

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет ИТМО»
Инженерно-исследовательский факультет**

Лабораторная работа №4

«Построение хода луча в оптической системе.
Основные соотношения параксиальной оптики»

по дисциплине «Световые системы»

Санкт-Петербург
2021

Цель работы:

Практическое знакомство с правилами построения хода луча в оптических системах и с основными соотношениями параксиальной оптики.

Основные теоретические сведения:

Оптическая система делит все пространство на пространство предметов и пространство изображений. Элементы, относящиеся к пространству изображений, графически всегда обозначаются штрихом '.

В параксиальной области (бесконечно близко к оптической оси), любая реальная система ведет себя как идеальная:

- Каждой точке пространства предметов можно поставить в соответствие сопряженную ей точку в пространстве изображений.
- Каждая прямая линия имеет сопряженную ей прямую линию в пространстве изображений.
- Каждая плоскость пространства предметов имеет сопряженную ей плоскость в пространстве изображений.

Предмет (y) – это совокупность точек, из которых выходят лучи, попадающие в оптическую систему.

Изображение (y') – это совокупность точек, в которые приходят лучи из оптической системы.

Линейное увеличение оптической системы – это отношение линейного размера изображения в направлении, перпендикулярном оптической оси, к соответствующему размеру предмета в направлении перпендикулярном оптической оси:

$$\beta = \frac{y'}{y} \quad (1)$$

Правило знаков

Положительным направлением света считается распространение слева направо. Соответственно, любые отрезки вдоль оптической оси, отмеряемые в положительном направлении, считаются также положительными. Любые же

отрезки, отмеряемые в противоположном направлении, считаются отрицательными.

Отрезки, перпендикулярные оптической оси считаются положительными, если они располагаются над осью.

Кардинальные точки

На рисунке 1 показаны кардинальные точки центрированной оптической системы.

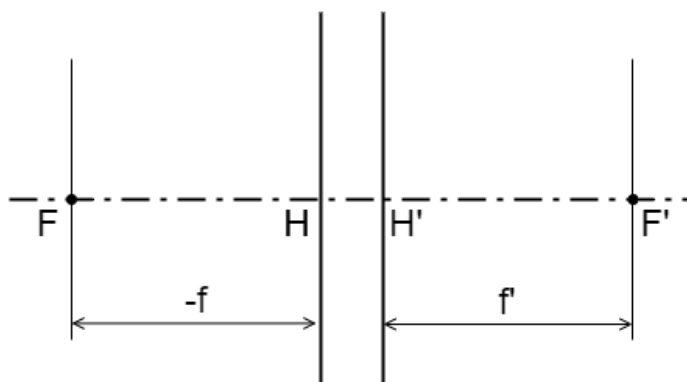


Рисунок 1 – Кардинальные точки оптической системы

- *Главными плоскостями* системы называется пара сопряженных плоскостей, в которых линейное увеличение равно единице ($\beta = 1$). Точки пересечения главных плоскостей с оптической осью называются *главными точками* и обозначаются H и H' .
- *Передняя фокальная плоскость* – плоскость в пространстве предметов, сопряженная с бесконечно удаленной плоскостью в пространстве изображений.

Задняя фокальные плоскости – плоскость в пространстве изображений, сопряженная с бесконечно удаленной плоскостью в пространстве предметов.

Передний (F) и задний (F') фокусы – это точки пересечения соответствующих фокальных плоскостей с оптической осью.

Переднее фокусное расстояние (f) – это расстояние от передней главной точки до переднего фокуса. На рисунке 1 это расстояние

отмечено с минусом, так как оно отсчитывается против положительного хода.

Заднее фокусное расстояние (f') – это расстояние от задней главной точки до заднего фокуса.

Правила построения хода лучей в оптической системе

1. Лучи, идущие параллельно оптической оси, после линзы пройдут через точку заднего фокуса (Рисунок 2).

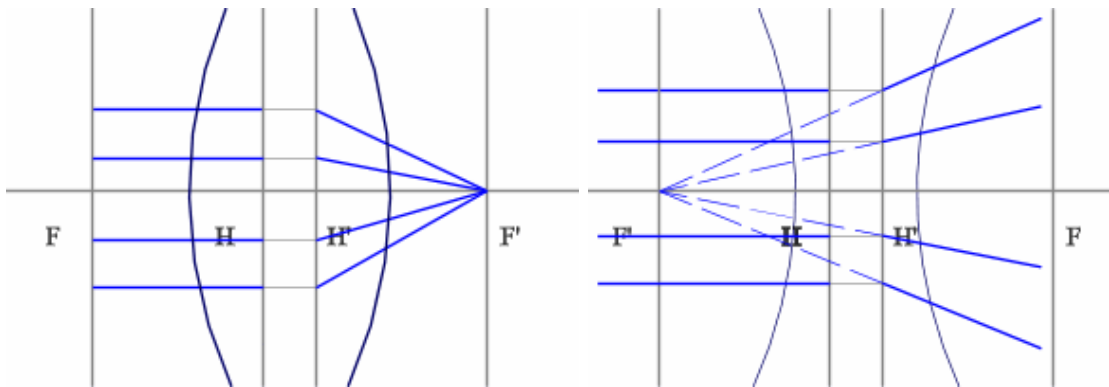


Рисунок 2 – Иллюстрация хода лучей для собирающей (слева) и рассеивающей (справа) линз

2. Лучи, проходящие через точку переднего фокуса, после линзы пойдут параллельно оптической оси (Рисунок 3).

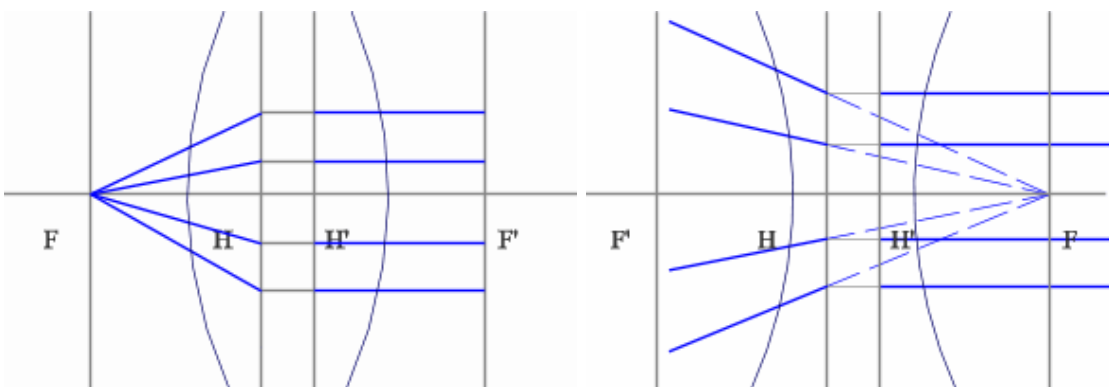


Рисунок 3 – Иллюстрация хода лучей для собирающей (слева) и рассеивающей (справа) линз

3. Лучи, идущие параллельно друг другу, сойдутся в одной точке на задней фокальной плоскости (Рисунок 4).

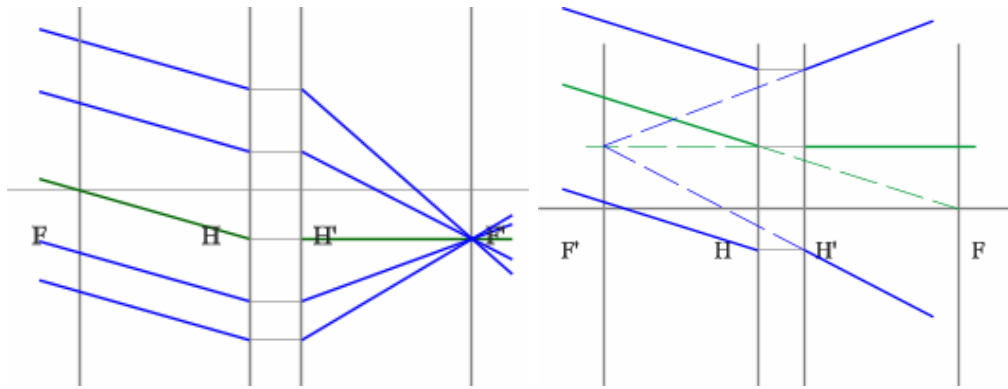


Рисунок 4 – Иллюстрация хода лучей для собирающей (слева) и рассеивающей (справа) линз

4. Лучи, идущие из одной точки на передней фокальной плоскости, пойдут после линзы параллельно друг другу (Рисунок 5).

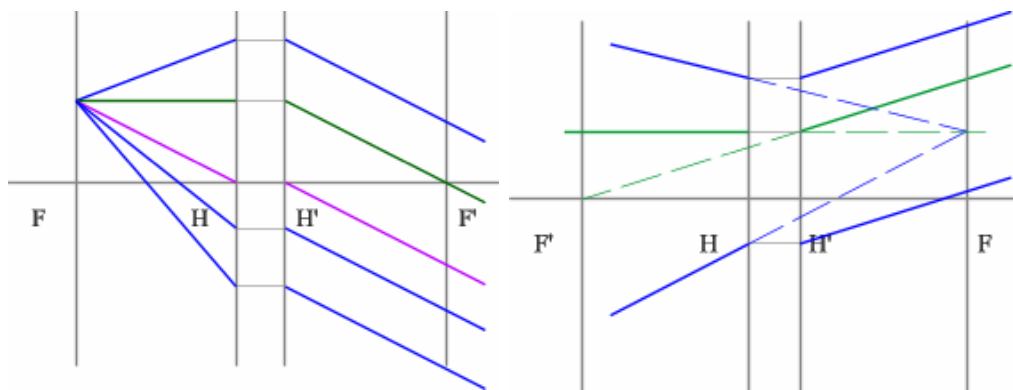


Рисунок 5 – Иллюстрация хода лучей для собирающей (слева) и рассеивающей (справа) линз

На рисунках 4–5 зеленым отмечены лучи, согласующиеся с правилами 1–2. При построении лучей через систему дополнительное построение зеленых лучей помогает определить точку, в которой должны оказаться лучи. Также на рисунке 5 стоит отметить фиолетовый луч: для системы, находящейся в однородной среде (то есть, при одинаковых средах до и после линзы), луч, проходящий через центр линзы, не преломляется.

Зависимость между положением и размером предмета и изображения

На рисунке 6 представлена схема, из которой можно вывести соотношения, связывающие между собой фокусные расстояния, положение и размеры предмета и изображения.

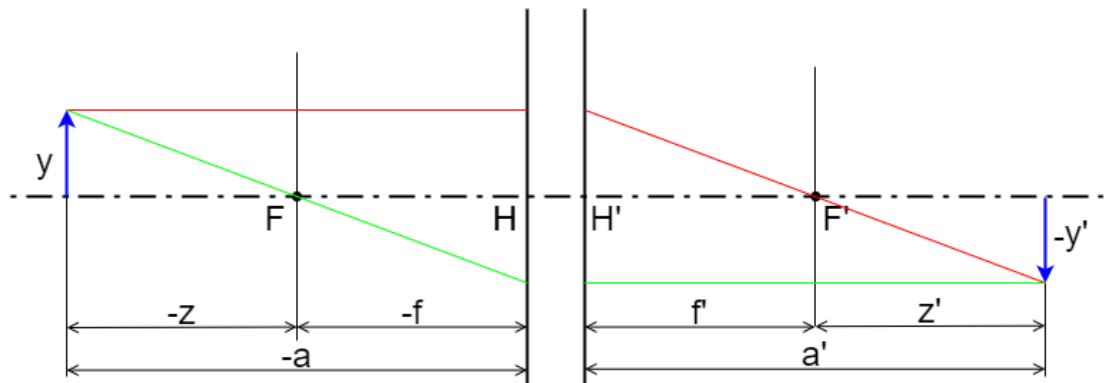


Рисунок 6 – Схема для вывода некоторых соотношений параксиальной оптики

Здесь помимо уже рассмотренных фокусных расстояний отмечены следующие отрезки:

- a (a') – расстояние между главной плоскостью и предметом (изображением).
- z (z') – расстояния между передней (задней) фокальной плоскостью и предметом (изображением).

Используя подобие треугольников по рисунку 6, можно вывести зависимости между положением и размером предмета и изображения:

$$\frac{y}{-y'} = \frac{-z}{f'} \quad (2)$$

Преобразовав выражение, его можно соотнести с формулой (1):

$$\beta = \frac{y'}{y} = -\frac{f}{z} \quad (3)$$

Аналогично выводится следующее выражение:

$$\beta = -\frac{z'}{f'} \quad (4)$$

А из формул (3) и (4) можно получить *формулу Ньютона*:

$$z \cdot z' = f \cdot f' \quad (5)$$

Далее можно выразить отрезки z и z' следующим образом:

$$z' = a' - f'; z = a - f \quad (6)$$

Подставив (6) в (5), получится:

$$(a - f) \cdot (a' - f') = f \cdot f' \quad (7)$$

А преобразовав это выражение, получится *формула отрезков* или *формула Гаусса*:

$$\frac{f'}{a'} + \frac{f}{a} = 1 \quad (8)$$

Задание:

Варианты заданий представлены в Приложении 1. Каждый вариант состоит из трех задач:

- 1) По заданным условиям определить положение и величину изображения графически и аналитически.
- 2) Графически определить положение изображения.
- 3) Построить ход луча через оптическую систему.

Содержание отчета:

В отчете необходимо представить:

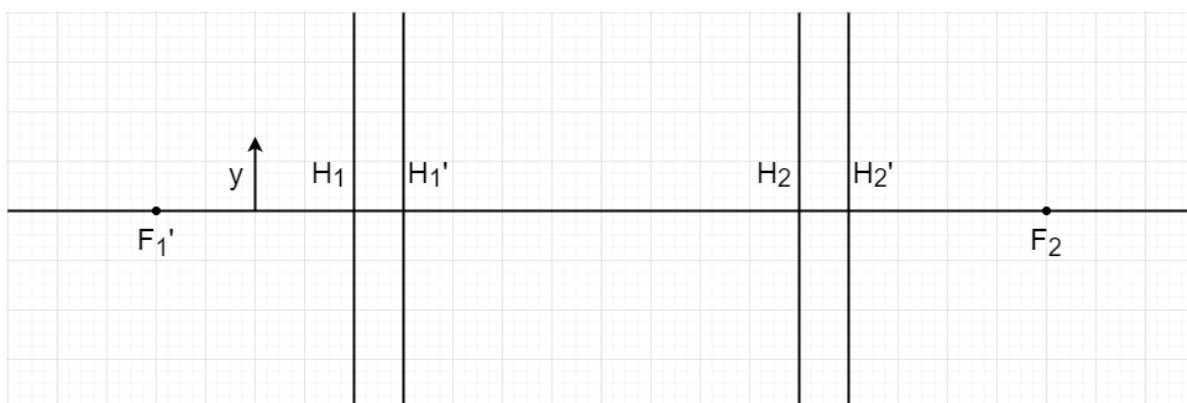
- 1) Для задачи 1 – подробные аналитические расчеты с указанием использованных формул и графическое решение задачи с правильно обозначенными элементами рисунка. В конце отдельно указать ответ.
- 2) Для задач 2–3 – графическое решение с правильно обозначенными элементами рисунка.

Графическую часть можно выполнять от руки или на компьютере. В первом случае желательно использовать миллиметровку или обычную клетчатую бумагу, а результат в отчете представить в виде сканов или качественных фотографий. Во втором случае при наличии навыков и возможностей работу стоит выполнять в КОМПАС 3D или аналогах. При отсутствии возможности рекомендуется воспользоваться порталом <https://app.diagrams.net/>

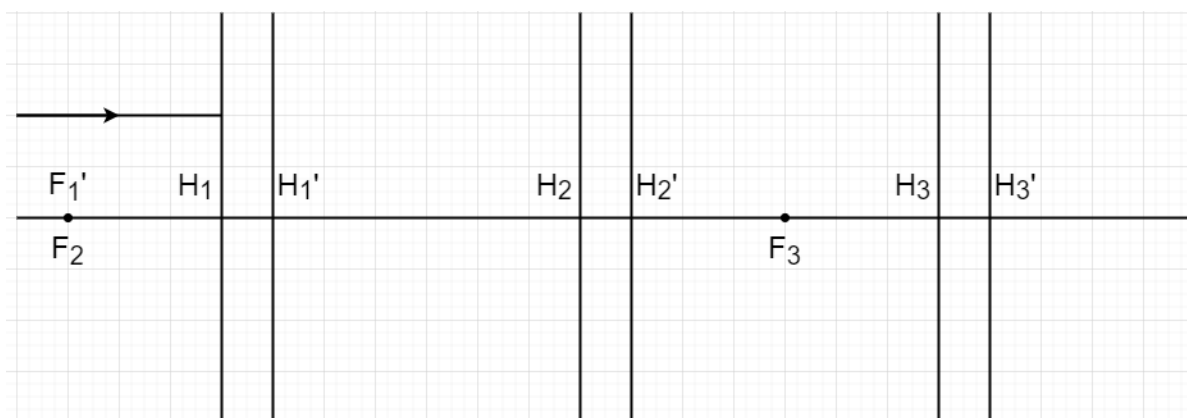
Приложение 1. Задания к лабораторной работе по вариантам

Вариант 1

1. Линза имеет фокусное расстояние $f' = 100$ мм. Предмет размером $y = 10$ мм расположен на расстоянии $a = 100$ мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.
2. Определить y' :

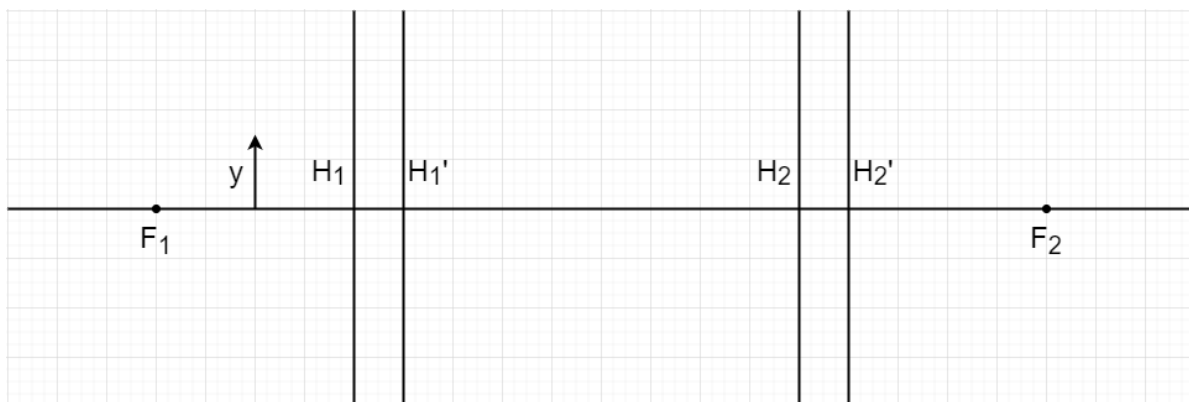


3. Построить луч через оптическую систему:

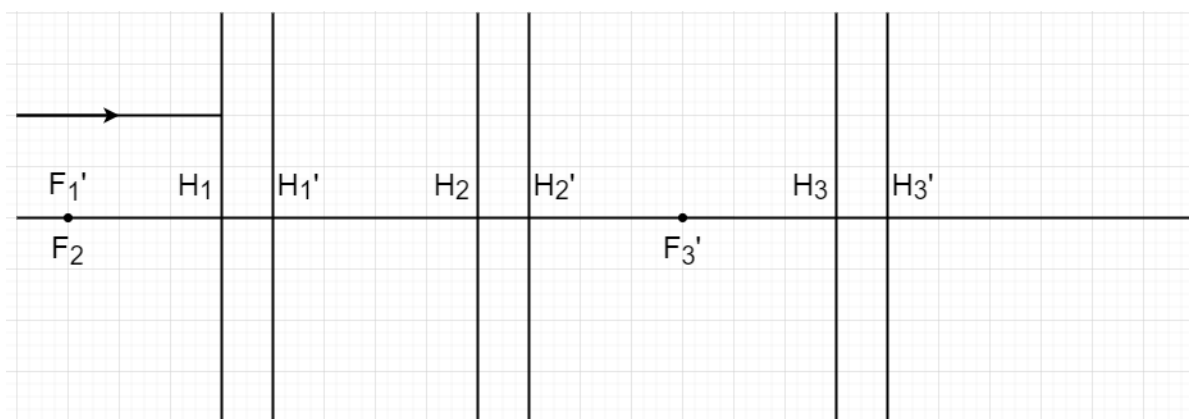


Вариант 2

1. Линза имеет фокусное расстояние $f' = -100$ мм. Предмет размером $y = 10$ мм расположен на расстоянии $a = 50$ мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.
2. Определить y' :

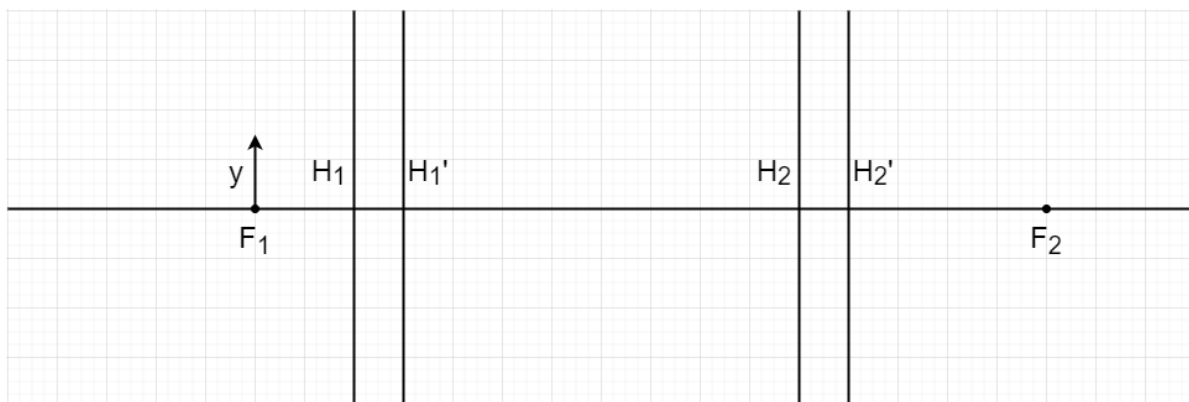


3. Построить луч через оптическую систему:

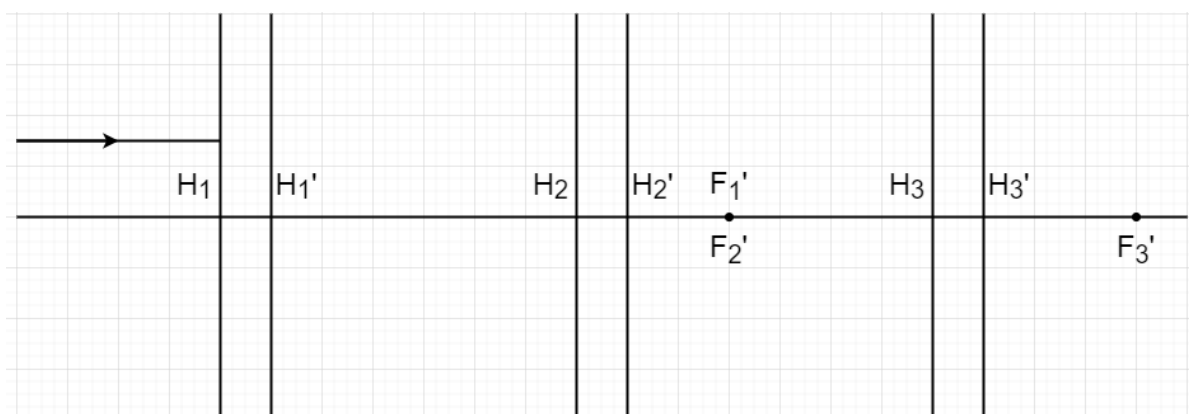


Вариант 3

1. Линза имеет фокусное расстояние $f' = 90$ мм. Предмет размером $y = 10$ мм расположен на расстоянии $a = -180$ мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.
2. Определить y' :



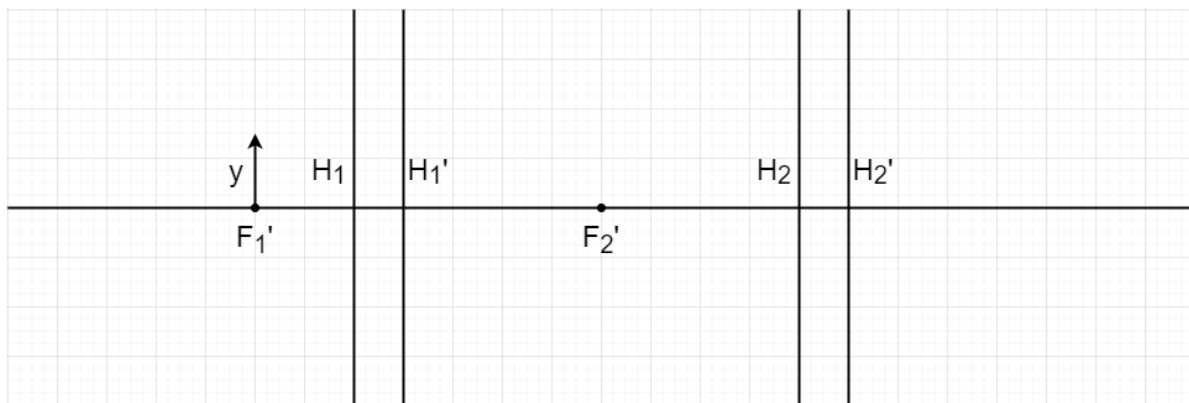
3. Построить луч через оптическую систему:



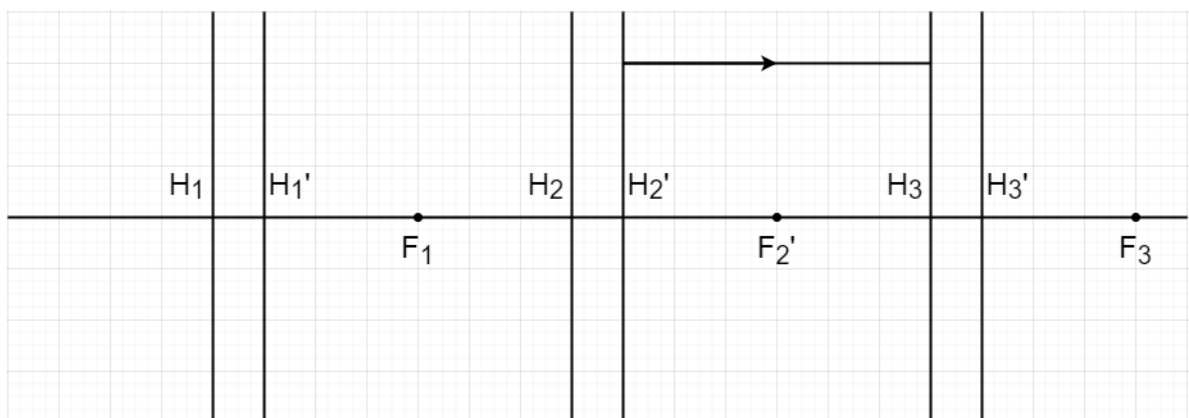
Вариант 4

1. Линза имеет фокусное расстояние $f' = -80$ мм. Предмет размером $y = 10$ мм расположен на расстоянии $a = -40$ мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

2. Определить y' :



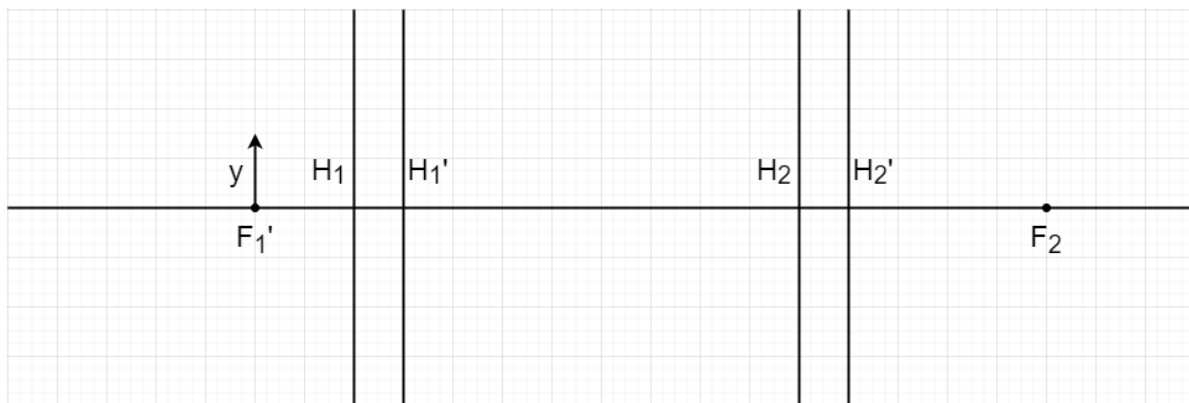
3. Построить луч через оптическую систему:



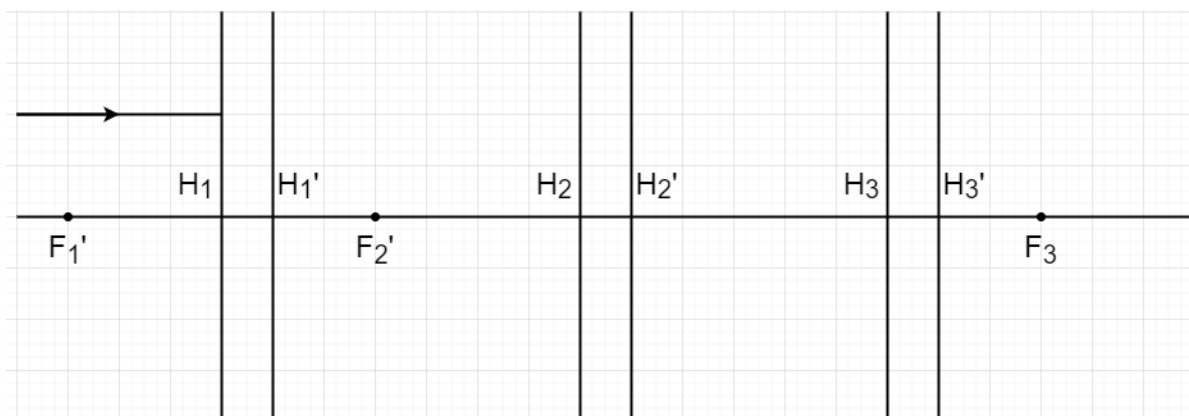
Вариант 5

1. Линза имеет фокусное расстояние $f' = 20\text{мм}$. Предмет размером $y = 5\text{мм}$ расположен на расстоянии $a = 20\text{мм}$ от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

2. Определить y' :

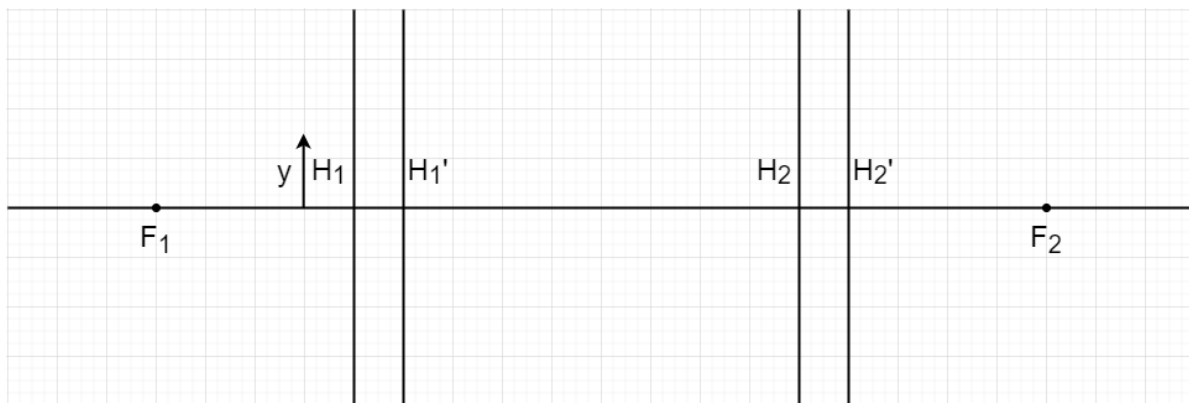


3. Построить луч через оптическую систему:

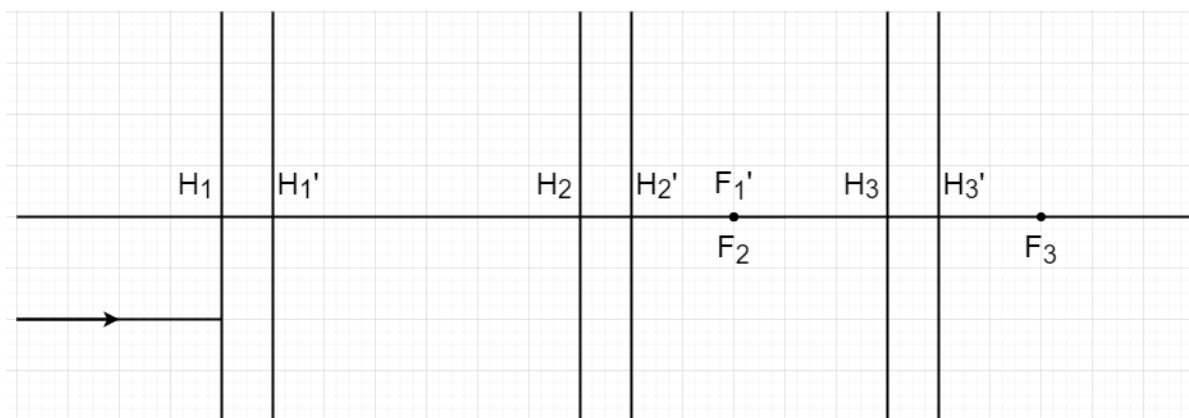


Вариант 6

1. Линза имеет фокусное расстояние $f' = -80$ мм. Предмет размером $y = 10$ мм расположен на расстоянии $a = 40$ мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.
2. Определить y' :



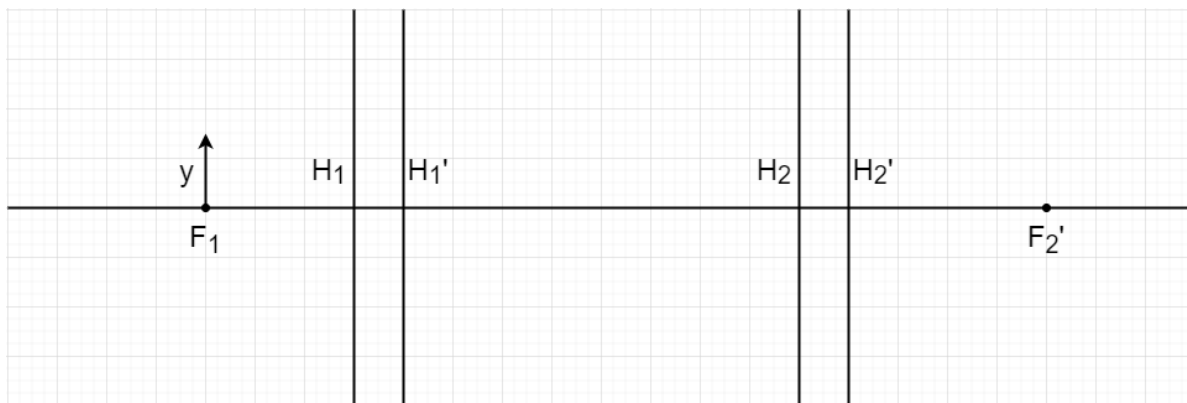
3. Построить луч через оптическую систему:



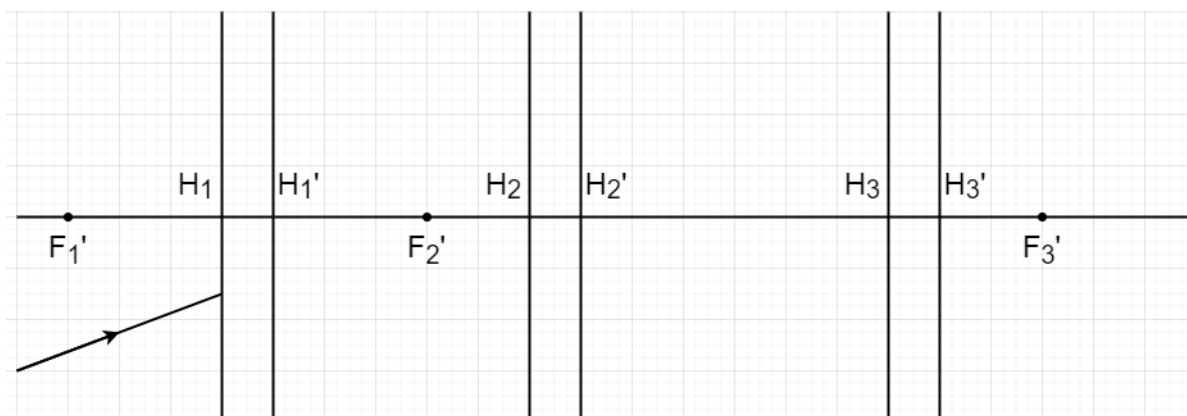
Вариант 7

1. Линза имеет фокусное расстояние $f' = 100$ мм. Предмет размером $y = 10$ мм расположен на расстоянии $a = -150$ мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

2. Определить y' :



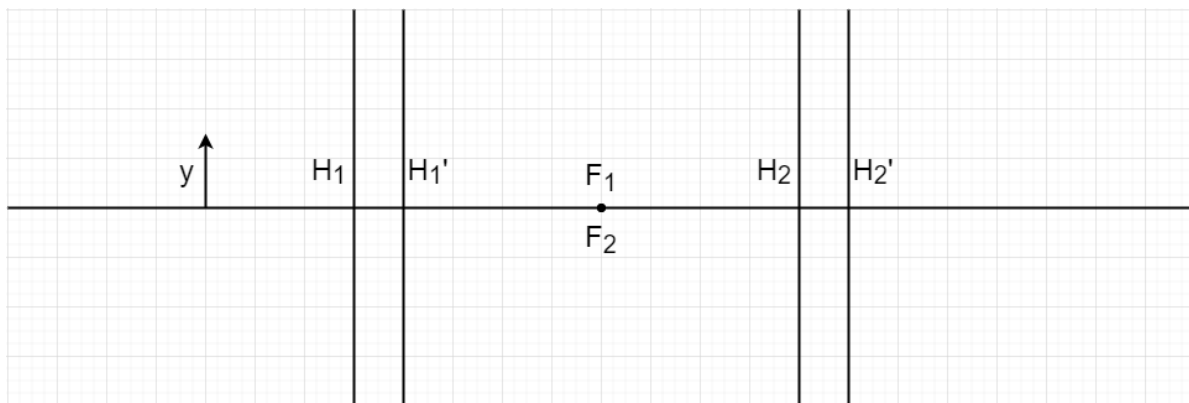
3. Построить луч через оптическую систему:



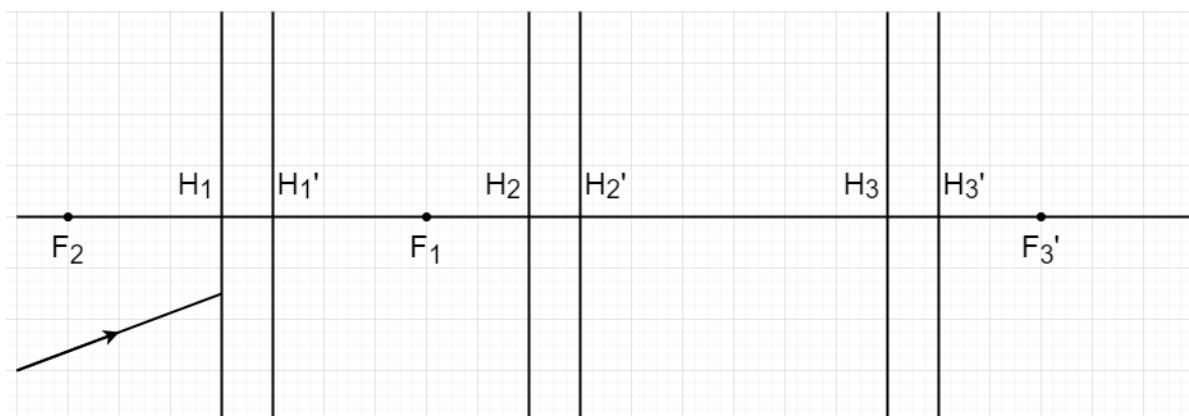
Вариант 8

1. Линза имеет фокусное расстояние $f' = -100$ мм. Предмет размером $y = 5$ мм расположен на расстоянии $a = -40$ мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

2. Определить y' :

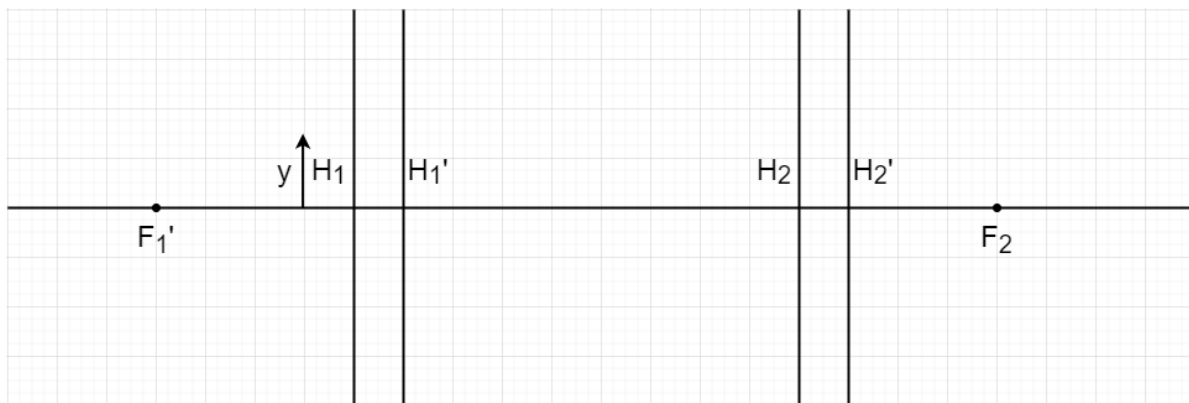


3. Построить луч через оптическую систему:

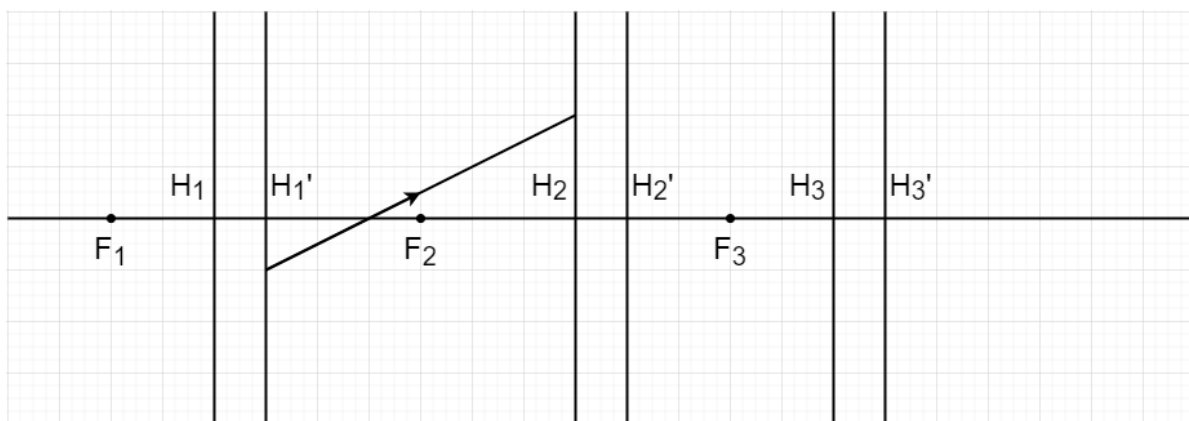


Вариант 9

1. Линза имеет фокусное расстояние $f' = 30$ мм. Предмет размером $y = 5$ мм расположен на расстоянии $a = 30$ мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.
2. Определить y' :



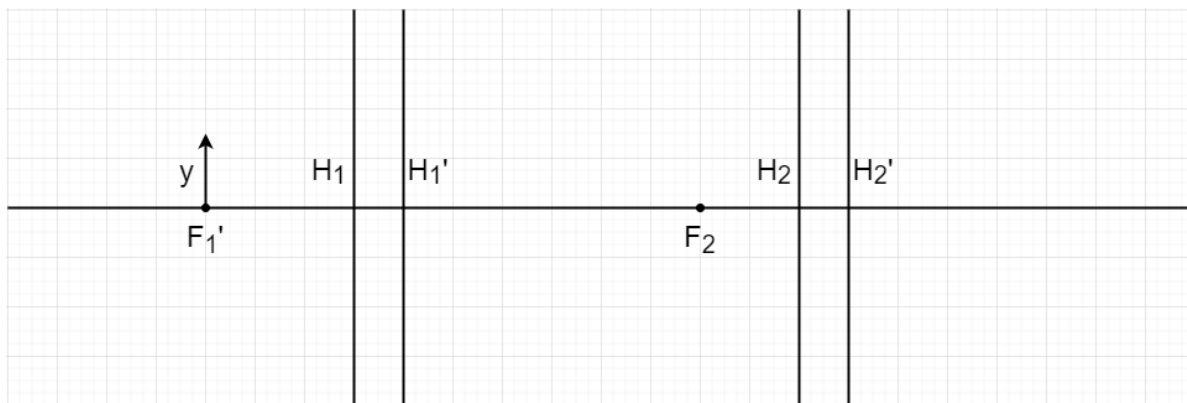
3. Построить луч через оптическую систему:



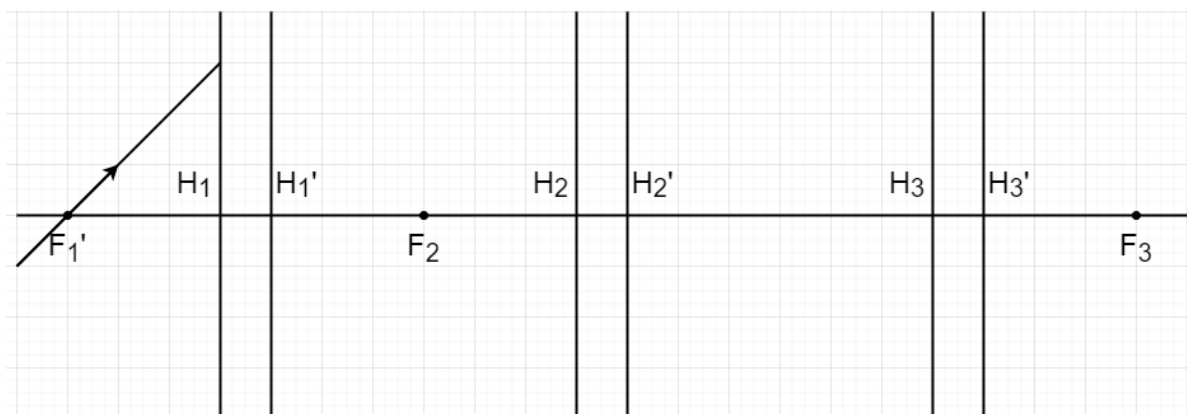
Вариант 10

1. Линза имеет фокусное расстояние $f' = -120$ мм. Предмет размером $y = 10$ мм расположен на расстоянии $a = 100$ мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

2. Определить y' :

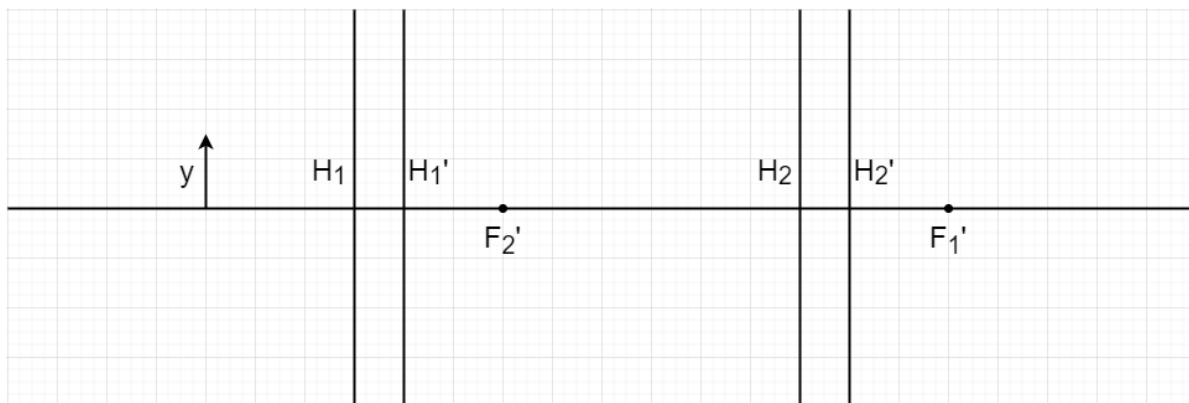


3. Построить луч через оптическую систему:

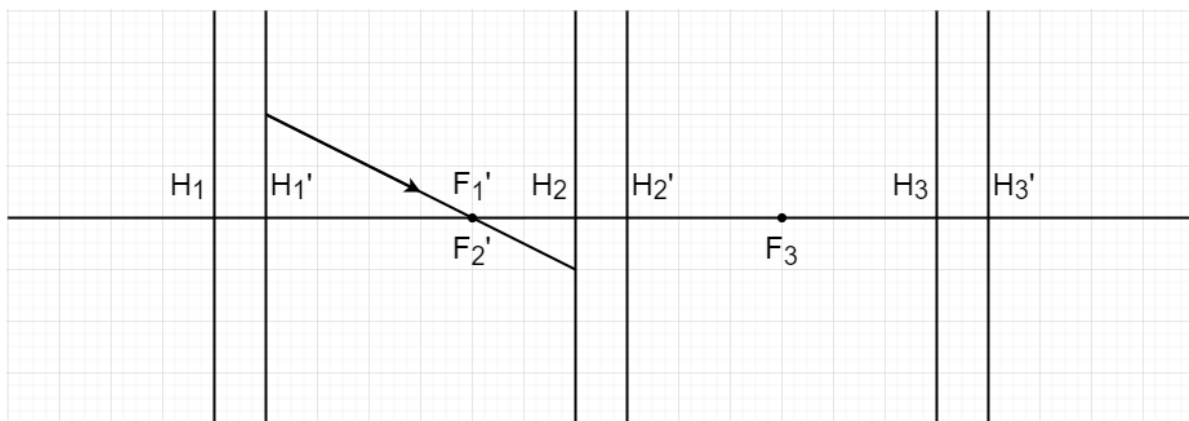


Вариант 11

1. Линза имеет фокусное расстояние $f' = 60$ мм. Предмет размером $y = 10$ мм расположен на расстоянии $a = -80$ мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.
2. Определить y' :

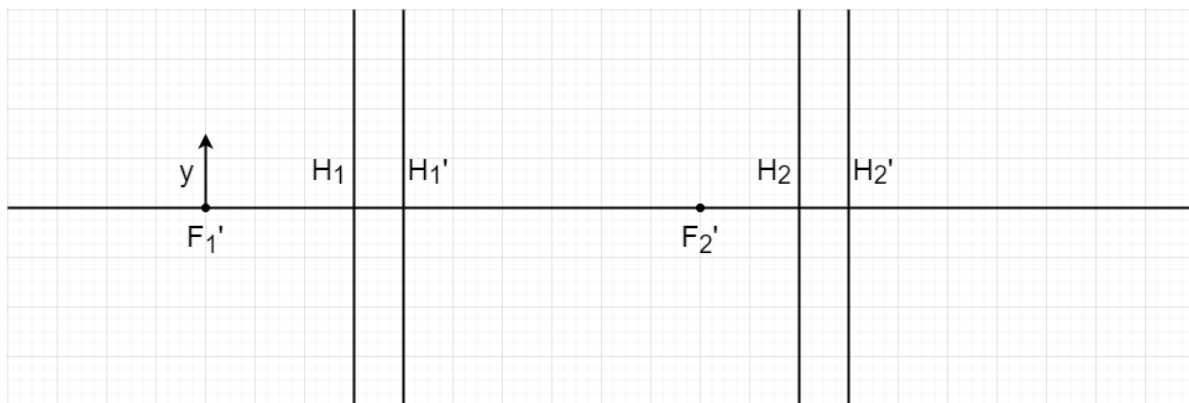


3. Построить луч через оптическую систему:

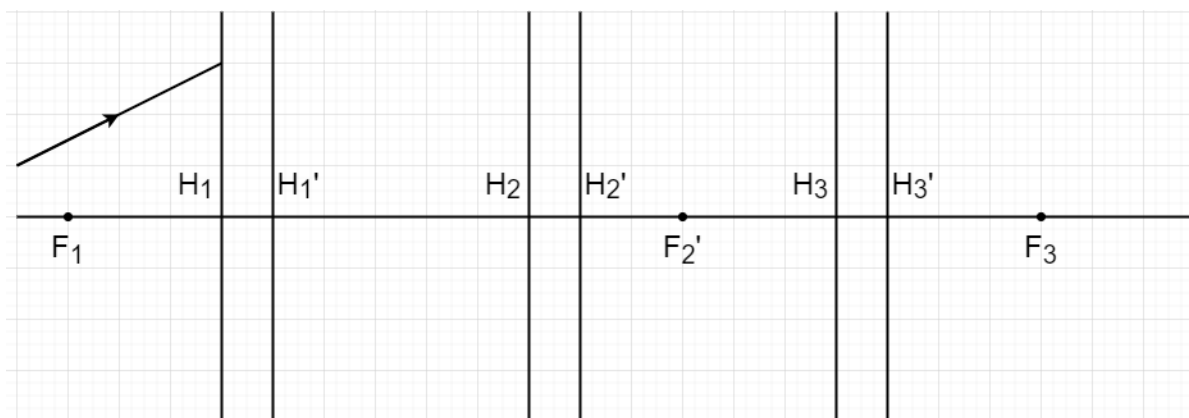


Вариант 12

1. Линза имеет фокусное расстояние $f' = -60$ мм. Предмет размером $y = 10$ мм расположен на расстоянии $a = -30$ мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.
2. Определить y' :

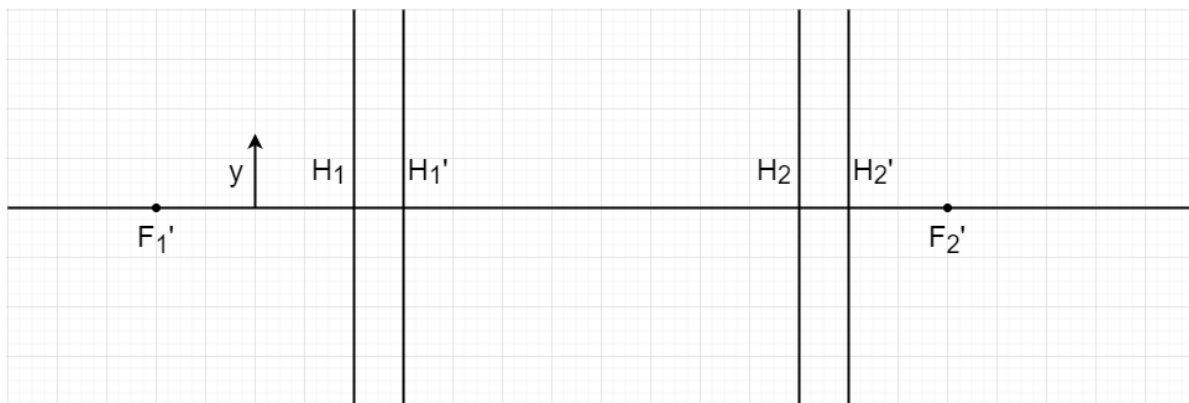


3. Построить луч через оптическую систему:

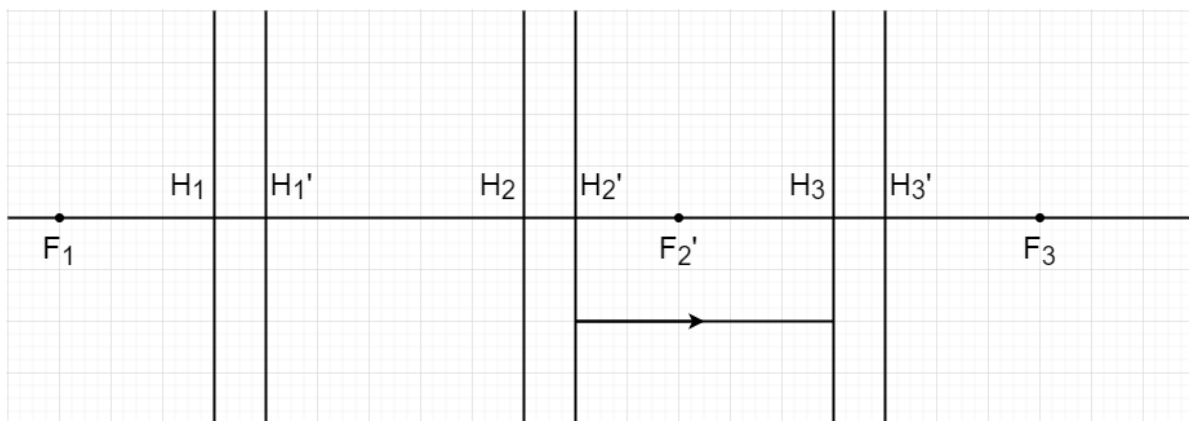


Вариант 13

1. Линза имеет фокусное расстояние $f' = 50$ мм. Предмет размером $y = 15$ мм расположен на расстоянии $a = 50$ мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.
2. Определить y' :



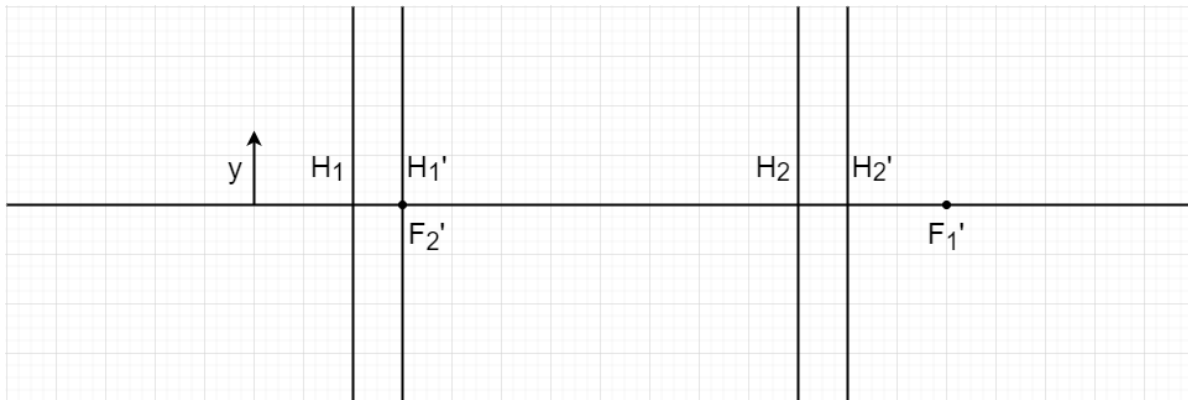
3. Построить луч через оптическую систему:



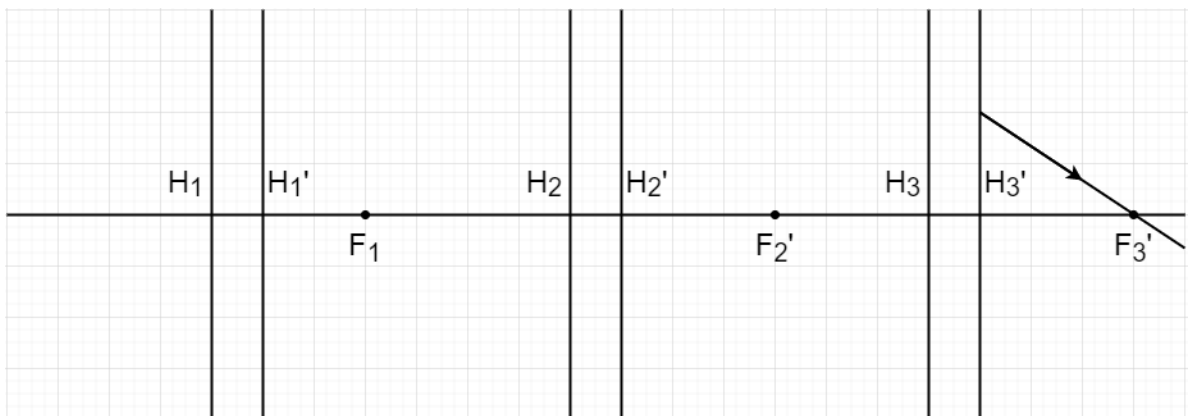
Вариант 14

1. Линза имеет фокусное расстояние $f' = -60$ мм. Предмет размером $y = 5$ мм расположен на расстоянии $a = 30$ мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

2. Определить y' :

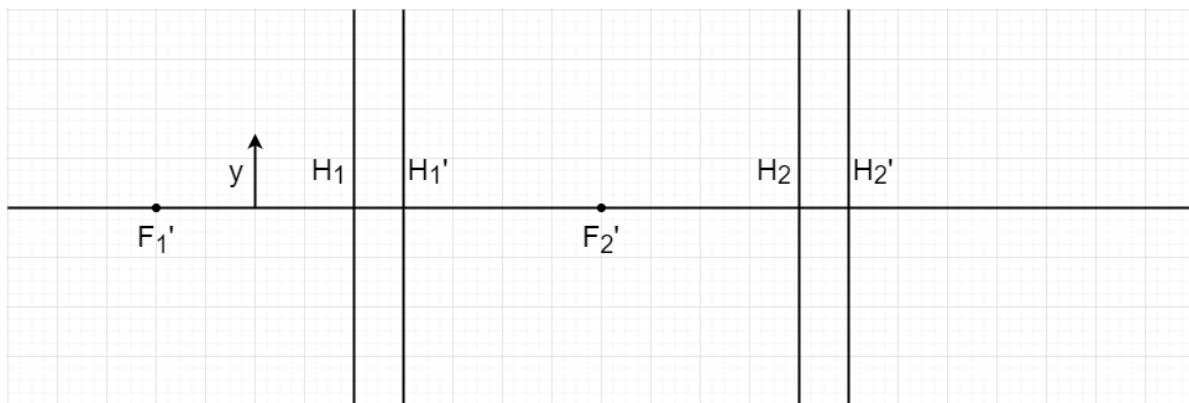


3. Построить луч через оптическую систему:

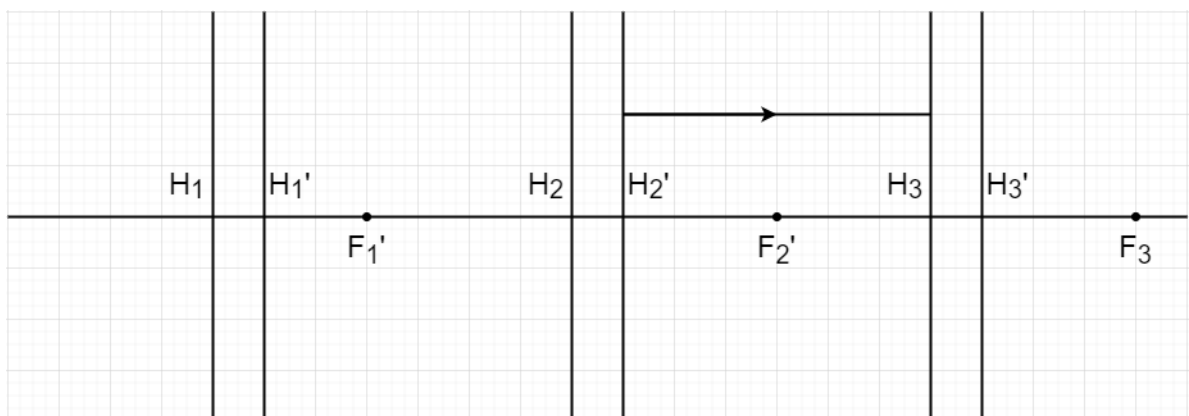


Вариант 15

1. Линза имеет фокусное расстояние $f' = 40$ мм. Предмет размером $y = 10$ мм расположен на расстоянии $a = -80$ мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.
2. Определить y' :

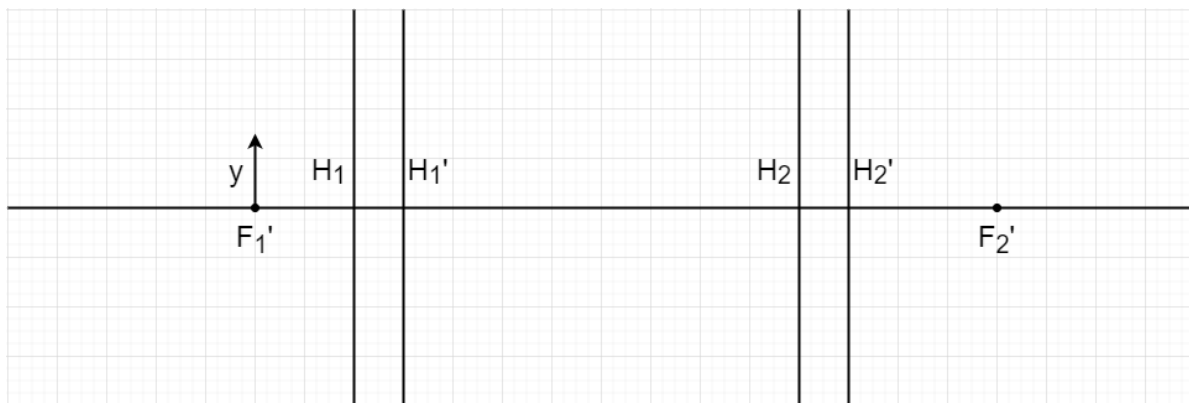


3. Построить луч через оптическую систему:

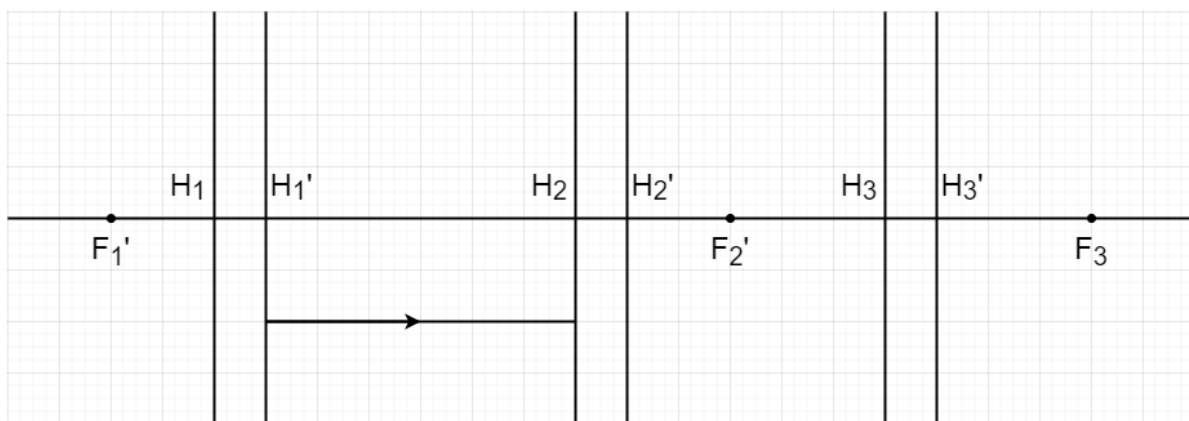


Вариант 16

1. Линза имеет фокусное расстояние $f' = -40$ мм. Предмет размером $y = 10$ мм расположен на расстоянии $a = -20$ мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.
2. Определить y' :



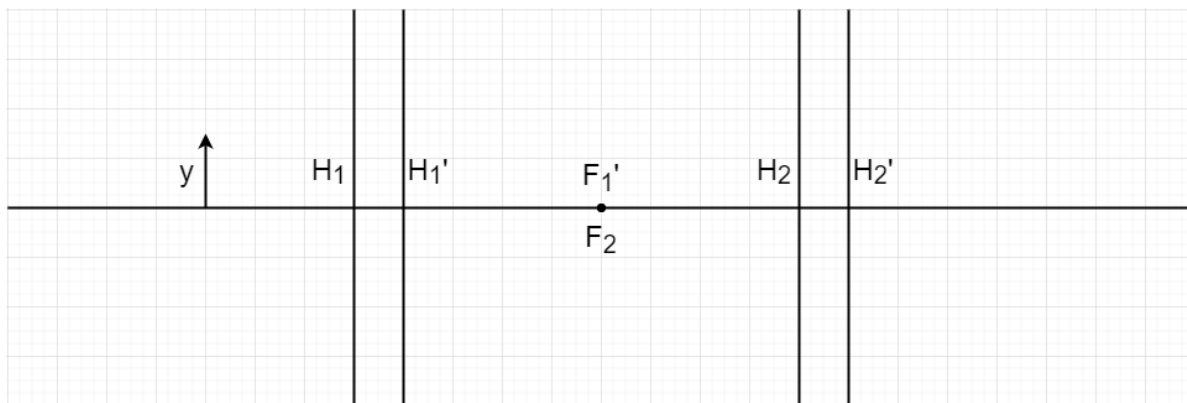
3. Построить луч через оптическую систему:



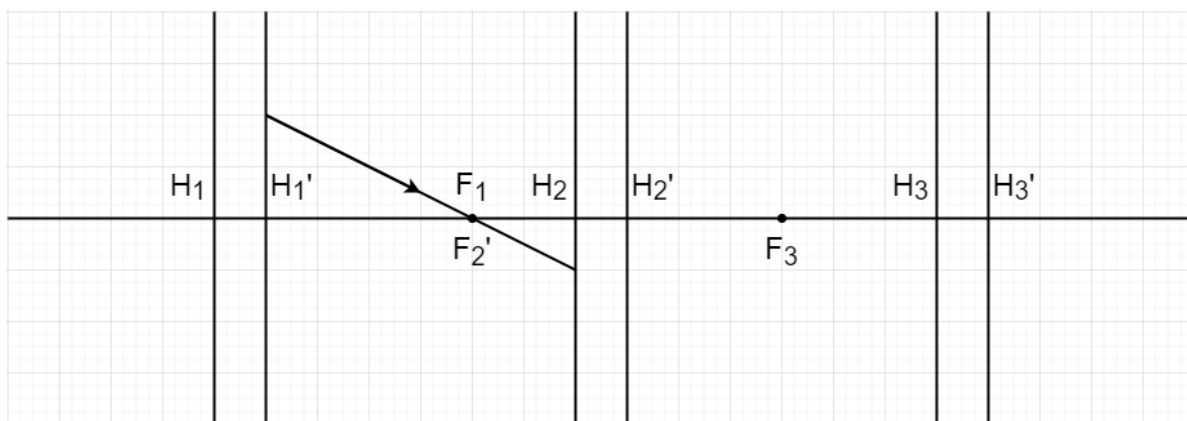
Вариант 17

1. Линза имеет фокусное расстояние $f' = 80$ мм. Предмет размером $y = 10$ мм расположен на расстоянии $a = 80$ мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

2. Определить y' :

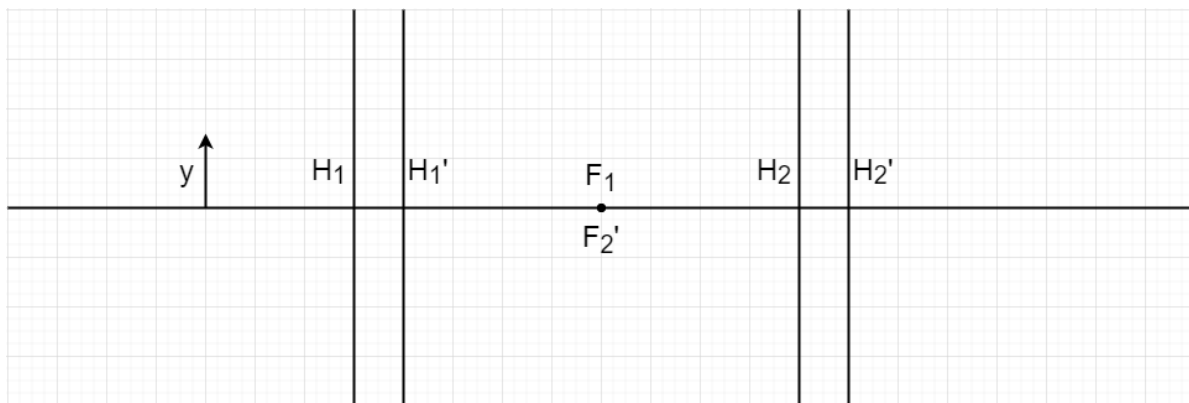


3. Построить луч через оптическую систему:

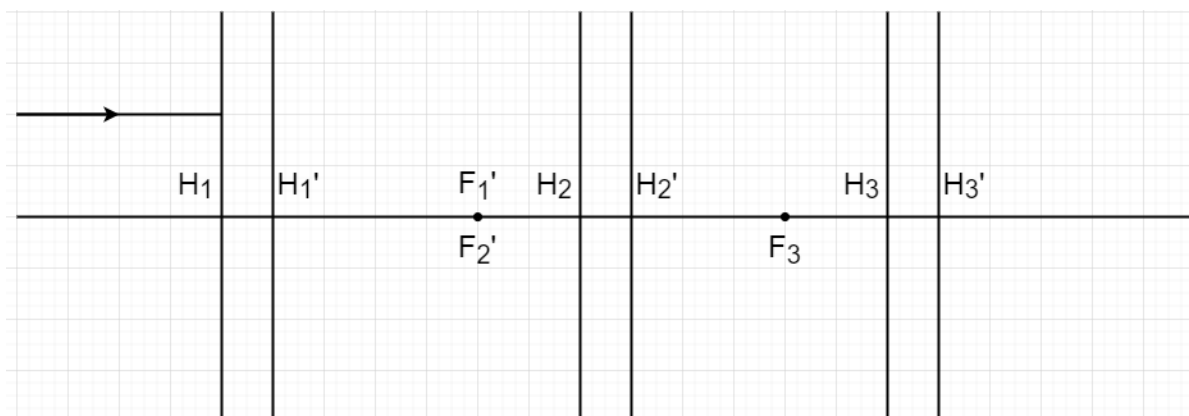


Вариант 18

1. Линза имеет фокусное расстояние $f' = -40$ мм. Предмет размером $y = 10$ мм расположен на расстоянии $a = 20$ мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.
2. Определить y' :



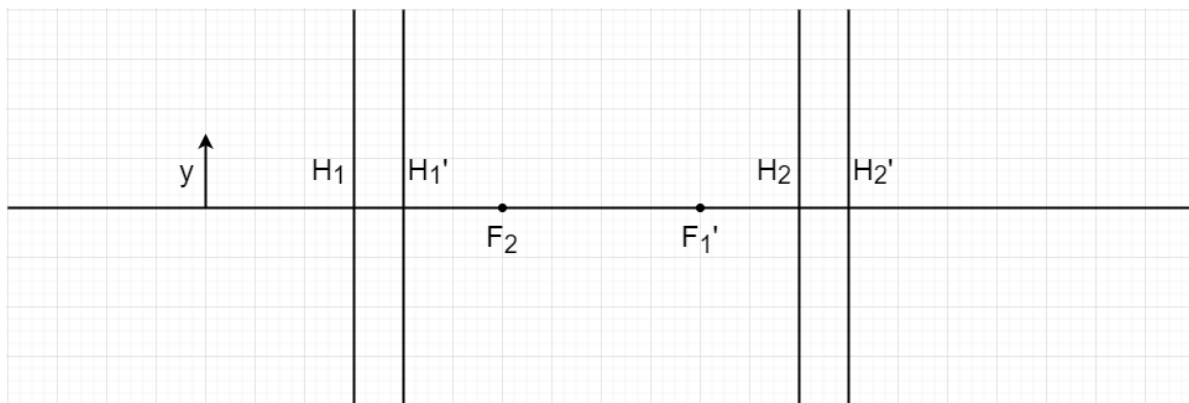
3. Построить луч через оптическую систему:



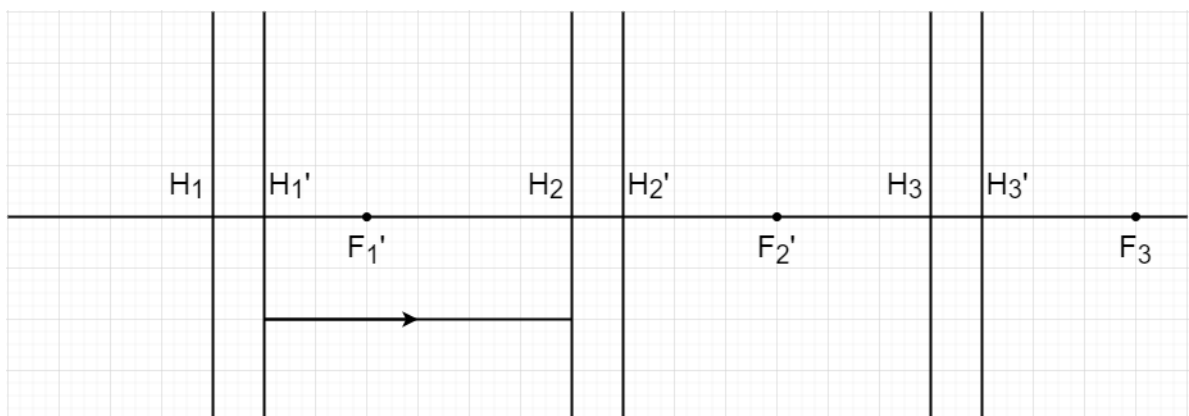
Вариант 19

1. Линза имеет фокусное расстояние $f' = 30$ мм. Предмет размером $y = 10$ мм расположен на расстоянии $a = -60$ мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

2. Определить y' :

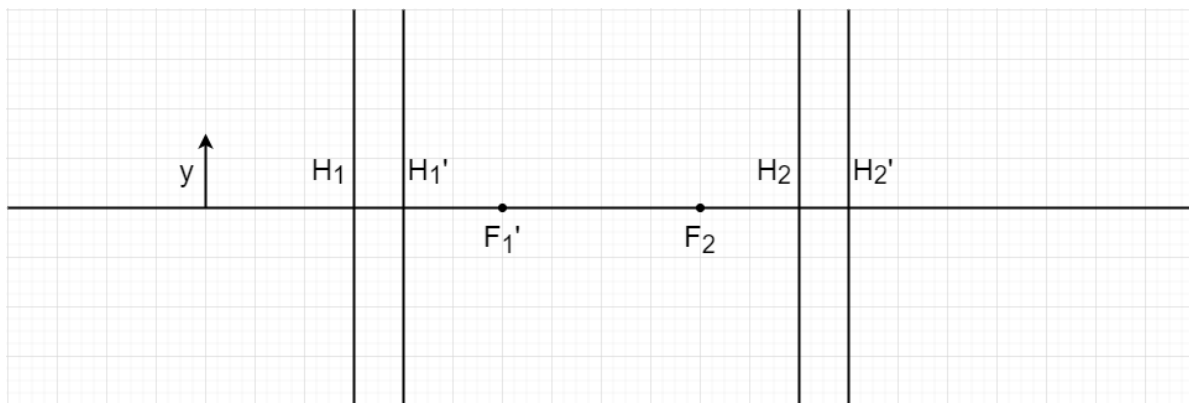


3. Построить луч через оптическую систему:



Вариант 20

1. Линза имеет фокусное расстояние $f' = -120$ мм. Предмет размером $y = 10$ мм расположен на расстоянии $a = -70$ мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.
2. Определить y' :



3. Построить луч через оптическую систему:

