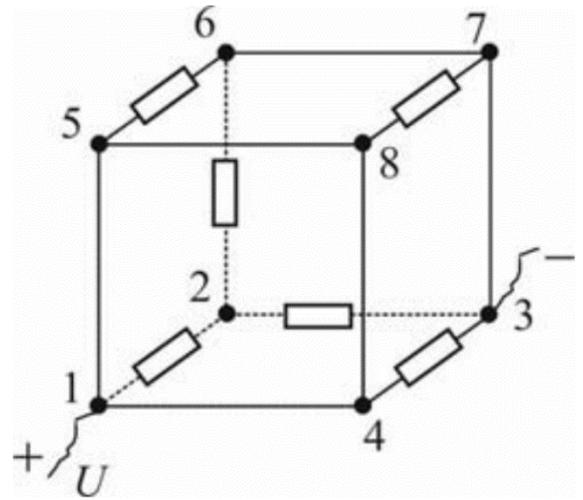


проводников в остальных рёбрах пренебрежимо малы. Между клеммами A и B приложено напряжение U .

- 1) Найдите силу тока i_{AB} и сопротивление куба R_{AB} между клеммами A и B .
- 2) Определите, в каком из рёбер куба сила тока максимальна и чему она равна.
- 3) Укажите, в каких резисторах выделяется максимальная тепловая мощность и чему она равна.

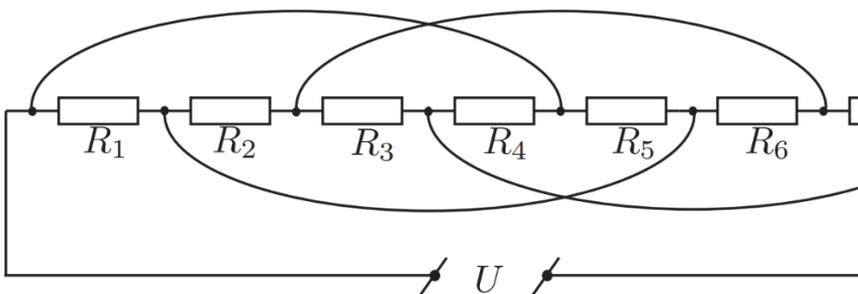
26. Два КУБ.

В шесть рёбер куба впаяны одинаковые резисторы с сопротивлениями R , как показано на рисунке. Сопротивления перемычек в остальных рёбрах одинаковы и очень малы. Источник напряжения U подключён к выводам 1 и 3 куба. Найдите общее сопротивление куба и токи, текущие через все рёбра куба (в ответе изобразите куб с распределением токов).

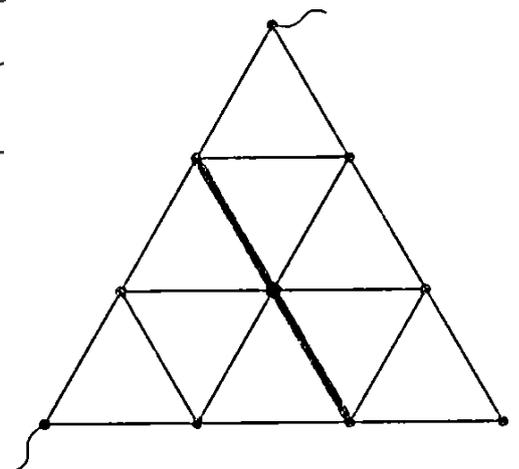


27. As simple as abc 1-2-3-4-5-6-7.

Электрическая цепь составлена из семи последовательно соединённых резисторов: $R_1 = 1$ кОм, $R_2 = 2$ кОм, $R_3 = 3$ кОм, $R_4 = 4$ кОм, $R_5 = 5$ кОм, $R_6 = 6$ кОм, $R_7 = 7$ кОм и четырёх перемычек. Входное напряжение $U = 53,2$ В. Укажите, в каком из резисторов сила тока минимальна. Найдите эту силу тока. В каком из резисторов сила тока максимальна? Найдите её.



28. Проволочную сетку подключают к источнику, как показано на рисунке ниже. Проводники, выделенные толстыми линиями, имеет пренебрежимо малое сопротивление, сопротивление каждого из остальных звеньев сетки равно R .





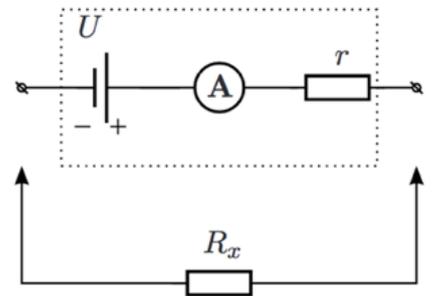
Определите сопротивление проволочной сетки, а также отношение максимальной и минимальной силы тока, текущего в звеньях сетки.

Задачи с омметрами

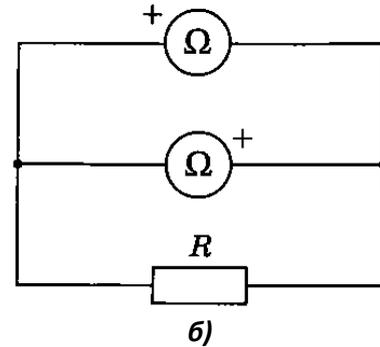
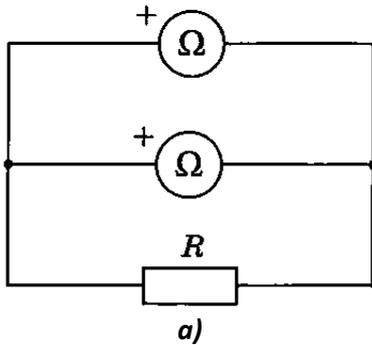
Простейшая схема работы омметра: омметр измеряет силу тока $I_a = \frac{U}{R_x + r}$, идущего через его амперметр (с учетом знака!), и пересчитывает ее в сопротивление резистора:

$$R_x = \frac{U}{I_a} - r.$$

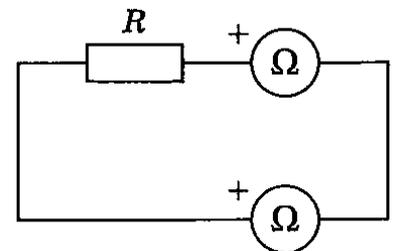
Важно!! Это лишь одна из возможных схем омметра (в принципе, могут быть и другие).



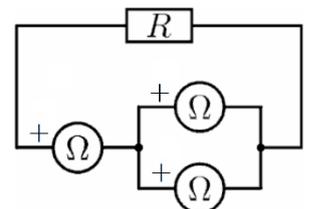
29. Считая сопротивление R известным, найдите показания одинаковых омметров в цепях:



30. Показания двух омметров, последовательно соединенных с резистором, равны $R_1 = -100$ Ом и $R_2 = 180$ Ом. Определите, чему в действительности равно сопротивление резистора R .



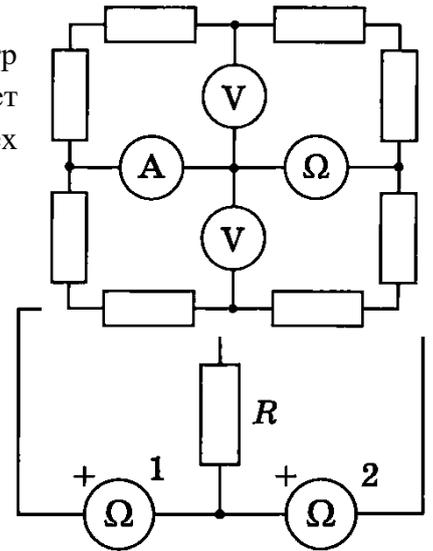
31. На рисунке приведена схема цепи, состоящей из трёх одинаковых омметров Ω , с помощью которых измеряется неизвестное сопротивление R резистора. Полярность включения у всех омметров одинаковая. Один из омметров показывает сопротивление $R_1 = 100$ Ом, а другой – $R_2 = 800$ Ом. Каковы показания R_3 третьего омметра? Чему равно сопротивление R резистора?





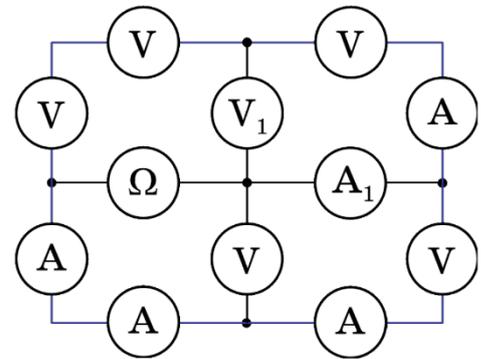
32. Симметрия – это прекрасно!

В цепи, схема которой представлена на рисунке ниже, омметр показывает 1000 Ом, а вольтметры по 2 В. Что показывает амперметр? Вольтметры и амперметр идеальные. Сопротивления всех резисторов одинаковы.



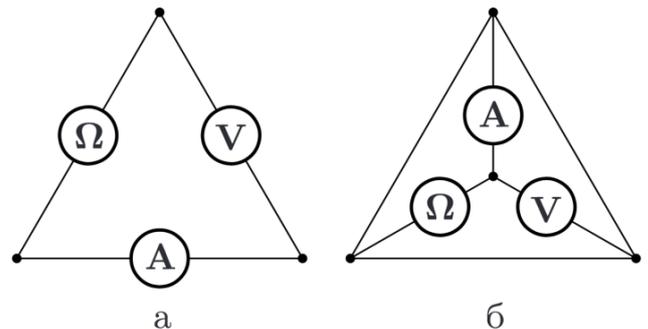
33. Определите показания одинаковых вольтметров, включенных в электрическую цепь, если сопротивления резисторов известны и указаны на рисунке. Внутреннее сопротивление омметра равно $2R$, полярности омметров указаны на схеме.

34. По известным показаниям вольтметра V_1 и амперметра A_1 ($U_1 = 1$ В, $I_1 = 6$ мкА) определите показания остальных приборов в электрической цепи, схема которой приведена на рисунке. Все вольтметры одинаковые и их сопротивления гораздо больше сопротивлений амперметров.



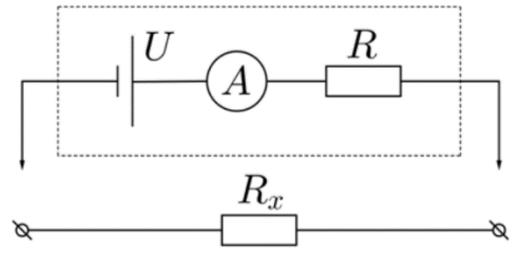
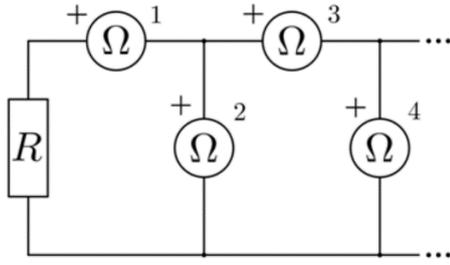
35. Треугольник – звезда.

Соединенные треугольником приборы (рисунок а) показывают значения $R_1 = 1100$ Ом, $U_1 = 1,0$ В, $I_1 = 1,0$ мА. Если их соединить звездой (рисунок б), то амперметр покажет $I_2 = 2,0$ мА. Что при этом покажут вольтметр и омметр? Определите внутреннее сопротивление r и напряжение U источника омметра.



36. Шо-шо? Опять-опять бесконечные цепи?!

Электрическая цепь собрана из одинаковых омметров и резистора, сопротивление которого $R = 1$ кОм. Все омметры включены в цепь так, что у приборов с нечётным номером клемма, помеченная знаком плюс, находится слева, а у чётных — сверху. Определите показания первого, четвёртого и тринадцатого омметров. **Указание:** считайте, что омметр имеет схему, изображенную на рисунке справа, причем его внутреннее сопротивление тоже равно $R = 1$ кОм.

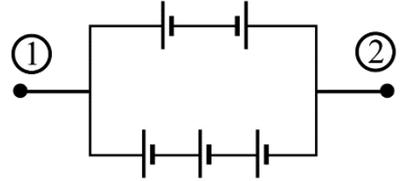


Метод эквивалентного источника. Работа тока

37. Вот тут, к примеру, источники – идеальные или нет?

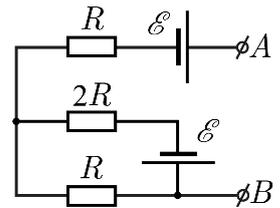
Из пяти одинаковых батареек собрали цепь, схема которой изображена на рисунке. Что покажет вольтметр, подключённый к выводам 1 и 2? ЭДС каждой из батареек равна $\mathcal{E} = 5$ В.

$$V = 6\mathcal{E}/5 = 6 \text{ В}$$

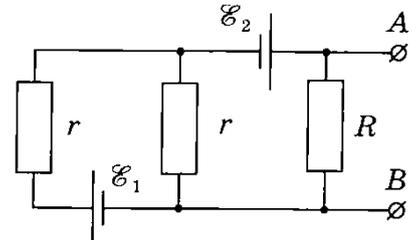


38. Максимально теплая задача :)

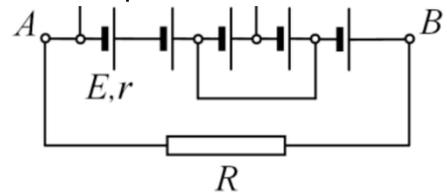
- 1) Для схемы на рисунке найдите ЭДС \mathcal{E}_0 и внутреннее сопротивление r_0 эквивалентного источника.
- 2) К клеммам A и B подключают резистор с переменным сопротивлением R_x . При каком значении этого сопротивления тепловая мощность, выделяющаяся на нем, будет максимальной?
- 3) Чему равна эта максимальная мощность?



39. Для схемы, изображенной на рисунке, найдите ЭДС \mathcal{E}_0 и внутреннее сопротивление r_0 эквивалентного источника.



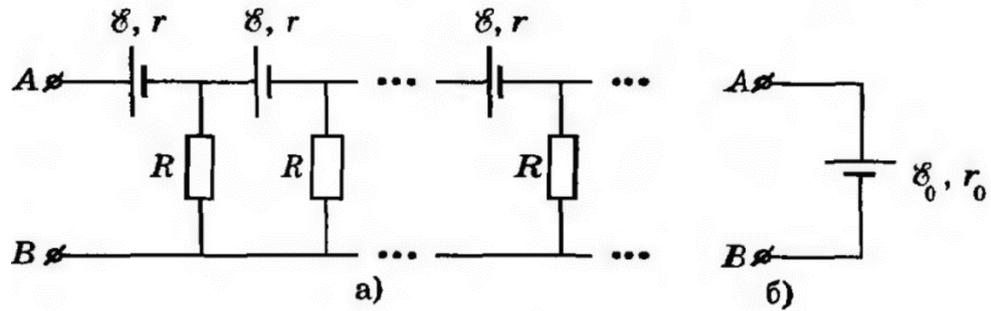
40. Найти ток I через резистор с сопротивлением R в схеме, изображенной на рисунке. Все источники одинаковые и имеют ЭДС \mathcal{E} и внутреннее сопротивление r . Сопротивлением соединительных проводов пренебречь.



41. Шо? Опять бесконечные цепи?!

Очень длинная цепочка составлена из одинаковых батарей, имеющих ЭДС $\mathcal{E} = 12$ В и внутреннее сопротивление $r = 4$ Ом, и резисторов с сопротивлением $R = 15$ Ом (рис. а).

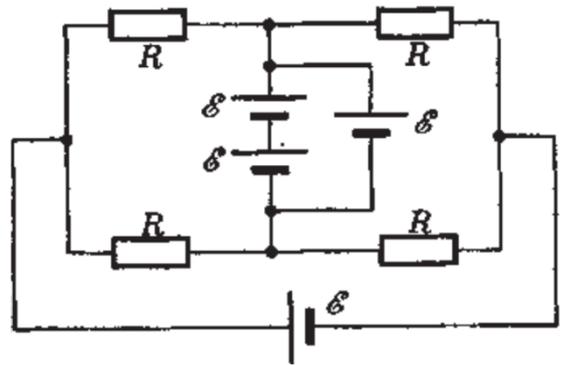
- 1) Определите ЭДС \mathcal{E}_0 и внутреннее сопротивление r_0 эквивалентной батареи (рис. б).
- 2) Что покажет идеальный амперметр, если его подключить между клеммами A и B ?



.....

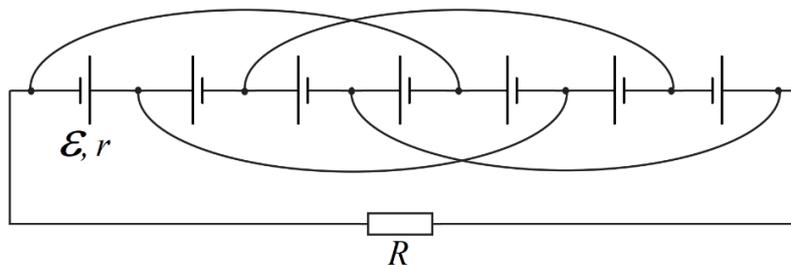
42. Физика – это умение вовремя учесть и вовремя пренебречь. © РР

Экспериментатор Глюк собрал электрическую цепь, подключив по ошибке одну из батареек параллельно, а не последовательно двум другим. Найдите токи через резисторы в получившейся цепи. Каждый резистор имеет сопротивление R . Все батарейки одинаковы и имеют ЭДС \mathcal{E} . Внутренние сопротивления батареек малы по сравнению с R .

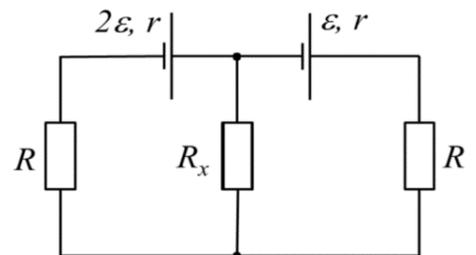


43. Следите за полярностью!

Семь одинаковых батареек, имеющих ЭДС \mathcal{E} и внутреннее сопротивление r , соединили, как показано на рисунке и подключили к резистору сопротивлением R . Найдите направление и величину тока через резистор R . Сопротивлением соединительных проводов пренебречь.



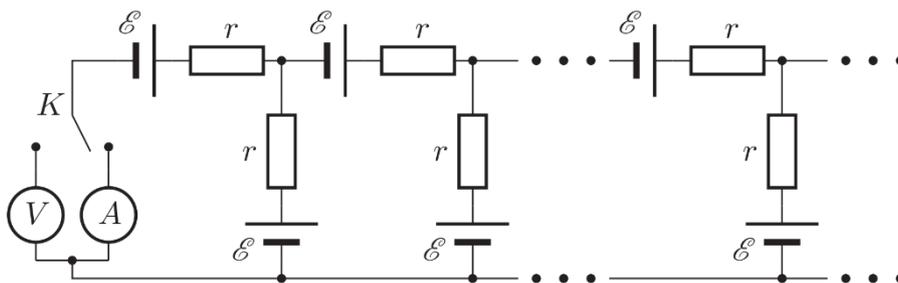
44. Электрическая цепь состоит из двух источников с ЭДС $2\mathcal{E}$ и \mathcal{E} с одинаковыми внутренними сопротивлениями r , а также трёх сопротивлений нагрузки, два из которых известны и равны $R = 5r$. Какой должна быть величина сопротивления R_x , чтобы на нём выделялась мощность, равная $\mathcal{E}^2/64r$ при минимальной (из возможных) величине силы тока через это сопротивление?



45. На рисунке изображена полу бесконечная цепочка, состоящая из одинаковых источников постоянного тока с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r . К входным клеммам цепочки с



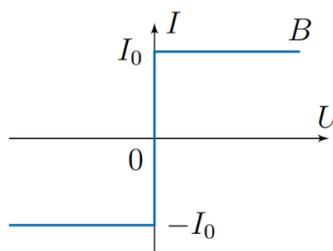
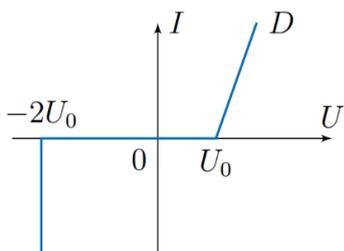
помощью перекидного ключа K могут быть подключены либо идеальный вольтметр V , либо идеальный амперметр A . Определите показания этих приборов.



Нелинейные элементы. Часть 1.

46. Вах, какое сложение ВАХ!

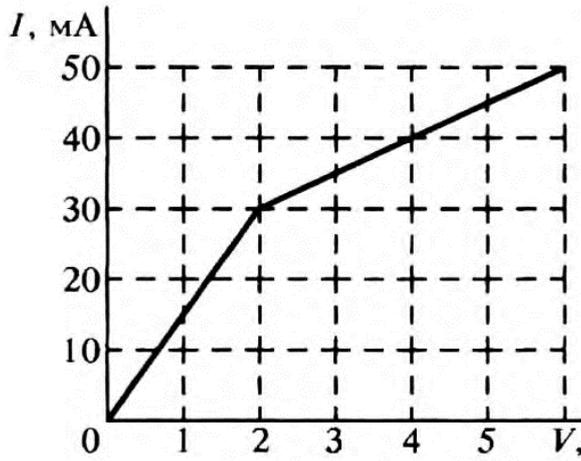
На рисунке приведены идеализированные вольт-амперные характеристики диода и бареттера. Постройте вольт-амперную характеристику участка цепи, содержащего бареттер и диод, включенные: а) последовательно; б) параллельно.



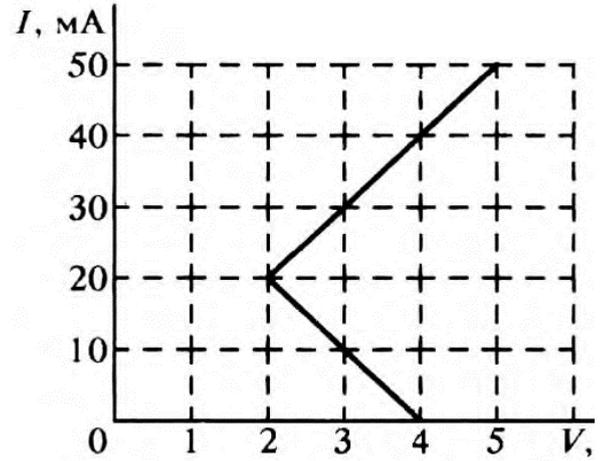
47. Вах, какое вычитание ВАХ!

На рисунке ниже изображена вольт-амперная характеристика двух соединённых параллельно элементов, одним из которых является резистор с сопротивлением $R = 200 \text{ Ом}$, а другим – неизвестный элемент X . Используя заданную вольт-амперную характеристику, постройте вольт-амперную характеристику элемента X .

48. Кто такой Y ? На рисунке ниже изображена вольт-амперная характеристика двух соединённых последовательно элементов, одним из которых является резистор с сопротивлением $R = 100 \text{ Ом}$, а вторым – неизвестный элемент Y . Используя заданную вольт-амперную характеристику, постройте вольт-амперную характеристику элемента Y . И, самое главное, кто такой Y ?

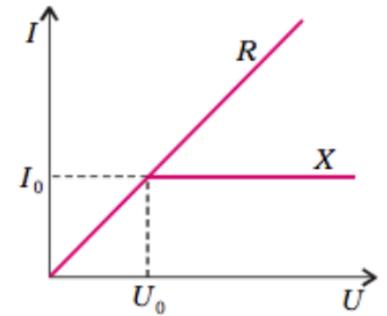
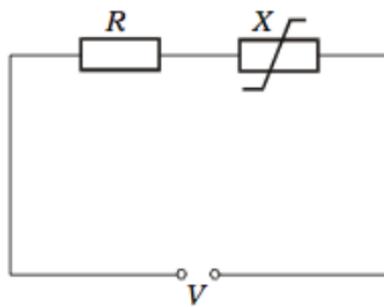


Задача 2

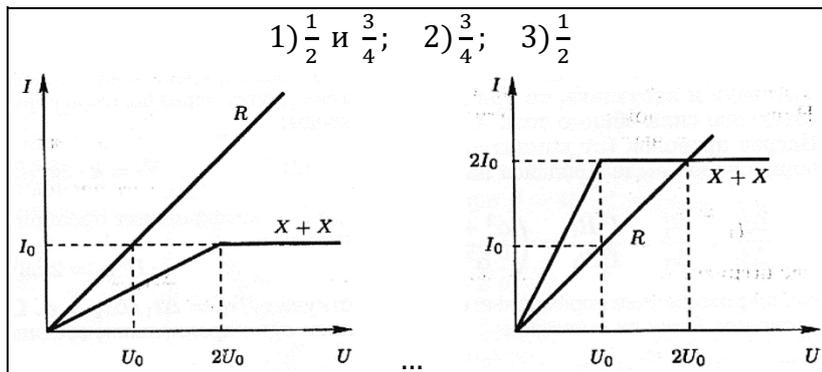


Задача 3

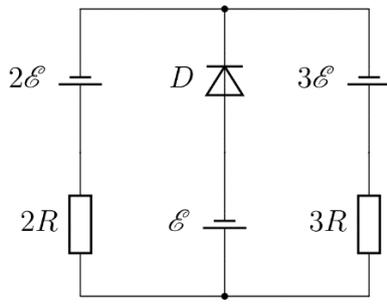
49. Электрическая цепь (рис. слева) состоит из резистора R и нелинейного элемента X , включённых последовательно. Вольт-амперные характеристики (ВАХ) элементов R и X известны (рис. справа). На участке $0 \leq U \leq U_0$ ВАХ обоих элементов совпадают. На вход цепи подается некоторое напряжение V .



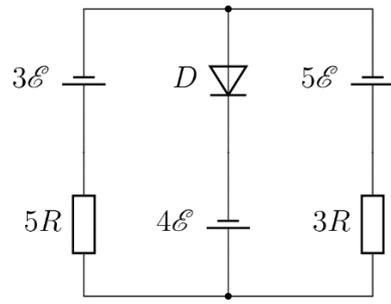
- 1) Определите, какая доля η_1 теплоты, выделяющейся в цепи, приходится на нелинейный элемент в случаях $V \leq 2U_0$ и $V = 4U_0$.
- 2) Включим последовательно в цепь ещё один элемент X . Изобразите ВАХ двух последовательно включённых нелинейных элементов. Определите, какая доля η_2 теплоты, выделяющейся в цепи, приходится на оба нелинейных элемента в случае $V = 4U_0$.
- 3) А теперь подключим второй элемент X параллельно первому. Изобразите ВАХ двух параллельно включённых нелинейных элементов. Определите, какая доля η_3 теплоты, выделяющейся в цепи, приходится на оба нелинейных элемента в случае $V = 4U_0$.



50. В схемах, изображённых на рисунке ниже, определите ток через идеальный диод D и напряжение на диоде. Параметры схемы указаны на рисунке, внутренними сопротивлениями батарей пренебречь.

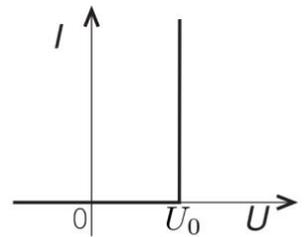
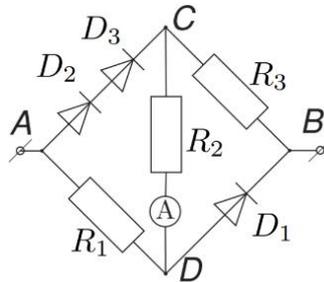


a)



б)

51. Электрическая цепь, схема которой представлена на рисунке ниже, содержит три одинаковых резистора сопротивлением $R_1 = R_2 = R_3 = R$ и три одинаковых диода D_1, D_2 и D_3 . Зависимость силы тока, протекающего через диод, от напряжения на нём представлена на рисунке справа. Определите силу тока через амперметр I_A в зависимости от напряжения U_{AB} между точками A и B . Амперметр идеальный. Постройте график зависимости I_A от U_{AB} , указав значение силы тока и напряжение в характерных точках.



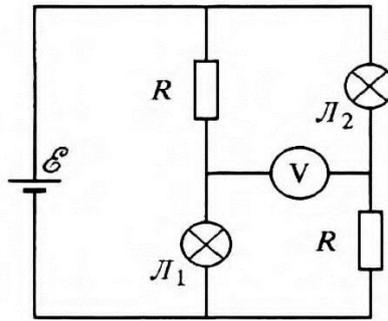
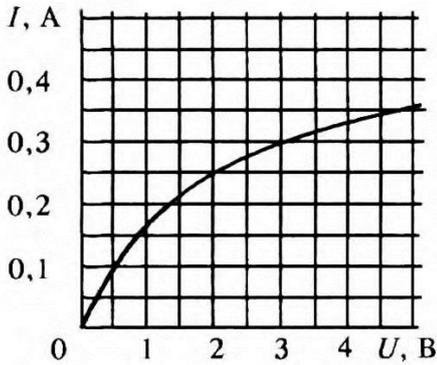
Нелинейные элементы. Часть 2

52. На рисунке ниже вольт-амперная характеристика лампочки накаливания приведена слева. Две такие лампочки L_1 и L_2 включены в схему, изображённую на правом рисунке. ЭДС батареи $\mathcal{E} = 4,5$ В, сопротивление резисторов $R = 15$ Ом, внутренним сопротивлением батареи пренебречь.

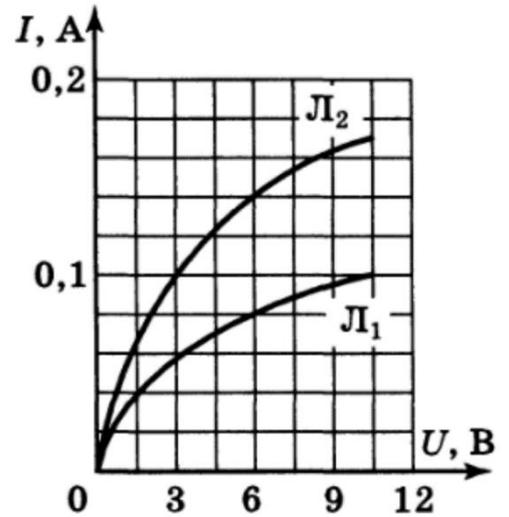
- 1) Чему равен ток через каждую лампочку?
- 2) Что покажет идеальный вольтметр V ?

53. Вах, какие ВАХ! Лампочки L_1 и L_2 , имеющие вольт-амперные характеристики, показанные на рисунке, соединили последовательно и подключили к источнику с напряжением $U = 12$ В.

- 1) Найдите силу тока, текущего при этом через лампочку L_1 . Какое напряжение падает при этом на каждой из ламп?
- 2) Чему равна сила тока, протекающая через лампочку L_1 , если лампочки L_1 и L_2 последовательно соединить с L_3 , имеющей такую же вольт-амперную характеристику, как и L_2 , и подключить эту «гирлянду» к источнику с напряжением $U = 12$ В?



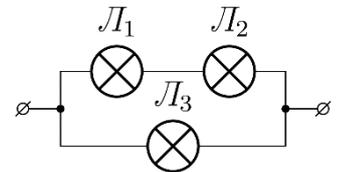
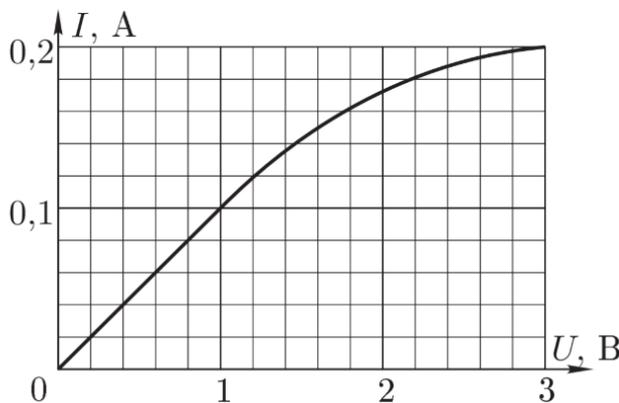
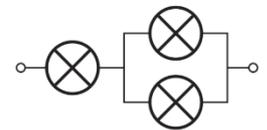
Задача 1



Задача 2

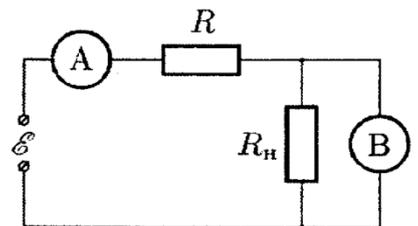
54. Линейно-нелинейный элемент.

Экспериментатор Глюк собрал электрическую цепь из одинаковых лампочек (правый рисунок), вольтамперная характеристика каждой из которых представлена на графике (нижний рисунок). Определите, какой будет сила тока в цепи, если приложенное к ней напряжение U_0 равно: а) 0,15 В; б) 3 В.



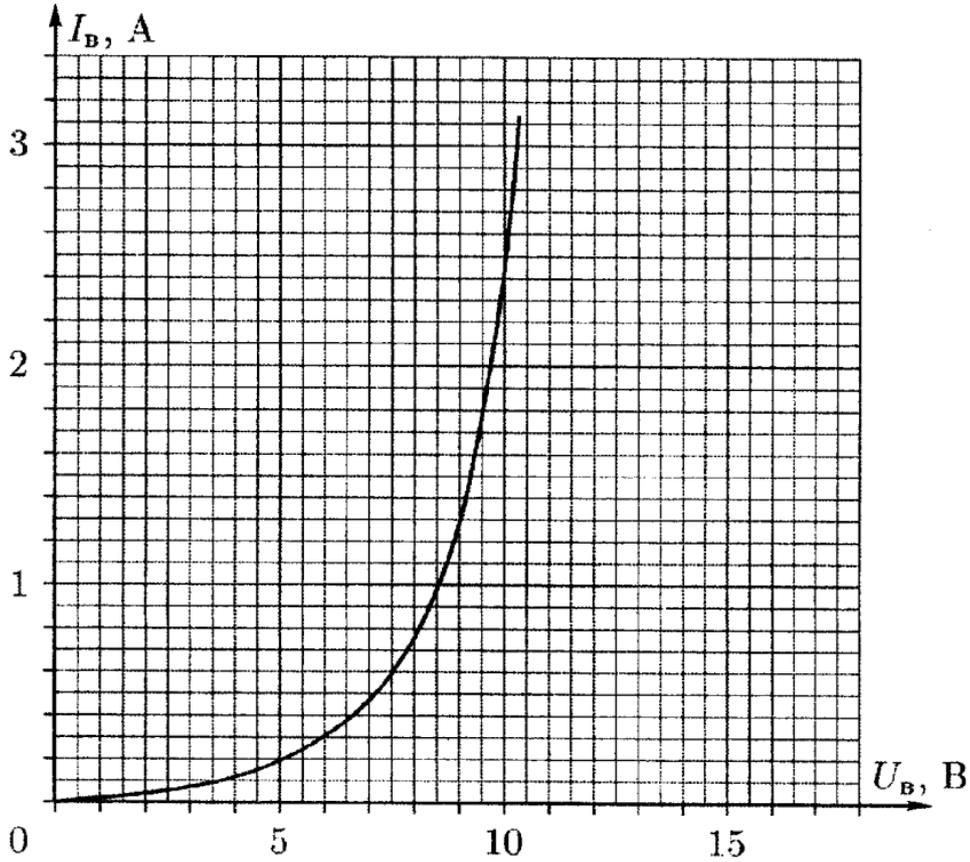
55. Вольтамперные характеристики газовых ламп L_1 , L_2 и L_3 описываются зависимостями: $U_1 = \alpha I^2$, $U_2 = 3\alpha I^2$, $U_3 = 12\alpha I^2$, где α – некоторая известная размерная константа. Лампы соединили так, как показано на рисунке. Какова зависимость напряжения на концах «гирлянды» от силы текущего через нее тока $U(I)$ –?

56. В некоторых случаях для предохранения электроприборов от больших изменений входного напряжения применяются нелинейные полупроводниковые элементы – варисторы, включаемые параллельно прибору, роль которого на правом рисунке играет нагрузочное сопротивление R_n . Здесь $R_n = 10$ Ом, $R = 10$ Ом – балластное сопротивление, В – варистор, вольт-амперная характеристика которого изображена на нижнем рисунке, I – показания амперметра А, \mathcal{E} – входное напряжение. В номинальном режиме амперметр показывает силу тока $I = I_0 = 1,0$ А.



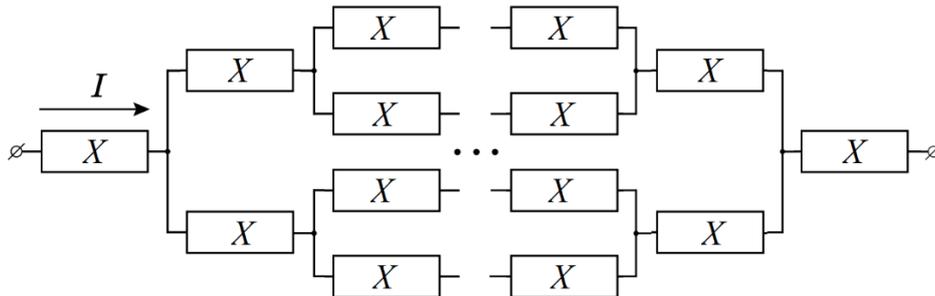


- 1) Определите входное напряжение \mathcal{E}_1 в номинальном режиме, а также напряжение U_{B1} на варисторе и силу тока I_{B1} , текущего через него.
- 2) Пусть входное напряжение возросло в два раза и стало равным $\mathcal{E}_2 = 2\mathcal{E}_1$. Определите новые напряжение на варисторе и силу тока, протекающего через варистор.

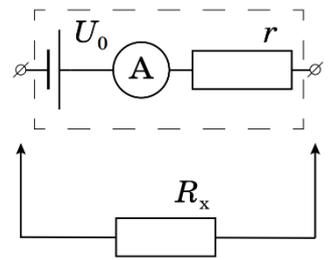


57. $S_{\infty} = 1 + q + q^2 + \dots = \frac{1}{1-q}$ при $q < 1$.

Нелинейный элемент X имеет вольтамперную характеристику $I = \alpha U^2$, где α – известный коэффициент. Получите формулу зависимости силы тока I от напряжения в цепи, составленной из бесконечного числа нелинейных элементов X .



58. По упрощённой модели омметр состоит из соединённых последовательно идеального источника постоянного напряжения U_0 , резистора сопротивлением r и идеального амперметра (см. рисунок). При подключении к омметру резистора сопротивлением R_x показания

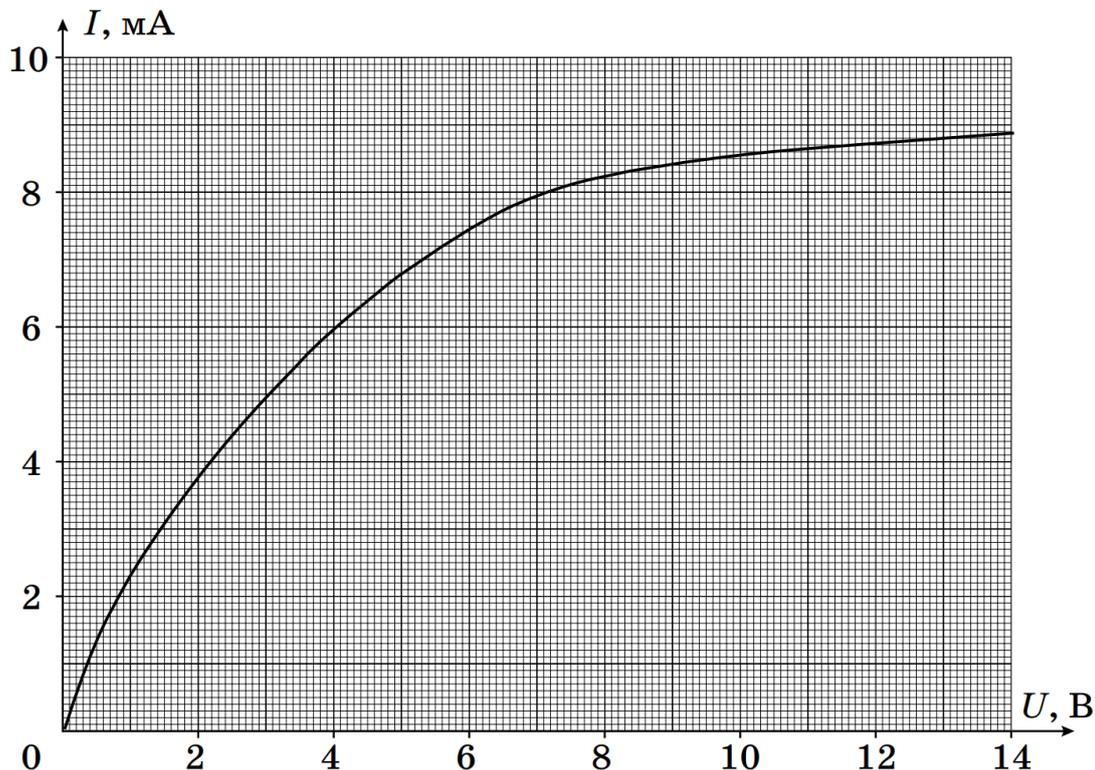




амперметра автоматически пересчитываются так, что на цифровом табло прибора отображается значение сопротивления подключенного резистора.

Омметр при подключении к нелинейному элементу Y , вольт-амперная характеристика которого приведена ниже, показывает сопротивление $R_Y = 800 \text{ Ом}$. Если параллельно к элементу Y подключить резистор сопротивлением $R = 1,0 \text{ кОм}$, омметр покажет значение $R_1 = 400 \text{ Ом}$. Определите напряжение U_0 источника омметра и его сопротивление r . Найдите показания омметра R_2 при подключении к нему нелинейного элемента Y и резистора сопротивлением R , соединённых последовательно.

Примечание. Необходимые для решения построения выполните на выданном отдельном бланке и сдайте его вместе с работой.



59. Нелинейная гирлянда.

На рисунке слева изображена вольт-амперная характеристика некоторой лампочки накаливания. Из таких лампочек собирают бесконечную цепь (см. рисунок справа). Какое максимальное напряжение можно приложить к клеммам, чтобы ни одна лампочка не перегорела?

