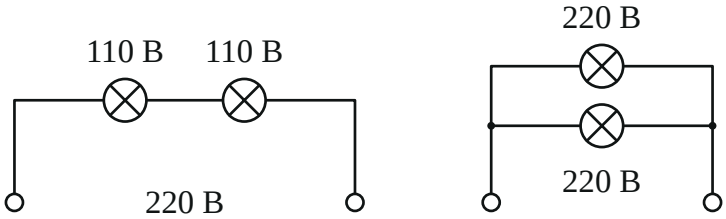
Люстра с двойным выключателем

Задача 4. [ИОШ 2019/20, 9 класс, задача 4] Предложите схему включения люстры с пятью лампами в бытовую электрическую сеть с помощью двойного выключателя. Схема должна обеспечивать следующие режимы работы: при замыкании одного выключателя полным накалом должны загораться две лампочки, другого — три лампочки. При замыкании обоих выключателей полным накалом должны гореть все пять лампочек.

▲ **Решение. Что происходит.** Это задача на последовательное и параллельное соединение потребителей. Лампа горит «полным накалом», только когда на ней номинальное напряжение сети $U = 220$ В: каждая лампа рассчитана именно на сеть. Значит, каждая лампа должна подключаться прямо к двум проводам сети, без других ламп последовательно с ней. Двойной выключатель — это две клавиши K1 и K2 с общим входом: к нему подводят один провод сети, а каждая клавиша замыкает свою отдельную цепь.

Обозначения. $U = 220$ В — напряжение сети; P — номинальная мощность лампы; $R = U^2/P$ — её сопротивление в рабочем режиме; K1, K2 — клавиши двойного выключателя.

1. Почему лампы группы соединяют параллельно. Две одинаковые лампы, включённые последовательно, делят напряжение сети пополам (ток через них один, сопротивления равны), и на каждой по закону Ома $U/2 = 110$ В. Мощность лампы по закону Джоуля — Ленца $P' = (U/2)^2/R = P/4$ — она горит на четверть мощности, а не полным накалом. При параллельном соединении напряжение на каждой лампе равно напряжению сети U, и каждая выделяет номинальную мощность $P = U^2/R$.



а) последовательно б) параллельно

Две лампы от сети: последовательно на каждой по 110 В (тусклый свет), параллельно на каждой полные 220 В.

2. Схема люстры. Один провод сети подводим к общему входу двойного выключателя. От клавиши K1 идёт провод к группе из двух ламп, соединённых параллельно; от клавиши K2 — к группе из трёх ламп, тоже соединённых параллельно. Вторые выводы всех пяти ламп соединяем общим проводом со вторым проводом сети. Получаются две независимые параллельные ветви, каждая со своей клавишей.

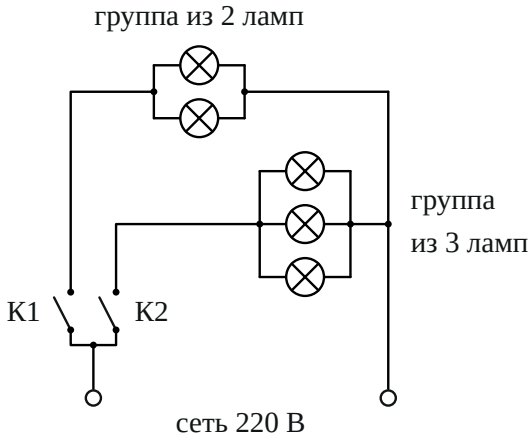
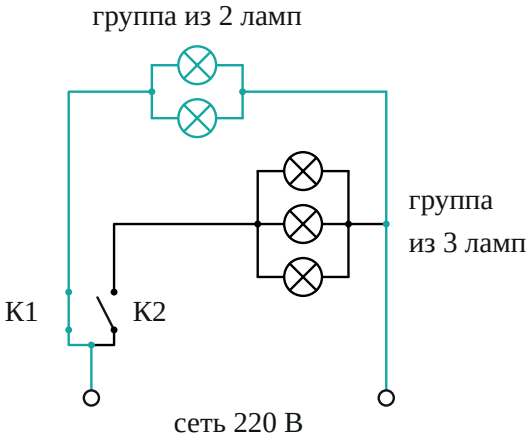


Схема включения люстры: K1 управляет группой из двух ламп, K2 — группой из трёх; все лампы подключены к сети параллельно (обе клавиши разомкнуты).

3. Проверка режимов. Пройдём по каждому режиму.

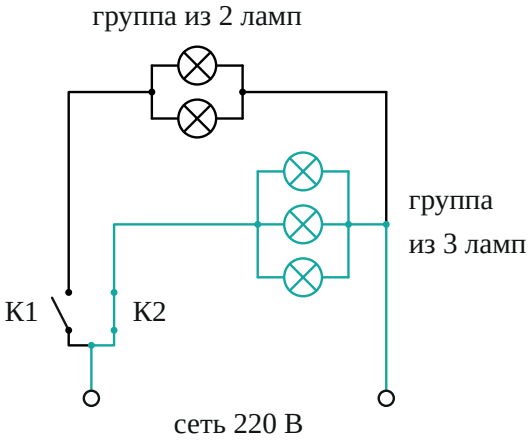
Замкнута только K1. Ток идёт от входа через K1 к двум параллельным лампам и возвращается по общему проводу. На каждой из этих ламп

полное напряжение сети U — две лампы горят полным накалом. Ветвь K2 разомкнута, три лампы не горят.



Замкнута клавиша K1: ток (бирюзовые провода) идёт только через две лампы.

Замкнута только K2. Аналогично на каждой из трёх ламп напряжение U — горят три лампы полным накалом, две лампы ветви K1 не горят.



Замкнута клавиша K2: ток идёт только через три лампы.

Замкнуты обе клавиши. Обе ветви подключены к сети параллельно, на каждой из пяти ламп напряжение U, все пять горят полным накалом.

Ветви друг на друга не влияют: напряжение на лампе одной группы не зависит от того, включена ли другая группа (сопротивлением проводов пренебрегаем).

Обратите внимание. Ошибка, которую легко сделать, — поставить одну из групп последовательно с другой или лампы группы последовательно друг с другом: тогда лампы горят не полным накалом, а при замыкании одной клавиши может гореть и «чужая» группа. В правильной схеме у каждой лампы два вывода подключены прямо к двум проводам сети (через свою клавишу).

Проверка. Ток от сети при обеих замкнутых клавишах равен сумме токов ветвей, $I = 5P/U$ (при $P = 60$ Вт это $5 \cdot 60/220 \approx 1{,}4$ А), а мощность всей люстры $5P$ — ровно сумма номинальных мощностей, как и должно быть, если каждая лампа работает в номинальном режиме.

Смысл: двойной выключатель — это два обычных выключателя с общим входом; каждый управляет своей параллельной группой ламп.

Ответ. Один провод сети — к общему входу двойного выключателя; клавиша К1 — к двум лампам, соединённым параллельно, клавиша К2 — к трём лампам, соединённым параллельно; вторые выводы всех пяти ламп — общим проводом ко второму проводу сети (схема — на рисунке в решении).