

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Тульский государственный университет»

Институт высокоточных систем им. В.П. Грязева

Кафедра «Приборы управления»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ  
по дисциплине

«Основы оптики - 1»

Направление подготовки: 12.03.02 «Оптотехника»

Профиль подготовки: «Оптико-электронные приборы и системы»

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

Форма обучения: *очная*

Тула 2019 г.

Методические указания к практическим занятиям составлены доцентом  
А.П. Шведовым и обсуждены на заседании кафедры ПУ факультета САУ.

протокол № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2011 г.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ В.Я. Распопов

Методические указания к практическим занятиям пересмотрены и  
утверждены на заседании кафедры ПУ факультета САУ.

протокол № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ В.Я. Распопов

## **Содержание**

### **Практическое занятие №1. Энергетика световых волн**

Примеры решения задач

Задачи для самостоятельной работы

### **Практическое занятие №2. Правило знаков в оптике. Основные законы распространения света**

Примеры решения задач

Задачи для самостоятельной работы

### **Практическое занятие №3. Построение хода луча в оптической системе. Основные соотношения параксиальной оптики**

Примеры решения задач

Задачи для самостоятельной работы

### **Практическое занятие №4. Определение параксиальных параметров линз различных типов**

Примеры выполнения заданий

Задачи для самостоятельной работы

### **Практическое занятие № 5. Расчет характеристик оптической системы с использованием матричной оптики**

Примеры решения задач

Задачи для самостоятельной работы

### **Список литературы**

## Практическое занятие №1. Энергетика световых волн

Теоретический материал изложен в главе "2. Энергетика световых волн" [1,2].

### Примеры решения задач

#### Задача

Потоком в 6.28 Вт освещается прямоугольная площадка размером 0.5 на 0.8 м. Определить освещенность площадки.

Решение:

Освещенность - величина, обратно пропорциональная площади.

Площадь прямоугольного объекта  $S=0.5 \cdot 0.8=0.4 \text{ (м}^2\text{)}$

Освещенность  $E=\Phi/S=6.28/0.4=15.7 \text{ (Вт/м}^2\text{)}$

Ответ: Освещенность  $E=15.7 \text{ Вт/м}^2$

---

#### Задача

Обратная предыдущей задача - рассматривается светимость тела. Светимость круглой площадки 10 Вт/м<sup>2</sup>. Поток, излучаемый площадкой составляет 31.4 Вт. Определить радиус площадки.

Решение:

Соотношение для расчета светимости:  $M=\Phi/S$

$S=\Phi/M=31.4/10=3.14 \text{ (м}^2\text{)}$

$S=\pi \cdot r^2=3.14 \cdot r^2$ , откуда  $r^2=S/\pi=1 \text{ (м}^2\text{)}$

Следовательно, радиус площадки  $r=1 \text{ (м)}$

Ответ: Радиус площадки составляет 1 м.

---

#### Задача

Источник находится на высоте 1 м над квадратной площадкой. Размер стороны квадрата 100 см. Поток, падающий на данную площадку, составляет 6.28 Вт. Найти силу света.

Решение:

Сила света зависит от телесного угла и потока. Телесный угол в данном случае рассчитывается так:  $\Omega=S/r^2$

$S=1 \text{ (м}^2\text{)}$ ;  $\Omega=1/1=1 \text{ (ср)}$

$I=\Phi/\Omega=6.28/1=6.28 \text{ (Вт/ср)}$

Ответ: Сила света составляет 6.28 Вт/ср.

---

### Задача

Источник излучает неравномерный поток света, равный 31.4 Вт. Определить среднюю сферическую силу света.

Решение:

Средняя сферическая сила света рассчитывается по формуле:

$$I = \Phi / (4 \cdot \pi) = 2.5 \text{ (Вт/ср)}$$

Ответ: Сила света составляет 2.5 Вт/ср.

---

### Задача

Потоком освещается круглая площадка. Освещенность равна 2 лк. Радиус площадки равен 1 м. Определить поток.

Решение:

Освещенность - величина, обратно пропорциональная площади.

Сначала необходимо определить площадь объекта:

$$S = \pi \cdot r^2 = 3.14 \cdot 1 \cdot 1 = 3.14 \text{ (м}^2\text{)}$$

Поток находится исходя из соотношений для освещенности:

$$E = \Phi / S, \text{ значит } \Phi = E \cdot S = 2 \cdot 3.14 = 6.28 \text{ (лм)}$$

Ответ: Поток  $\Phi = 6.28$  лм.

---

### Задача

Светимость круглой площадки 12.7 лм/м<sup>2</sup>. Поток, излучаемый площадкой составляет 10 лм. Определить радиус площадки.

Решение:

$$\text{Светимость } M = \Phi / S$$

$$\text{Следовательно, площадь равна: } S = \Phi / M = 0.785 \text{ (м}^2\text{)}.$$

$$S = \pi \cdot r^2 = 3.14 \cdot r^2, \text{ откуда } r^2 = S / \pi = 0.25 \text{ (м}^2\text{)}.$$

$$\text{Следовательно, радиус } r = 0.5 \text{ (м)}.$$

Ответ: Радиус площадки составляет 0.5 м.

---

### Задача

Полный поток от сферического ламбертовского излучателя в телесном угле, образованном вращением плоского угла  $\sigma = 90^\circ$  составляет 40 лм. Определить силу света излучателя.

Решение:

$$\text{Сила света рассчитывается исходя из соотношения: } I = \Phi / \Omega$$

Сначала производится расчет телесного угла:

$$\Omega = 4 \cdot \pi \cdot \sin^2(\sigma/2) = 4 \cdot \pi \cdot 2/4 = 2\pi \text{ (ср)}$$

Тогда сила света:  $I = \Phi / \Omega = 40 / 6.28 = 6.36$  (лм/ср)

Ответ:  $I = 6.36$  лм/ср

---

### Задача

Сила света плоского ламбертовского излучателя составляет 31.83 кд. Телесный угол  $\Omega$  образован вращением плоского угла  $\sigma = 90^\circ$ . Определить полный поток от излучателя.

Решение:

Полный поток от плоского ламбертовского излучателя:

$$\Phi = (\pi \cdot I \cdot \sin^2 \sigma) / 2$$

$$\Phi = 31.8 \cdot 3.14 \cdot 1/2 = 100/2 = 50 \text{ (лм)}$$

Ответ: Полный поток  $\Phi = 50$  лм

---

### Задача

Поток 40 лм освещает квадратный рассеиватель. Сторона квадрата 2 м. Степень белизны поверхности 0.5. Определить яркость рассеивателя.

Решение:

Задача решается в несколько этапов:

Яркость рассеивателя:  $L = \frac{\alpha E}{\pi}$  рассчитывается через освещенность.

Сначала определяем освещенность площадки,  $E = \Phi / S = 40 / 4 = 10$  (лк)

Затем яркость  $L = 0.5 \cdot 10 / \pi = 5 / 3.14 = 1.59$  (кд/м<sup>2</sup>)

Ответ: Яркость  $L = 1.59$  кд/м<sup>2</sup>.

---

### Задачи для самостоятельной работы

1. Поток 30 лм освещает квадратный рассеиватель. Сторона квадрата 1.6 м. Степень белизны поверхности 0.2. Определить яркость рассеивателя.
2. Поток 35 лм освещает квадратный рассеиватель. Сторона квадрата 10 см. Степень белизны поверхности 0.2. Определить яркость рассеивателя.
3. Поток 35 лм освещает квадратный рассеиватель. Сторона квадрата 40 см. Степень белизны поверхности 0.4. Определить яркость рассеивателя.
4. Поток 25 лм освещает квадратный рассеиватель. Сторона квадрата 2 м. Степень белизны поверхности 0.5. Определить яркость рассеивателя.
5. Поток 15 лм освещает квадратный рассеиватель. Сторона квадрата 15 см. Степень белизны поверхности 0.6. Определить яркость рассеивателя.

6. Поток 15 лм освещает квадратный рассеиватель. Яркость рассеивателя  $11 \text{ кд/м}^2$ . Степень белизны поверхности 0.7. Определить размер стороны рассеивателя. Ответ дать в м.
7. Поток 20.5 лм освещает квадратный рассеиватель. Яркость рассеивателя  $18 \text{ кд/м}^2$ . Степень белизны поверхности 0.7. Определить размер стороны рассеивателя. Ответ дать в м.
8. Поток 30 лм освещает квадратный рассеиватель. Яркость рассеивателя  $21 \text{ кд/м}^2$ . Степень белизны поверхности 0.5. Определить размер стороны рассеивателя. Ответ дать в м.
9. Поток 30 лм освещает квадратный рассеиватель. Яркость рассеивателя  $5 \text{ кд/м}^2$ . Степень белизны поверхности 0.5. Определить размер стороны рассеивателя. Ответ дать в м.
10. Поток 10 лм освещает квадратный рассеиватель. Яркость рассеивателя  $11 \text{ кд/м}^2$ . Степень белизны поверхности 0.7. Определить размер стороны рассеивателя. Ответ дать в м.
11. На рассеивателе создана освещенность 11 лк. Коэффициент Альбедо поверхности равен 0.6. Определить яркость рассеивателя.
12. На рассеивателе создана освещенность 21 лк. Коэффициент Альбедо поверхности равен 0.2. Определить яркость рассеивателя.
13. На рассеивателе создана освещенность 65 лк. Коэффициент Альбедо поверхности равен 0.4. Определить яркость рассеивателя.
14. На рассеивателе создана освещенность 21 лк. Коэффициент Альбедо поверхности равен 0.45. Определить яркость рассеивателя.
15. На рассеивателе создана освещенность 47 лк. Коэффициент Альбедо поверхности равен 0.3. Определить яркость рассеивателя.
16. На рассеивателе создана освещенность 53 лк. Коэффициент Альбедо поверхности равен 0.2. Определить яркость рассеивателя.
17. На рассеивателе создана освещенность 17 лк. Коэффициент Альбедо поверхности равен 0.6. Определить яркость рассеивателя.
18. На рассеивателе создана освещенность 100 лк. Яркость рассеивателя  $12 \text{ кд/м}^2$ . Определить коэффициент Альбедо поверхности.
19. На рассеивателе создана освещенность 312,5 лк. Яркость рассеивателя  $64 \text{ кд/м}^2$ . Определить коэффициент Альбедо поверхности.
20. На рассеивателе создана освещенность 312,5 лк. Яркость рассеивателя  $59 \text{ кд/м}^2$ . Определить коэффициент Альбедо поверхности.
21. На рассеивателе создана освещенность 312,5 лк. Яркость рассеивателя  $54 \text{ кд/м}^2$ . Определить коэффициент Альбедо поверхности.

22. На рассеивателе создана освещенность 62,5 лк. Яркость рассеивателя 10 кд/м<sup>2</sup>. Определить коэффициент Альбедо поверхности.
23. На рассеивателе создана освещенность 110 лк. Яркость рассеивателя 12 кд/м<sup>2</sup>. Определить коэффициент Альбедо поверхности.
24. На рассеивателе создана освещенность 310 лк. Яркость рассеивателя 63 кд/м<sup>2</sup>. Определить коэффициент Альбедо поверхности.
25. На рассеивателе создана освещенность 300 лк. Яркость рассеивателя 55 кд/м<sup>2</sup>. Определить коэффициент Альбедо поверхности.
26. На рассеивателе создана освещенность 225 лк. Яркость рассеивателя 50 кд/м<sup>2</sup>. Определить коэффициент Альбедо поверхности.
27. Полный поток от сферического ламбертовского излучателя в телесном угле  $\Omega$  образованном вращением плоского угла  $20^\circ$  составляет 5 лм. Определить силу света излучателя.
28. Сила света сферического ламбертовского излучателя составляет 6.37 кд. Телесный угол  $\Omega$  образован вращением плоского угла  $20^\circ$ . Определить полный поток от излучателя.
29. Сила света плоского ламбертовского излучателя составляет 14.32 кд. Телесный угол  $\Omega$  образован вращением плоского угла  $20^\circ$ . Определить полный поток от излучателя.
30. Сила света плоского ламбертовского излучателя составляет 24 кд. Телесный угол  $\Omega$  образован вращением плоского угла  $20^\circ$ . Определить полный поток от излучателя.
31. Сила света плоского ламбертовского излучателя составляет 18 кд. Телесный угол  $\Omega$  образован вращением плоского угла  $30^\circ$ . Определить полный поток от излучателя.
32. Сила света плоского ламбертовского излучателя составляет 24 кд. Телесный угол  $\Omega$  образован вращением плоского угла  $25^\circ$ . Определить полный поток от излучателя.
33. Сила света плоского ламбертовского излучателя составляет 5 кд. Телесный угол  $\Omega$  образован вращением плоского угла  $10^\circ$ . Определить полный поток от излучателя.
34. Поток в 5 Вт освещается прямоугольная площадка размером 20 см. на 10 см. Определить освещенность площадки.
35. Поток в 16 Вт освещается прямоугольная площадка размером 2 на 1 м. Определить освещенность площадки.
36. Поток в 10 Вт освещается квадратная площадка, сторона квадрата 1 м. Определить освещенность площадки.



- 37.Потоком в 25 Вт освещается прямоугольная площадка размером 2 на 1 м. Определить освещенность площадки.
- 38.Потоком в 16 Вт освещается прямоугольная площадка размером 12 см. на 16 см. Определить освещенность площадки.
- 39.Потоком в 16 Вт освещается прямоугольная площадка размером 2 на 1 м. Определить освещенность площадки.
- 40.Потоком в 15 Вт освещается квадратная площадка, сторона квадрата 1 м. Определить освещенность площадки.
- 41.Потоком в 10 Вт освещается квадратная площадка, сторона 20 см. Определить освещенность площадки.
- 42.Потоком в 50 Вт освещается квадратная площадка, сторона квадрата 1.2 м. Определить освещенность площадки.
- 43.Потоком в 56 Вт освещается прямоугольная площадка размером 3 на 1 м. Определить освещенность площадки.
- 44.Светимость круглой площадки  $10 \text{ Вт/м}^2$ . Поток, излучаемый площадкой составляет 15.7 Вт. Определить радиус площадки.
- 45.Светимость круглой площадки  $15 \text{ Вт/м}^2$ . Поток, излучаемый площадкой составляет 30 Вт. Определить радиус площадки.
- 46.Светимость круглой площадки  $25 \text{ Вт/м}^2$ . Поток, излучаемый площадкой составляет 45 Вт. Определить радиус площадки.
- 47.Светимость круглой площадки  $16 \text{ Вт/м}^2$ . Поток, излучаемый площадкой составляет 41 Вт. Определить радиус площадки.
- 48.Источник находится на высоте 0.5 м над квадратной площадкой. Размер стороны квадрата 20 см. Поток, падающий на данную площадку, составляет 6 Вт. Найти силу света.
- 49.Источник находится на высоте 2 м над квадратной площадкой, сторона квадрата 40 см. Поток, падающий на данную площадку, составляет 9,42 Вт. Найти силу света.
- 50.Источник находится на высоте 2 м над квадратной площадкой, сторона квадрата 50 см. Поток, падающий на данную площадку, составляет 15 Вт. Найти силу света.
- 51.Источник находится на высоте 2 м над круглой площадкой. Радиус круга 50 см. Поток, падающий на данную площадку, составляет 20 Вт. Найти силу света.
- 52.Источник находится на высоте 2 м над прямоугольной площадкой. Размеры прямоугольника 50 на 60 см. Поток, падающий на данную площадку, составляет 20 Вт. Найти силу света.

53.Источник находится на высоте 1 м над квадратной площадкой, сторона квадрата 50 см. Поток, падающий на данную площадку, составляет 20 Вт. Найти силу света.

54.Источник излучает неравномерный поток света, равный 5 Вт. Определить среднюю сферическую силу света.

55.Источник излучает неравномерный поток света, равный 10 Вт. Определить среднюю сферическую силу света.

56.Источник излучает неравномерный поток света, равный 25 Вт. Определить среднюю сферическую силу света.

57.Источник излучает неравномерный поток света, равный 45 Вт. Определить среднюю сферическую силу света.

58.Источник излучает неравномерный поток света, равный 50 Вт. Определить среднюю сферическую силу света.

59.Потоком освещается круглая площадка. Освещенность равна 5 лк. Радиус площадки равен 10 мм. Определить поток.

60.Потоком освещается круглая площадка. Освещенность равна 5 лк. Радиус площадки равен 56 см. Определить поток.

61.Потоком освещается круглая площадка. Освещенность равна 5 лк. Радиус площадки равен 40 см. Определить поток.

62.Светимость площадки  $1.7 \text{ лм/м}^2$ . Излучаемый поток составляет 10 лм. Определить площадь.

63.Сила света плоского ламбертовского излучателя составляет 10 кд. Телесный угол образован вращением плоского угла  $15^\circ$ . Определить полный поток от излучателя.

64.Сила света плоского ламбертовского излучателя составляет 20 кд. Телесный угол образован вращением плоского угла  $10^\circ$ . Определить полный поток от излучателя.

65.Поток 50 лм освещает квадратный рассеиватель. Сторона квадрата 0.5 м. Степень белизны поверхности 0.5. Определить яркость рассеивателя.

66.Полный поток от сферического ламбертовского излучателя в телесном угле  $\Omega$  образованном вращением плоского угла  $10^\circ$  составляет 3 лм. Определить силу света излучателя.

67.Сила света сферического ламбертовского излучателя составляет 15 кд. Телесный угол  $\Omega$  образован вращением плоского угла  $14^\circ$ . Определить полный поток от излучателя.

68. Сила света плоского ламбертовского излучателя составляет 12 кд. Телесный угол  $\Omega$  образован вращением плоского угла  $30^\circ$ . Определить полный поток от излучателя.

69. Поток в 26 Вт освещается прямоугольная площадка размером 5 на 50 мм. Определить освещенность площадки.

## Практическое занятие №2.

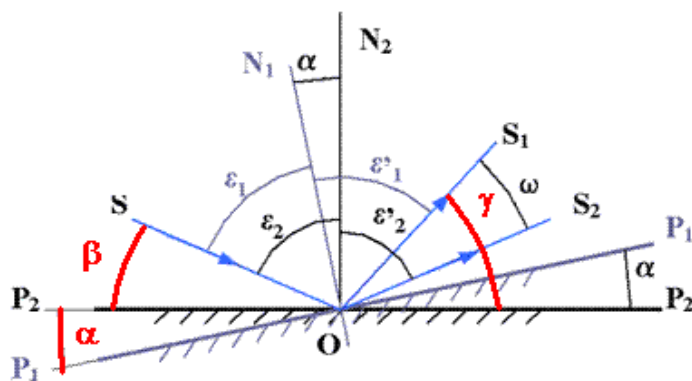
### Правило знаков в оптике. Основные законы распространения света

Теоретический материал изложен в главе "3. Прохождение света через границу раздела двух сред" [1,2].

#### Примеры решения задач

Определить угол поворота  $\alpha$  плоского зеркала относительно оси ОХ, если направление падающего луча задано углом  $\beta=10^\circ$ , а направление отраженного луча от первого положения зеркала углом  $\gamma=80^\circ$ .

Решение



По закону отражения углы падения и отражения равны по модулю, значит направление отраженного луча при втором положении зеркала  $\beta'=10^\circ$ .

Угол отклонения луча:  $\omega = \gamma - \beta' = 70^\circ$ .

Как известно, угол отклонения луча в два раза больше угла поворота зеркала:  $\omega = 70^\circ = 2\alpha$ .

Следовательно,  $\alpha = 35^\circ$ .

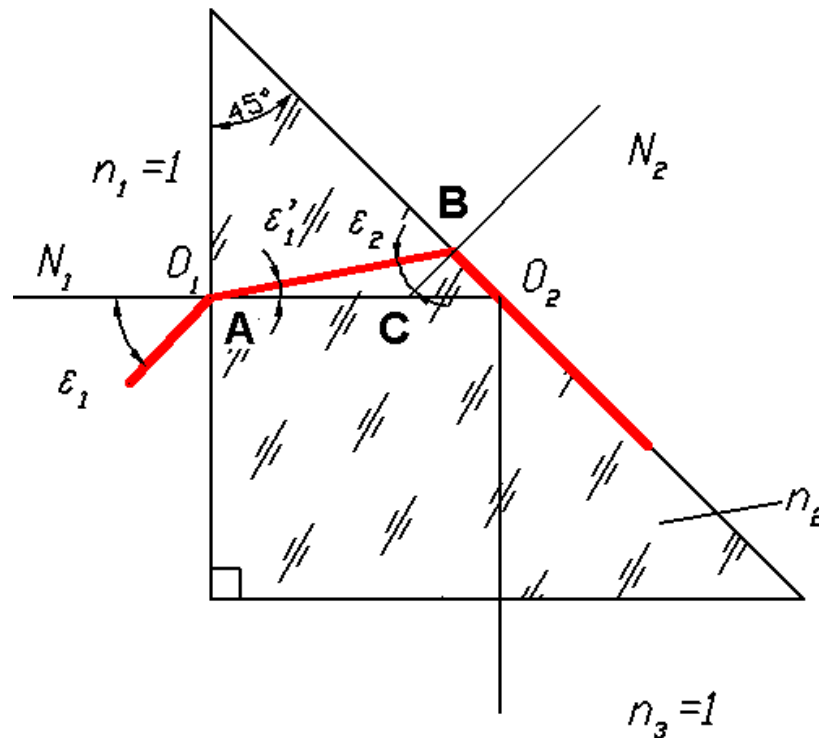
Ответ:  $\alpha = 35^\circ$ .

---

## Задача

Определить в градусах и минутах предельный угол падения лучей  $\varepsilon_1$  на входную грань прямоугольной равнобедренной призмы, при котором отражающая грань может быть еще без зеркального покрытия. Призма изготовлена из стекла  $n_2=1.4$  и находится в воздухе.

## Решение



Определяем предельный угол ПВО на границе раздела стекло-воздух.

По закону преломления

$$n_2 \cdot \sin \varepsilon_2 = n_3 \cdot \sin 90^\circ$$

$$\varepsilon_2 = 41^\circ 16'$$

Из треугольника ABC определяем угол  $\varepsilon_1'$ .

Внешний угол треугольника ABC равен  $45^\circ$ . (угол между нормальными равен углу между сторонами треугольника, как углы со взаимно перпендикулярными сторонами).

Внешний угол треугольника равен сумме углов не прилежащих к вершине, отсюда:

$$\varepsilon_1' + \varepsilon_2 = 45^\circ, \text{ следовательно } \varepsilon_1' = 3^\circ 44'.$$

Применим закон преломления к первой поверхности призмы и определим угол  $\varepsilon_1$ .

$$n_1 \cdot \sin(\varepsilon_1) = n_2 \cdot \sin(\varepsilon_1');$$

$$\sin(e_1) = 1.5163 \cdot \sin(3^\circ 44'), \quad e_1 = 5^\circ 40'.$$

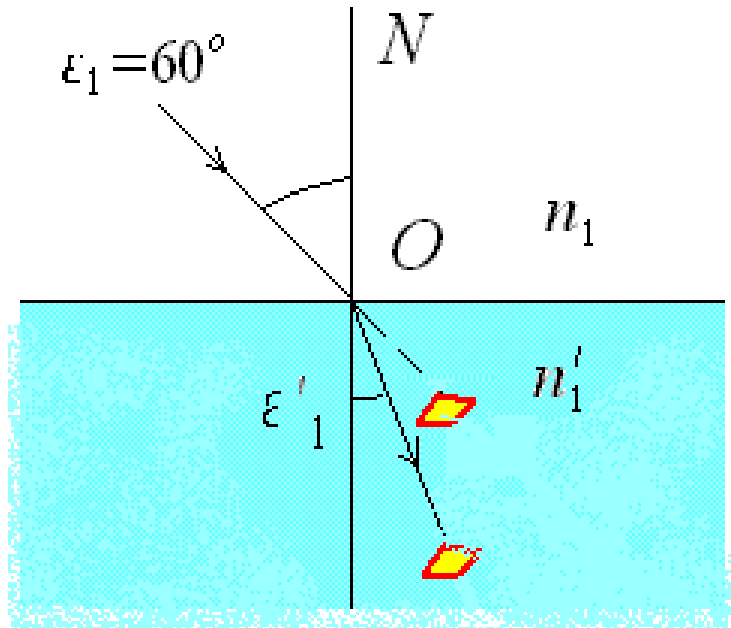
Ответ:  $\varepsilon_1 = 5^\circ 40'$

---

### Задача

Объект находящийся в воде, виден под углом  $60^\circ$ . Определить угол наклона преломленного луча в воде, если показатель преломления  $n=1.33$ .

Решение:



Под углом в  $e_1 = 60^\circ$  мы наблюдаем мнимое изображение объекта.

Применим закон преломления и найдем реальный угол  $e'_1$ , под которым объект находится в воде.

Угол, под которым виден объект - это угол мнимый, а реально это угол, под которым мы смотрим на объект. Таким образом, нам даны  $\varepsilon_1$  и  $n$ .

По закону преломления :  $n \cdot \sin \varepsilon = n' \cdot \sin \varepsilon'$ .

$$\sin(\varepsilon'_1) = \sin(\varepsilon) / n';$$

$$\sin(\varepsilon'_1) = \sin(60^\circ) / 1.33 = 0.709.$$

Преломленный угол  $\varepsilon'_1$  равен  $40^\circ 30'$ .

Ответ: Угол  $\varepsilon'_1 = 40^\circ 30'$

---

## Два плоских зеркала, расположенных под углом

Угловое зеркало - часто используемая в оптике конструкция.

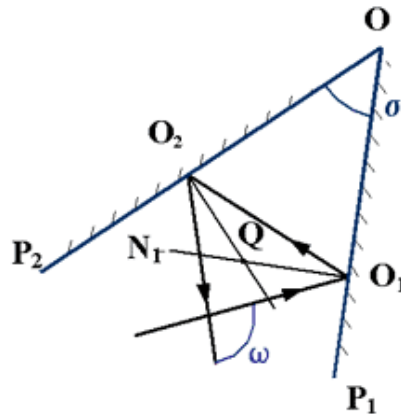


Рис. 1 Угловое зеркало.

Зависимость между направлениями падающего и выходящего лучей для системы, состоящей из двух зеркал :  $\omega = 2\sigma$ .

1. Угол отклонения равен удвоенной величине угла между зеркалами.
2. При повороте двойного зеркала угол отклонения не изменяется
3. Угол отклонения не зависит от угла падения

### Задача

Угловое зеркало изменяет направление падающего на него луча на величину  $\omega = 30^\circ$ . Определить угол при вершине зеркала.

Решение:

Угловое зеркало поворачивает луч на угол, равный удвоенному углу при вершине зеркала.

Значит, угол при вершине  $\sigma = 15^\circ$ .

Ответ: Угол при вершине двойного зеркала  $\sigma = 15^\circ$ .

---

## Эффект полного внутреннего отражения как частный случай закона преломления

По соотношениям закона преломления несложно установить: Предельный угол полного внутреннего отражения - это угол, при падении под которым преломленный луч пойдет вдоль границы раздела двух сред, теоретически даже не проникая ни в одну из них.

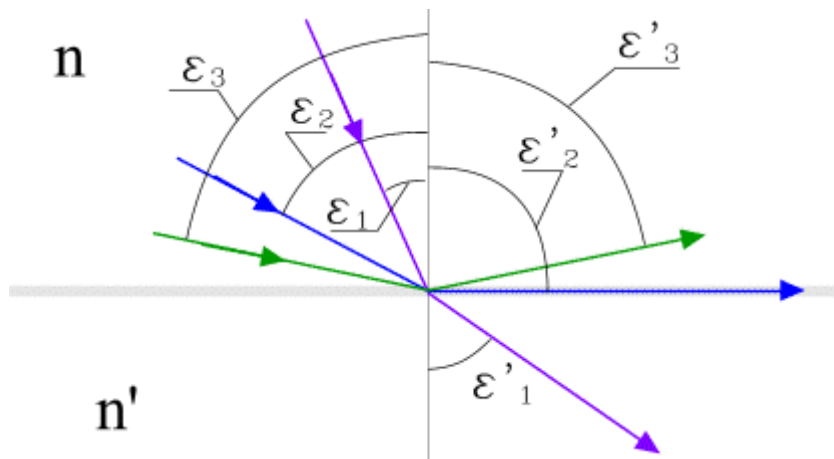


Рис. 2 Эффект ПВО.

По соотношениям для закона преломления несложно установить:

$$n \cdot \sin \varepsilon_2 = n' \cdot \sin \varepsilon'_2 \rightarrow \varepsilon'_2 = 90^\circ.$$

Угол полного внутреннего отражения:

$$\sin \varepsilon_2 = \frac{n'}{n} = \sin \varepsilon_{\text{ПВО}} \quad \sin \varepsilon_{\text{ПВО}} = \frac{1}{n'}$$

Полное внутреннее отражение может происходить только для перехода из среды более плотной в менее плотную. Иначе получится синус больше 1 (а это невозможно).

### Применение явления ПВО

Явление полного внутреннего отражения используется в оптике: в волоконной оптике, в призмах для подсветки штрихов и перекрестий и т.д.

#### а) Световод

Для передачи света или изображения по волокну используется световод:

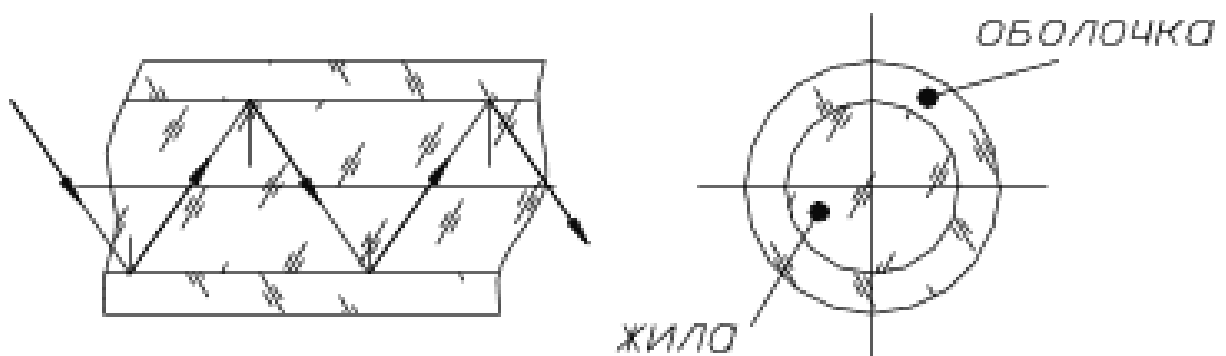


Рис. 3 Световод.

$$n_{\text{ж}} > n_{\text{об}}.$$



Свет запускается в жилу световода под углом, большим угла ПВО, и таким образом, многократно отражаясь от стен, свет доходит до конца световода.

### б) Призмы

Отражение от граней в призмах.

ПРИЗМА ОПТИЧЕСКАЯ - призма из прозрачного вещества (стекло, кварца, флюорита, LiF, NaCl, KBr, CsI и др.) Различают спектральные (дисперсионные) призмы, которые используют для изучения явлений, связанных с дисперсией света, и применяют в спектральных приборах; отражательные призмы, применяющиеся в оптических системах для изменения направления лучей; поляризационные призмы.

Если расчет показывает, что угол падения луча на отражающую грань больше угла полного внутреннего отражения, это означает, что на данную грань отражающее покрытие наносить не нужно.

### Задача

Определить угол полного внутреннего отражения на границе раздела сред стекло-воздух.

Решение:

$n = 1$  (воздух);  $n' = 1.5163$ ;  $\varepsilon_{ПВО} \cong 41^\circ 16'$  - угол полного внутреннего отражения.

Ответ: Полное внутреннее отражение будет наступать при углах, больших чем  $\varepsilon_{ПВО} \cong 41^\circ 16'$ .

---

### Задача

Показатель преломления первой среды  $n_1=2$ . Синус угла ПВО 0.71. Определить показатель преломления второй среды.

Решение:

По соотношениям для угла ПВО:

$$n_2 = \sin \varepsilon_{ПВО} \cdot n_1$$

Таким образом,  $n_2 = 0.71 \cdot 2 = 1.42$

Ответ: Показатель преломления второй среды  $n_2=1.42$

---

### Задачи для самостоятельной работы

1. Свет падает нормально на границу раздела двух сред. Показатель преломления второй среды  $n_2=1.3$ . Коэффициент отражения  $\rho=0.018$ . Определить показатель преломления первой среды.

2. Свет падает нормально на границу раздела двух сред. Показатель преломления первой среды  $n_1=1.33$ . Коэффициент отражения  $\rho=0.004$ . Определить показатель преломления второй среды.
3. Свет падает нормально на границу раздела двух сред. Показатель преломления второй среды  $n_2=1.5$ . Коэффициент отражения  $\rho=0.004$ . Определить показатель преломления первой среды.
4. Свет падает нормально на границу раздела двух сред. Показатель преломления первой среды  $n_1=1.4$ . Коэффициент пропускания  $\tau=0.969$ . Определить показатель преломления второй среды.
5. Свет падает нормально на границу раздела двух сред. Показатель преломления второй среды  $n_2=2$ . Коэффициент пропускания  $\tau=0.969$ . Определить показатель преломления первой среды.
6. Показатель преломления первой среды  $n_1=1.5$ . Второй,  $n_2=1.8$ . Определить коэффициент отражения при нормальном падении света.
7. Показатель преломления первой среды  $n_1=1.5$ . Второй,  $n_2=1.6$ . Определить коэффициент пропускания при нормальном падении света.
8. Показатель преломления первой среды  $n_1=1.5$ . Второй,  $n_2=1.6$ . Определить коэффициент отражения при нормальном падении света.
9. Определить угол наклона отраженного от плоского зеркала луча ( $\gamma$ ), если направление падающего луча задано углом  $\beta=0^\circ$ , а угол наклона зеркала  $\alpha=45^\circ$ .
10. Определить угол наклона падающего на плоское зеркало луча ( $\beta$ ), если направление отраженного луча задано углом  $\gamma=90^\circ$ , а угол наклона зеркала  $\alpha=45^\circ$ .
11. Определить угол поворота плоского зеркала относительно оси ОХ ( $\alpha$ ), если направление падающего луча задано углом  $\beta=10^\circ$ , а направление отраженного луча  $\gamma=60^\circ$ .
12. Определить угол поворота плоского зеркала относительно оси ОХ ( $\alpha$ ), если направление падающего луча задано углом  $\beta=45^\circ$ , а направление отраженного луча  $\gamma=85^\circ$ .
13. Определить направление падающего на плоское зеркало луча ( $\beta$ ), если направление отраженного луча задано углом  $\gamma=60^\circ$ , а угол наклона зеркала  $\alpha=25^\circ$ .
14. После углового зеркала луч идет в сторону, обратную направлению падения. Определить угол при вершине двойного зеркала.
15. Угловое зеркало имеет угол при вершине  $10^\circ$ . Определить угол поворота луча, падающего на такое зеркало.

Свет запускается в жилу световода под углом, большим угла ПВО, и таким образом, многократно отражаясь от стен, свет доходит до конца световода.

### б) Призмы

Отражение от граней в призмах.

ПРИЗМА ОПТИЧЕСКАЯ - призма из прозрачного вещества (стекло, кварца, флюорита, LiF, NaCl, KBr, CsI и др.) Различают спектральные (дисперсионные) призмы, которые используют для изучения явлений, связанных с дисперсией света, и применяют в спектральных приборах; отражательные призмы, применяющиеся в оптических системах для изменения направления лучей; поляризационные призмы.

Если расчет показывает, что угол падения луча на отражающую грань больше угла полного внутреннего отражения, это означает, что на данную грань отражающее покрытие наносить не нужно.

### Задача

Определить угол полного внутреннего отражения на границе раздела сред стекло-воздух.

Решение:

$n = 1$  (воздух);  $n' = 1.5163$ ;  $\varepsilon_{ПВО} \cong 41^\circ 16'$  - угол полного внутреннего отражения.

Ответ: Полное внутреннее отражение будет наступать при углах, больших чем  $\varepsilon_{ПВО} \cong 41^\circ 16'$ .

---

### Задача

Показатель преломления первой среды  $n_1=2$ . Синус угла ПВО 0.71. Определить показатель преломления второй среды.

Решение:

По соотношениям для угла ПВО:

$$n_2 = \sin \varepsilon_{ПВО} \cdot n_1$$

Таким образом,  $n_2 = 0.71 \cdot 2 = 1.42$

Ответ: Показатель преломления второй среды  $n_2=1.42$

---

### Задачи для самостоятельной работы

1. Свет падает нормально на границу раздела двух сред. Показатель преломления второй среды  $n_2=1.3$ . Коэффициент отражения  $\rho=0.018$ . Определить показатель преломления первой среды.



38. Плоское зеркало повернуто относительно оси ОХ на угол  $\alpha=20^\circ$ , направление падающего луча задано углом  $\beta=10^\circ$ . Определить угол наклона  $\gamma$  отраженного луча от первого положения зеркала.

39. Плоское зеркало повернуто относительно оси ОХ на угол  $\alpha=12^\circ$ , направление падающего луча задано углом  $\beta=21^\circ$ . Определить угол наклона  $\gamma$  отраженного луча от первого положения зеркала.

40. Плоское зеркало повернуто относительно оси ОХ на угол  $\alpha=35^\circ$ , направление падающего луча задано углом  $\beta=15^\circ$ . Определить угол наклона  $\gamma$  отраженного луча от первого положения зеркала.

41. Плоское зеркало повернуто относительно оси ОХ на угол  $\alpha=27^\circ$ , направление падающего луча задано углом  $\beta=13^\circ$ . Определить угол наклона  $\gamma$  отраженного луча от первого положения зеркала.

42. Плоское зеркало повернуто относительно оси ОХ на угол  $\alpha=31^\circ$ , направление падающего луча задано углом  $\beta=18^\circ$ . Определить угол наклона  $\gamma$  отраженного луча от первого положения зеркала.

43. Плоское зеркало повернуто относительно оси ОХ на угол  $\alpha=12^\circ$ , направление падающего луча задано углом  $\beta=16^\circ$ . Определить угол наклона  $\gamma$  отраженного луча от первого положения зеркала.

44. Плоское зеркало повернуто относительно оси ОХ на угол  $\alpha = 18^\circ$ , направление падающего луча задано углом  $\beta = 14^\circ$ . Определить угол наклона  $\gamma$  отраженного луча от первого положения зеркала.

45. Плоское зеркало повернуто на угол  $\alpha = 12^\circ$  относительно оси ОХ. Определить направление падающего на зеркало луча (угол  $\beta$ ), если направление отраженного луча от первого положения зеркала задано углом  $\gamma = 34^\circ$ .

46. Плоское зеркало повернуто на угол  $\alpha=5^\circ$  относительно оси ОХ. Определить направление падающего на зеркало луча (угол  $\beta$ ), если направление отраженного луча от первого положения зеркала задано углом  $\gamma=70^\circ$ .

47. Плоское зеркало повернуто на угол  $\alpha=5^\circ$  относительно оси ОХ. Определить направление падающего на зеркало луча (угол  $\beta$ ), если направление отраженного луча от первого положения зеркала задано углом  $\gamma=80^\circ$ .

48. Плоское зеркало повернуто на угол  $\alpha=20^\circ$  относительно оси ОХ. Определить направление падающего на зеркало луча (угол  $\beta$ ), если направление отраженного луча от первого положения зеркала задано углом  $\gamma=60^\circ$ .

49. Плоское зеркало повернуто на угол  $\alpha=10^\circ$  относительно оси ОХ. Определить направление падающего на зеркало луча (угол  $\beta$ ), если

направление отраженного луча от первого положения зеркала задано углом  $\gamma=20^\circ$ .

50. Плоское зеркало повернуто на угол  $\alpha=17^\circ$  относительно оси ОХ. Определить направление падающего на зеркало луча (угол  $\beta$ ), если направление отраженного луча от первого положения зеркала задано углом  $\gamma=34^\circ$ .

51. Плоское зеркало повернуто на угол  $\alpha=10^\circ$  относительно оси ОХ. Определить направление падающего на зеркало луча (угол  $\beta$ ), если направление отраженного луча от первого положения зеркала задано углом  $\gamma=50^\circ$ .

52. Плоское зеркало повернуто на угол  $\alpha=30^\circ$  относительно оси ОХ. Определить направление падающего на зеркало луча (угол  $\beta$ ), если направление отраженного луча от первого положения зеркала задано углом  $\gamma=80^\circ$ .

53. Плоское зеркало повернуто на угол  $\alpha=10^\circ$  относительно оси ОХ. Определить направление падающего на зеркало луча (угол  $\beta$ ), если направление отраженного луча от первого положения зеркала задано углом  $\gamma=30^\circ$ .

54. Плоское зеркало повернуто на угол  $\alpha=15^\circ$  относительно оси ОХ. Определить направление падающего на зеркало луча (угол  $\beta$ ), если направление отраженного луча от первого положения зеркала задано углом  $\gamma=45^\circ$ .

55. Угол отклонения луча при повороте плоского зеркала  $\omega=15^\circ$ , направление падающего луча задано углом  $\beta=25^\circ$ . Определить угол падения луча  $\epsilon$  при первом положении зеркала.

56. Угол отклонения луча при повороте плоского зеркала  $\omega=10^\circ$ , направление падающего луча задано углом  $\beta=40^\circ$ . Определить угол падения луча  $\epsilon$  при первом положении зеркала.

57. Угол отклонения луча при повороте плоского зеркала  $\omega=70^\circ$ , направление падающего луча задано углом  $\beta=15^\circ$ . Определить угол падения луча  $\epsilon$  при первом положении зеркала.

58. Угол отклонения луча при повороте плоского зеркала  $\omega=40^\circ$ , направление падающего луча задано углом  $\beta=20^\circ$ . Определить угол падения луча  $\epsilon$  при первом положении зеркала.

59. Угол отклонения луча при повороте плоского зеркала  $\omega=20^\circ$ , направление падающего луча задано углом  $\beta=30^\circ$ . Определить угол падения луча  $\epsilon$  при первом положении зеркала.



73. Угол отклонения луча при повороте плоского зеркала  $\omega=20^\circ$ . Угол падения луча при первом положении зеркала  $\epsilon_1=42^\circ$ . Определить угол падения луча  $\epsilon_2$  при повороте зеркала.

74. Угол отклонения луча при повороте плоского зеркала  $\omega=42^\circ$ . Угол падения луча при первом положении зеркала  $\epsilon_1=19^\circ$ . Определить угол падения луча  $\epsilon_2$  при повороте зеркала.

75. Определить в градусах предельный угол полного внутреннего отражения на границе стекло-воздух. Показатель преломления стекла  $n=1.8$ .

76. Определить в градусах предельный угол полного внутреннего отражения на границе стекло-воздух. Показатель преломления стекла  $n=1.85$ .

77. Определить в градусах предельный угол полного внутреннего отражения на границе стекло-воздух. Показатель преломления стекла  $n=1.5$ .

78. Определить в градусах предельный угол полного внутреннего отражения на границе стекло-воздух. Показатель преломления стекла  $n=1.55$ .

79. Определить в градусах предельный угол полного внутреннего отражения на границе стекло-воздух. Показатель преломления стекла  $n=1.6$ .

80. Определить в градусах предельный угол полного внутреннего отражения на границе стекло-воздух. Показатель преломления стекла  $n=1.65$ .

81. Определить в градусах предельный угол полного внутреннего отражения на границе стекло-воздух. Показатель преломления стекла  $n=1.7$ .

82. Определить в градусах предельный угол полного внутреннего отражения на границе стекло-воздух. Показатель преломления стекла  $n=1.75$ .

83. Определить в градусах предельный угол полного внутреннего отражения на границе стекло-воздух. Показатель преломления стекла  $n=1.5163$ .

84. Определить в градусах предельный угол полного внутреннего отражения на границе стекло-воздух. Показатель преломления стекла  $n=2.417$ .

85. Определить в градусах предельный угол полного внутреннего отражения на границе стекло-воздух. Показатель преломления стекла  $n=1.4$ .

86. Определить в градусах предельный угол полного внутреннего отражения на границе стекло-вода. Показатель преломления стекла  $n_1=1.45$ . Показатель преломления воды  $n_2=1.33304$ .

87. Определить в градусах предельный угол полного внутреннего отражения на границе стекло-вода. Показатель преломления стекла  $n_1=1.85$ . Показатель преломления воды  $n_2=1.33304$ .

88. Определить в градусах предельный угол полного внутреннего отражения на границе стекло-вода. Показатель преломления стекла  $n_1=1.4$ . Показатель преломления воды  $n_2=1.33304$ .



89. Определить в градусах предельный угол полного внутреннего отражения на границе стекло-вода. Показатель преломления стекла  $n_1=1.55$ . Показатель преломления воды  $n_2=1.33304$ .

90. Определить в градусах предельный угол полного внутреннего отражения на границе стекло-вода. Показатель преломления стекла  $n_1=1.622$ . Показатель преломления воды  $n_2=1.33304$ .

91. Определить в градусах предельный угол полного внутреннего отражения на границе стекло-вода. Показатель преломления стекла  $n_1=1.5$ . Показатель преломления воды  $n_2=1.33304$ .

92. Определить в градусах предельный угол полного внутреннего отражения на границе стекло-вода. Показатель преломления стекла  $n_1=1.65$ . Показатель преломления воды  $n_2=1.33304$ .

93. Определить в градусах предельный угол полного внутреннего отражения на границе стекло-вода. Показатель преломления стекла  $n_1=1.8$ . Показатель преломления воды  $n_2=1.33304$ .

94. Определить в градусах предельный угол полного внутреннего отражения на границе стекло-вода. Показатель преломления стекла  $n_1=1.7$ . Показатель преломления воды  $n_2=1.33304$ .

95. Определить в градусах предельный угол полного внутреннего отражения на границе стекло-вода. Показатель преломления стекла  $n_1=1.75$ . Показатель преломления воды  $n_2=1.33304$ .

96. Определить в градусах предельный угол полного внутреннего отражения на границе стекло-вода. Показатель преломления стекла  $n_1=1.5163$ . Показатель преломления воды  $n_2=1.33304$ .

97. Определить в градусах и минутах предельный угол падения лучей  $\theta_1$  на входную грань прямоугольной равнобедренной призмы, при котором отражающая грань может быть еще без зеркального покрытия. Призма изготовлена из стекла  $n_2=1.4$  и находится в воздухе.

98. Определить в градусах и минутах предельный угол падения лучей  $\theta_1$  на входную грань прямоугольной равнобедренной призмы, при котором отражающая грань может быть еще без зеркального покрытия. Призма изготовлена из стекла  $n_2=1.9$  и находится в воздухе.

99. Определить в градусах и минутах предельный угол падения лучей  $\theta_1$  на входную грань прямоугольной равнобедренной призмы, при котором отражающая грань может быть еще без зеркального покрытия. Призма изготовлена из стекла  $n_2=1.8$  и находится в воздухе.

100. Определить в градусах и минутах предельный угол падения лучей  $\theta_1$  на входную грань прямоугольной равнобедренной призмы, при котором

отражающая грань может быть еще без зеркального покрытия. Призма изготовлена из стекла  $n_2=1.45$  и находится в воздухе.

101. Определить в градусах и минутах предельный угол падения лучей  $\epsilon_1$  на входную грань прямоугольной равнобедренной призмы, при котором отражающая грань может быть еще без зеркального покрытия. Призма изготовлена из стекла  $n_2=1.65$  и находится в воздухе.

102. Определить в градусах и минутах предельный угол падения лучей  $\epsilon_1$  на входную грань прямоугольной равнобедренной призмы, при котором отражающая грань может быть еще без зеркального покрытия. Призма изготовлена из стекла  $n_2=1.75$  и находится в воздухе.

103. Определить в градусах и минутах предельный угол падения лучей  $\epsilon_1$  на входную грань прямоугольной равнобедренной призмы, при котором отражающая грань может быть еще без зеркального покрытия. Призма изготовлена из стекла  $n_2=1.5163$  и находится в воздухе.

104. Определить в градусах и минутах предельный угол падения лучей  $\epsilon_1$  на входную грань прямоугольной равнобедренной призмы, при котором отражающая грань может быть еще без зеркального покрытия. Призма изготовлена из стекла  $n_2=1.55$  и находится в воздухе.

105. Определить в градусах и минутах предельный угол падения лучей  $\epsilon_1$  на входную грань прямоугольной равнобедренной призмы, при котором отражающая грань может быть еще без зеркального покрытия. Призма изготовлена из стекла  $n_2=1.7$  и находится в воздухе.

106. Определить в градусах и минутах предельный угол падения лучей  $\epsilon_1$  на входную грань прямоугольной равнобедренной призмы, при котором отражающая грань может быть еще без зеркального покрытия. Призма изготовлена из стекла  $n_2=1.6$  и находится в воздухе.

107. Определить в градусах и минутах предельный угол падения лучей  $\epsilon_1$  на входную грань прямоугольной равнобедренной призмы, при котором отражающая грань может быть еще без зеркального покрытия. Призма изготовлена из стекла  $n_2=1.85$  и находится в воздухе.

108. Система из двух плоских зеркал, расположенных под углом  $\sigma$  друг к другу, изменяет направление падающего на нее луча на величину  $\omega=30^\circ$ . Определить угол  $\sigma$  в градусах.

109. Система из двух плоских зеркал, расположенных под углом  $\sigma$  друг к другу, изменяет направление падающего на нее луча на величину  $\omega=20^\circ$ . Определить угол  $\sigma$  в градусах.

110. Система из двух плоских зеркал, расположенных под углом  $\sigma$  друг к другу, изменяет направление падающего на нее луча на величину  $\omega=40^\circ$ . Определить угол  $\sigma$  в градусах.

111. Система из двух плоских зеркал, расположенных под углом  $\sigma$  друг к другу, изменяет направление падающего на нее луча на величину  $\omega=50^\circ$ . Определить угол  $\sigma$  в градусах.

112. Система из двух плоских зеркал, расположенных под углом  $\sigma$  друг к другу, изменяет направление падающего на нее луча на величину  $\omega=60^\circ$ . Определить угол  $\sigma$  в градусах.

113. Система из двух плоских зеркал, расположенных под углом  $\sigma$  друг к другу, изменяет направление падающего на нее луча на величину  $\omega=35^\circ$ . Определить угол  $\sigma$  в градусах.

114. Дана система из двух плоских зеркал, расположенных под углом  $\sigma=50^\circ$  друг к другу, Определить угол  $\omega$  изменения направления падающего на систему зеркал луча.

115. Дана система из двух плоских зеркал, расположенных под углом  $\sigma=32^\circ$  друг к другу, Определить угол  $\omega$  изменения направления падающего на систему зеркал луча.

116. Дана система из двух плоских зеркал, расположенных под углом  $\sigma=30^\circ$  друг к другу, Определить угол  $\omega$  изменения направления падающего на систему зеркал луча.

117. Дана система из двух плоских зеркал, расположенных под углом  $\sigma=20^\circ$  друг к другу, Определить угол  $\omega$  изменения направления падающего на систему зеркал луча.

118. Дана система из двух плоских зеркал, расположенных под углом  $\sigma=22^\circ$  друг к другу, Определить угол  $\omega$  изменения направления падающего на систему зеркал луча.

119. Дана система из двух плоских зеркал, расположенных под углом  $\sigma=12^\circ$  друг к другу, Определить угол  $\omega$  изменения направления падающего на систему зеркал луча.

120. Объект, находящийся в воде, виден под углом  $55^\circ$ . Определить реальный угол в воде, под которым находится объект. Показатель преломления воды 1.33304.

121. Объект, находящийся в воде, виден под углом  $60^\circ$ . Определить реальный угол в воде, под которым находится объект. Показатель преломления воды 1.33304.

122. Объект, находящийся в воде, виден под углом  $80^\circ$ . Определить реальный угол в воде, под которым находится объект. Показатель преломления воды 1.33304.

123.Объект, находящийся в воде, виден под углом  $30^{\circ}$ . Определить реальный угол в воде, под которым находится объект. Показатель преломления воды 1.33304.

124.Объект, находящийся в воде, виден под углом  $50^{\circ}$ . Определить реальный угол в воде, под которым находится объект. Показатель преломления воды 1.33304.

125.Объект, находящийся в воде, виден под углом  $75^{\circ}$ . Определить реальный угол в воде, под которым находится объект. Показатель преломления воды 1.33304.

126.Объект, находящийся в воде, виден под углом  $45^{\circ}$ . Определить реальный угол в воде, под которым находится объект. Показатель преломления воды 1.33304.

127.Объект, находящийся в воде, виден под углом  $40^{\circ}$ . Определить реальный угол в воде, под которым находится объект. Показатель преломления воды 1.33304.

128.Объект, находящийся в воде, виден под углом  $65^{\circ}$ . Определить реальный угол в воде, под которым находится объект. Показатель преломления воды 1.33304.

129.Объект, находящийся в воде, виден под углом  $70^{\circ}$ . Определить реальный угол в воде, под которым находится объект. Показатель преломления воды 1.33304.

130.Объект, находящийся в воде, виден под углом  $35^{\circ}$ . Определить реальный угол в воде, под которым находится объект. Показатель преломления воды 1.33304.

### **Практическое занятие №3. Построение хода луча в оптической системе. Основные соотношения параксиальной оптики**

Кардинальные точки оптической системы. Построение лучей в системе, заданной главными плоскостями. Построение изображения. Основные формулы: Формула отрезков. Формула Ньютона, формула для линейного увеличения.

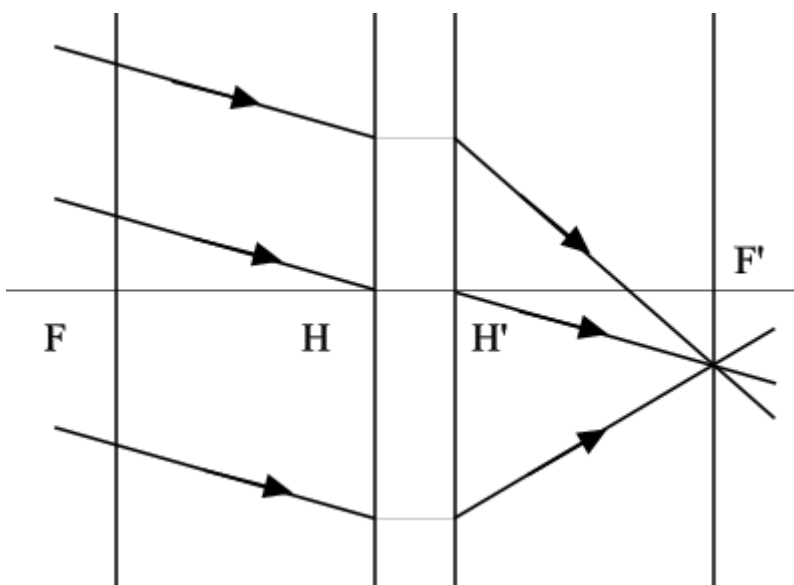
Теоретический материал изложен в главе "5. Геометрическая теория оптических изображений. Идеальные оптические системы" [1,2].

#### ***Примеры решения задач***

##### **Правила построения хода лучей в оптической системе**

Луч, идущий параллельно оптической оси после линзы пройдет через точку заднего фокуса.

Если параллельный пучок лучей после линзы собирается в одну точку, то такая линза - собирающая, положительная, и точка - ее действительный фокус.

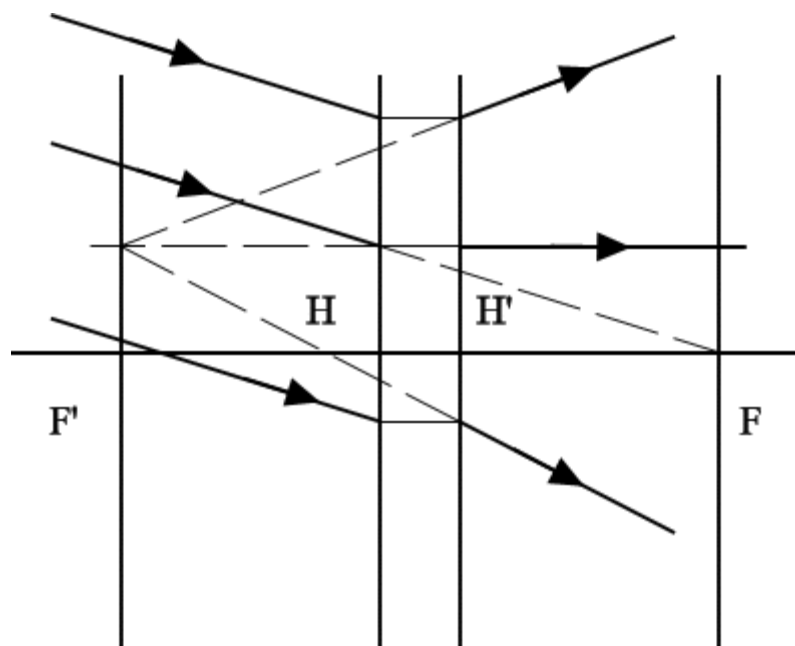


*Рис. 5 Собирающая линза.*

Если параллельный пучок лучей после линзы расходится, как будто все лучи пущены из единого центра, то линза - рассеивающая, отрицательная.

Для понимания, с каким из фокусов имеем дело, принято называть фокус в пространстве предметов - передним, фокус в пространстве изображений - задним. Фокальные отрезки называются соответственно.

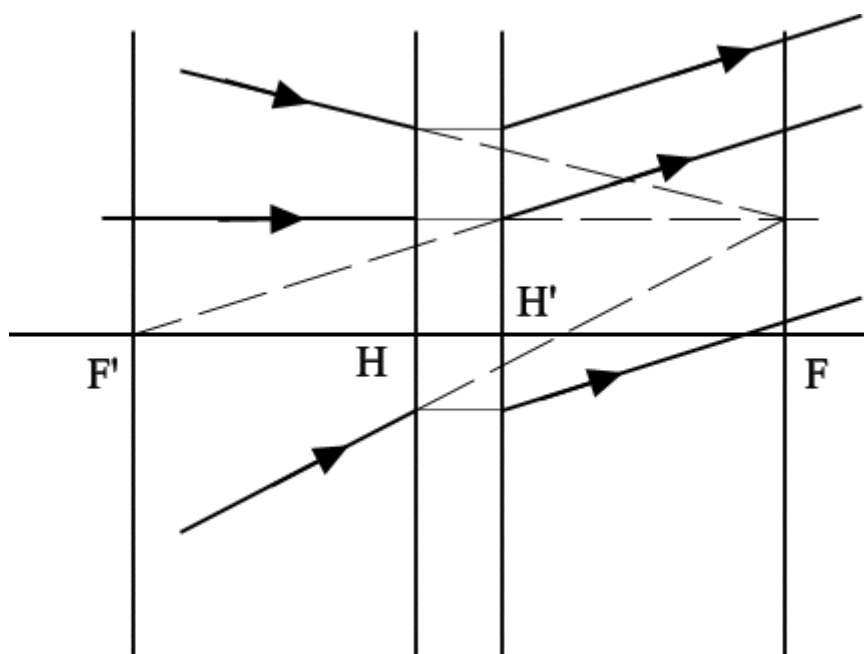
Фокальная плоскость - плоскость, проходящая через точку фокуса перпендикулярно оптической оси.



*Рис. 6 Рассеивающая линза.*

Луч, проходящий через точку переднего фокуса, после линзы пойдет параллельно оптической оси.

Лучи, идущие параллельно друг другу, сойдутся в одной точке на задней фокальной плоскости.



*Рис. 7 Правило.*

Лучи, идущие из одной точки на передней фокальной плоскости, пойдут после линзы параллельно друг другу.

В пучке лучей выбирается луч, построение которого легко осущетвить, и остальные строятся параллельно.

**Частный случай:** Для системы, находящейся в однородной среде - луч, проходящий через центр линзы не преломляется.

### **Построения изображения**

Необходимо построить 2 луча, проходящих через точку предмета. Пересечение преломленных лучей дает нам точку изображения.

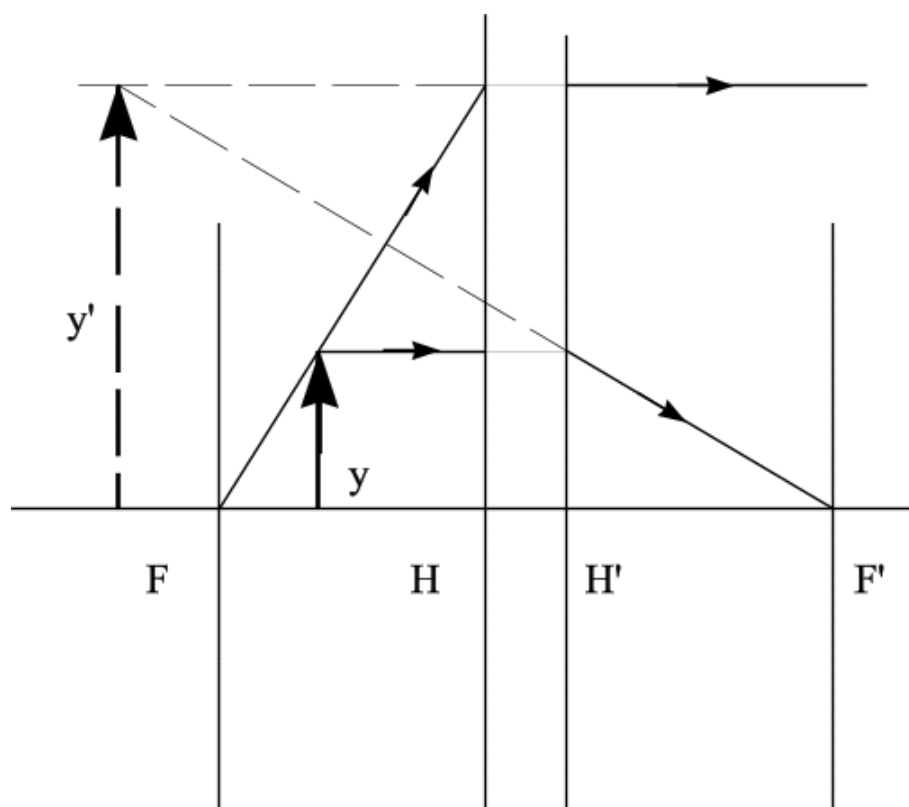
- Проводим луч через край предмета параллельно оптической оси. Преломленный луч пройдет через точку заднего фокуса.
- Проведем луч через край предмета и точку переднего фокуса. Дальше луч пойдет параллельно оптической оси.
- На пересечении построенных лучей находится искомое изображение точки предмета.

### **Собирающая (положительная) линза**

Если предмет находится между линзой и ее фокусом, то его изображение – увеличенное, мнимое, прямое, и расположено оно по ту же сторону от линзы, что и предмет, и дальше от линзы, чем предмет.

Если предмет находится между фокусом и двойным фокусом линзы, то линза дает его увеличенное, перевернутое, действительное изображение: оно расположено по другую сторону от линзы по отношению к предмету, за двойным фокусным расстоянием.

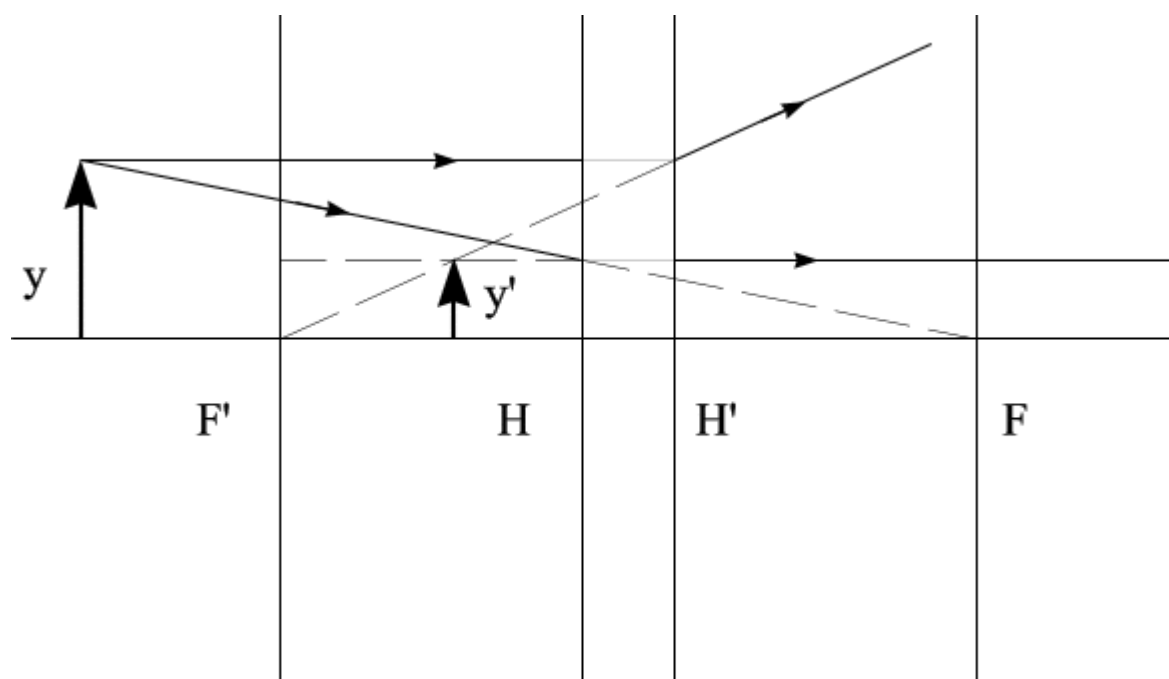
Если предмет находится за двойным фокусным расстоянием линзы, то линза дает уменьшенное, перевернутое, действительное изображение предмета, лежащее по другую сторону линзы между ее фокусом и двойным фокусом.



*Рис. 8 Построение изображения в собирающей линзе.*

### **Рассеивающая (отрицательная) линза**

Рассеивающая линза не дает действительных изображений, при всех положениях предмета дает уменьшенное, мнимое, прямое изображение, лежащее по ту же сторону от линзы, что и предмет.

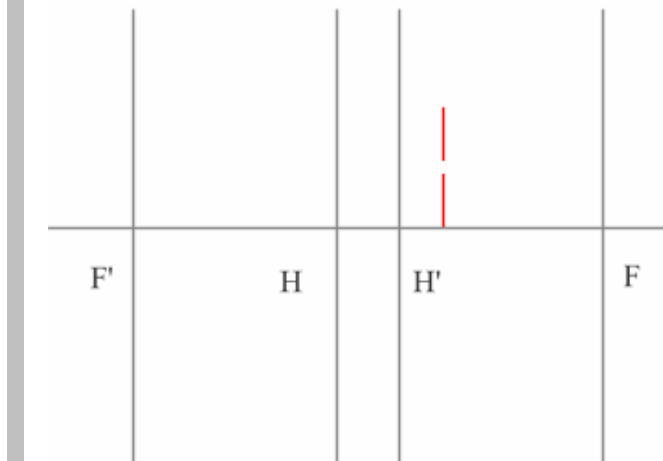


*Рис. 9 Построение изображения в рассеивающей линзе.*



### Задача

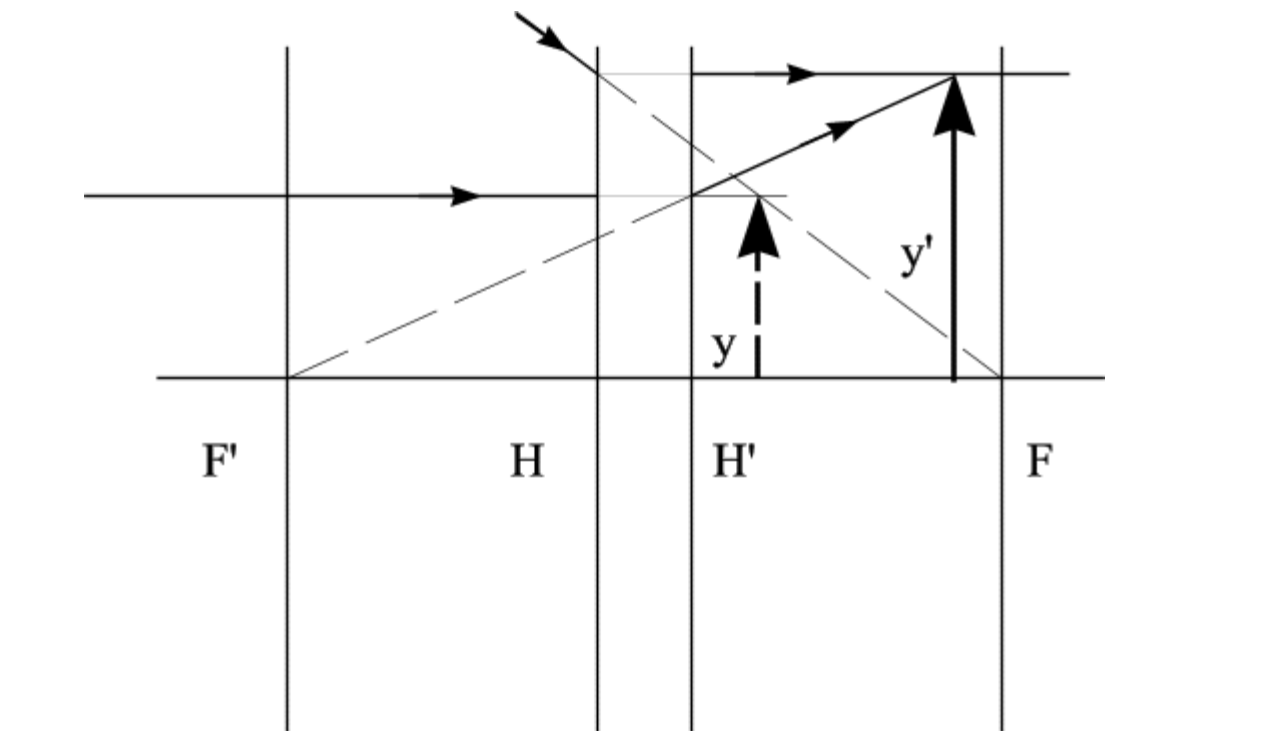
Построение изображения мнимого предмета



### Решение

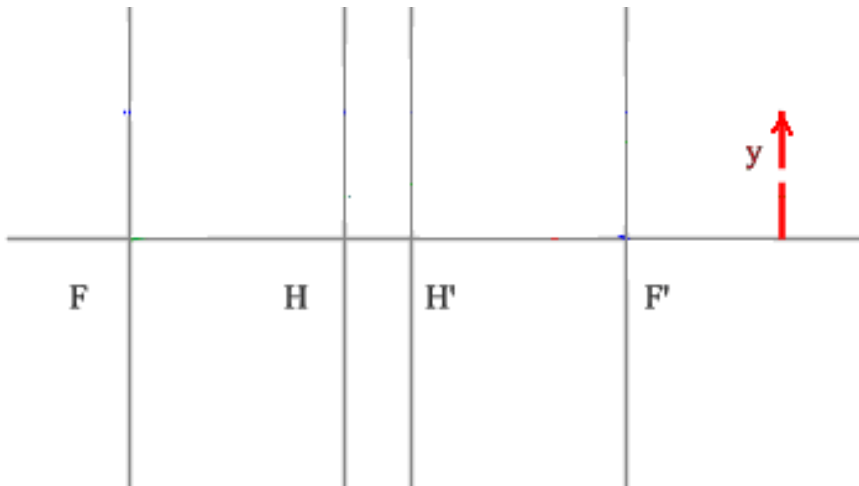
Первый луч проводим через край предмета и точку переднего фокуса. После оптического элемента луч пойдет параллельно оптической оси.

Второй луч направляется параллельно оси через точку предмета. По правилам преломления после оптического элемента, луч пройдет через задний фокус.



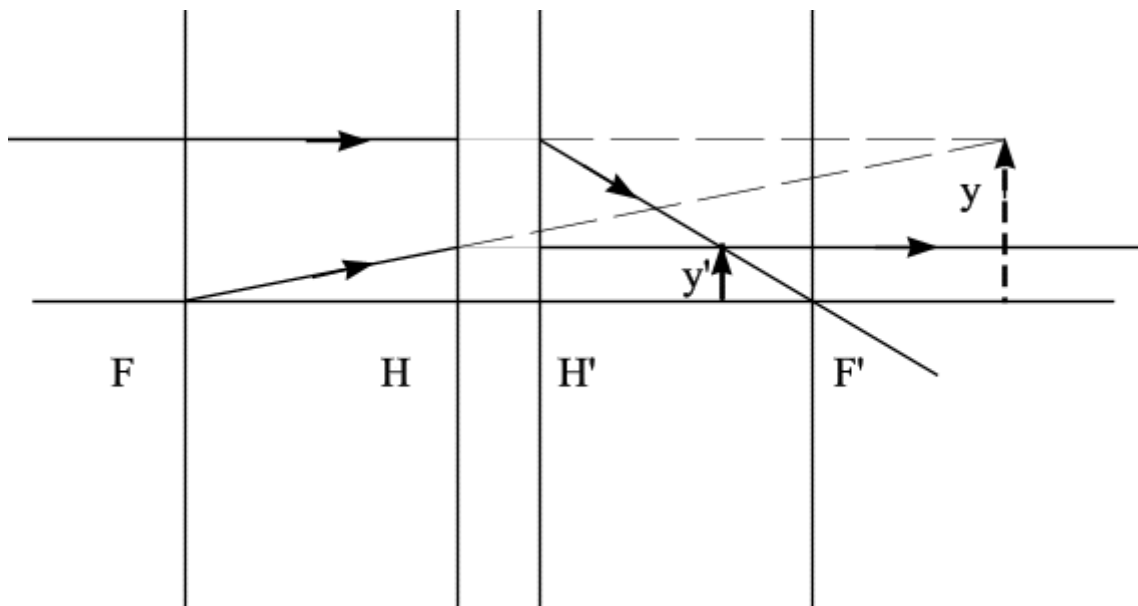
## Задача

Рассмотрим пример: Найти изображение заданного предмета.



## Решение

Первый вспомогательный луч так же проводим через передний фокус и край предмета. Не дойдя до мнимого предмета, луч преломится и пойдет параллельно оптической оси. Второй луч направляется параллельно оптической оси через точку предмета. После оптического элемента луч пойдет через задний фокус.

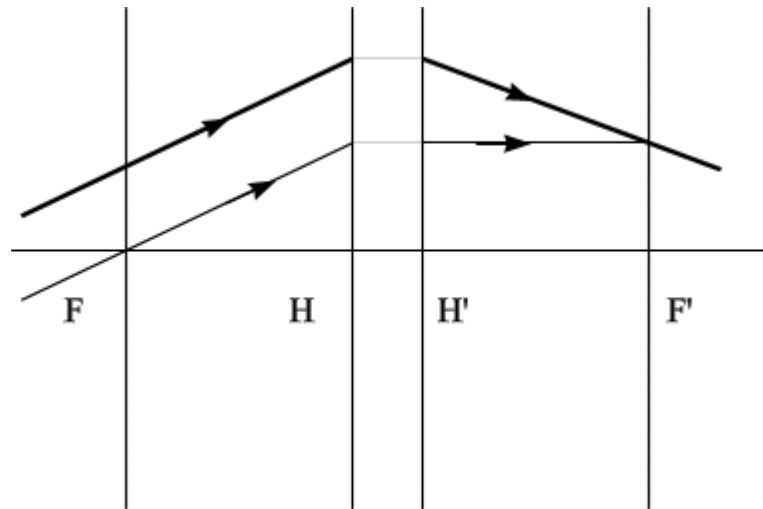


## Построение луча

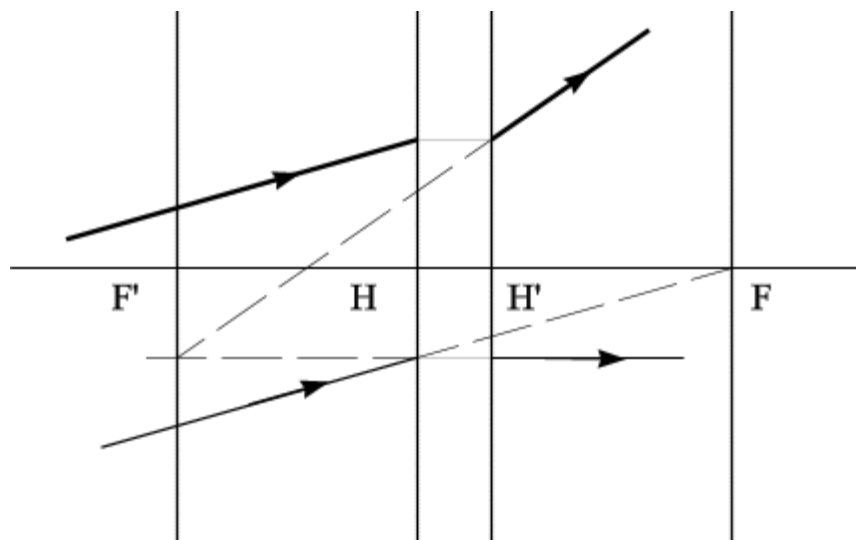
Первый способ построения луча

- Проводим луч параллельно заданному лучу через точку переднего фокуса. Преломленный луч пойдет параллельно оптической оси. Лучи, идущие параллельно друг другу сойдутся в одной точке на задней фокальной плоскости.

- Соединяем точку пересечения луча с задней фокальной плоскостью с точкой выхода заданного луча из линзы. Это и будет искомый луч.



*Рис. 10 Построение луча в положительной линзе..*

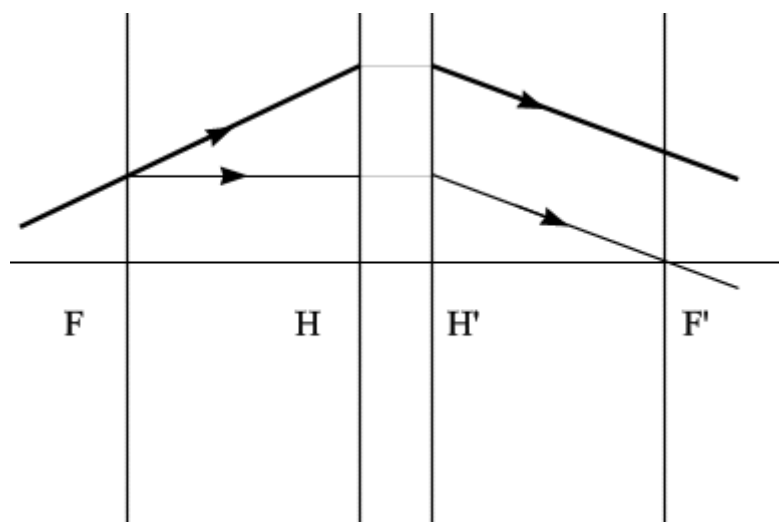


*Рис. 11 Построение луча в отрицательной линзе.*

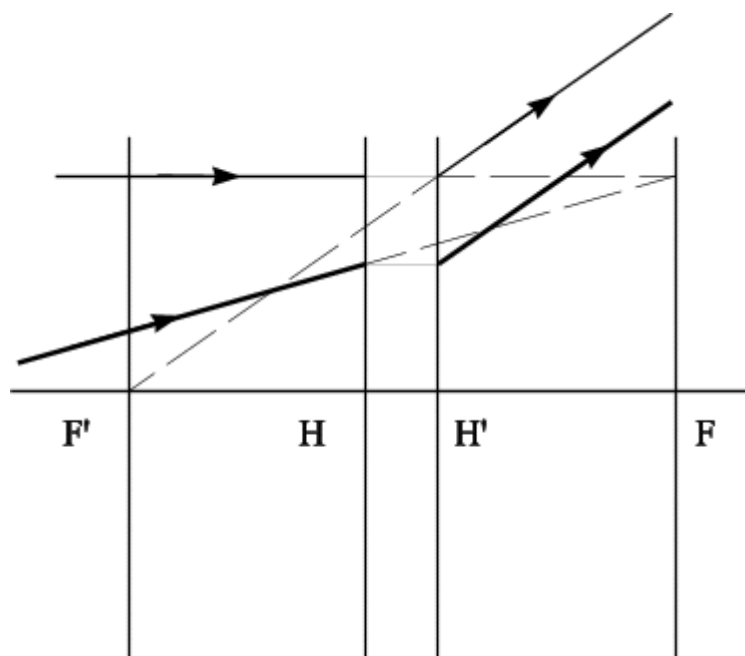
### **Второй способ построения луча**

Основан на том же правиле, но действует от обратного.

1. Находим точку пересечения заданного луча с передней фокальной плоскостью.
2. Через эту точку проводим вспомогательный луч параллельно оптической оси. Преломленный луч пойдет через точку заднего фокуса.
3. По правилу, такие лучи пойдут параллельно друг другу. Из точки пересечения заданного луча с линзой строим преломленный луч параллельно вспомогательному лучу.



*Рис. 12 Второй способ построения хода луча.*



*Рис. 13 Второй способ построения хода луча.*

### **Построение сложного изображения**

Решение задач на построение сложного изображения сводится к более простой задаче и решается традиционным способом. Предмет, состоящий из нескольких точек, получается с помощью построения каждой из точек предмета по отдельности. Затем соединяя точки предмета в соответствующей последовательности, получаем конфигурацию изображения.

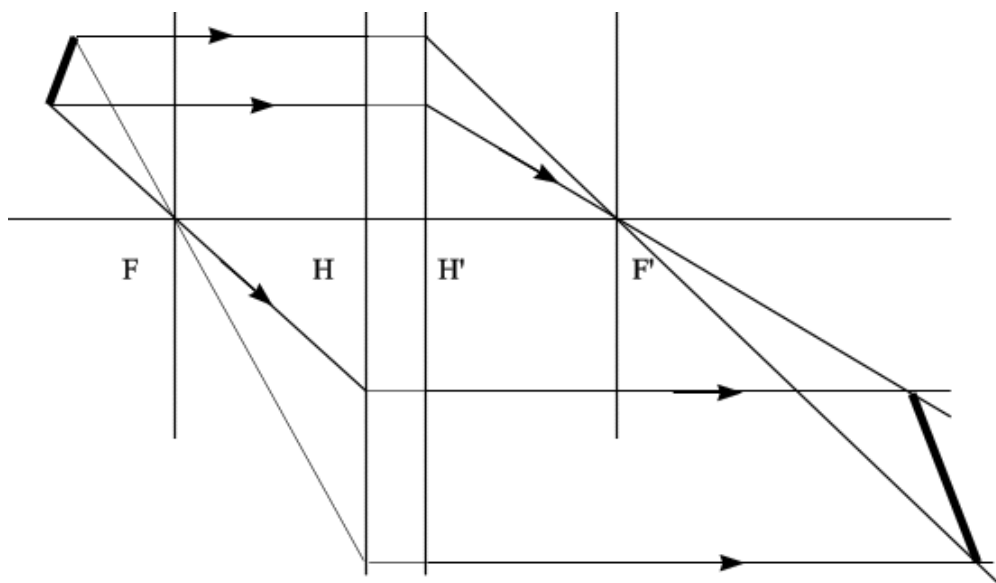
### Задача

Построить изображение заданного предмета в положительной (собирающей) линзе.

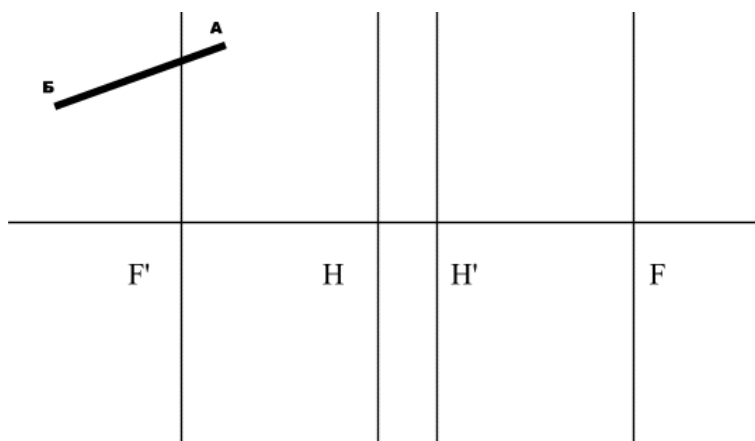
Решение:

Сначала строим изображение нижней точки предмета с помощью двух лучей, как обычно: первый луч проводим через фокус, второй – параллельно оптической оси.

Затем таким же образом строим изображение второй точки. Соединяя точки, полученные в пространстве изображений, получаем изображение заданного предмета.

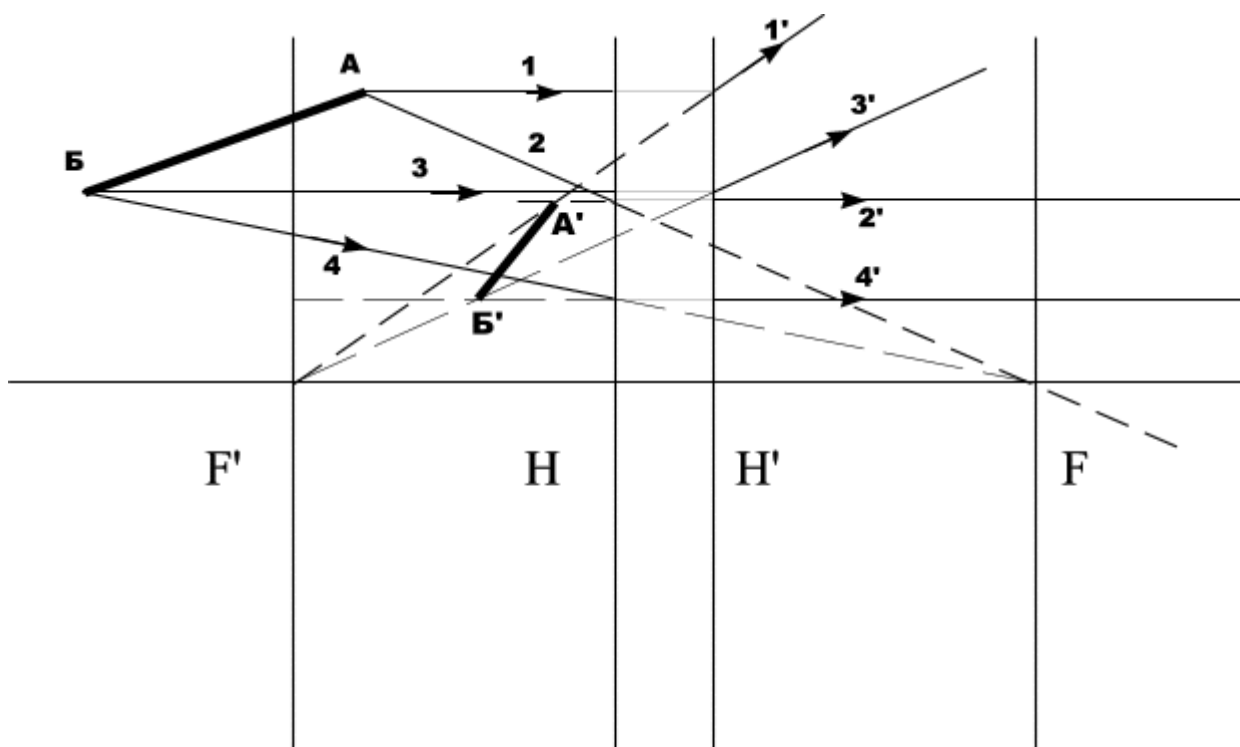


### Задача



Решение:

Сначала строим изображение верхней точки предмета. Как и положено для рассеивающей линзы, пересекаться будут не сами лучи, а их продолжения. Затем строим изображение второй точки. Соединяя эти точки, получаем изображение предмета.



### Построение предмета по заданному изображению

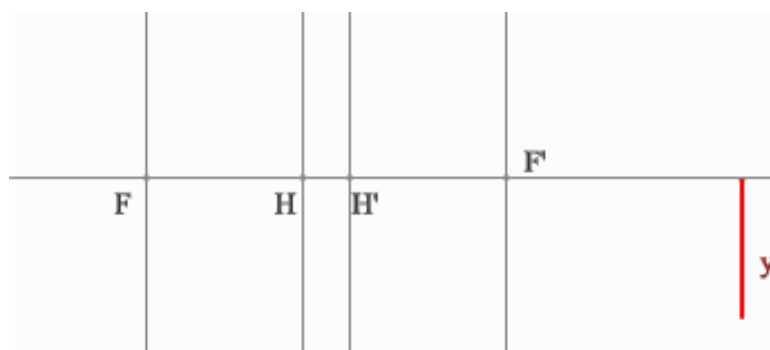
Построение предмета по изображению сводится к решению обратной задачи. Необходимы 2 луча, идущие через точку изображения. Пересечение этих лучей в пространстве предметов, даст нам точку предмета.

Проводим луч через край изображения параллельно оптической оси. Преломленный луч пройдет через точку переднего фокуса.

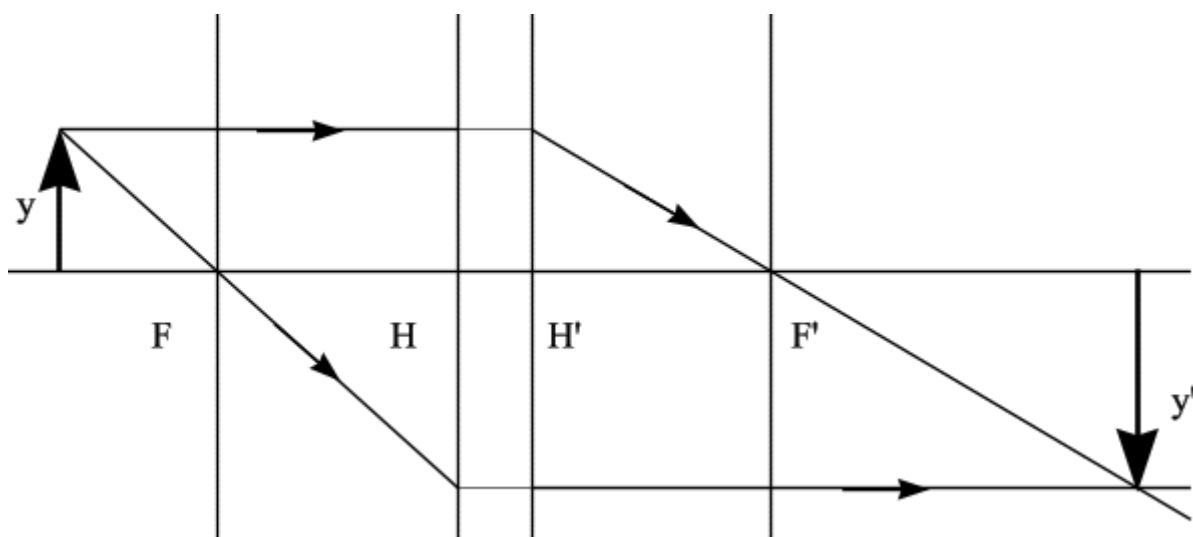
Проведем луч через край изображения и точку заднего фокуса. В пространстве предметов луч пойдет параллельно оптической оси. На пересечении построенных лучей находится искомое изображение точки предмета.

### Задача

Положительная линза (построение предмета для действительного изображения)

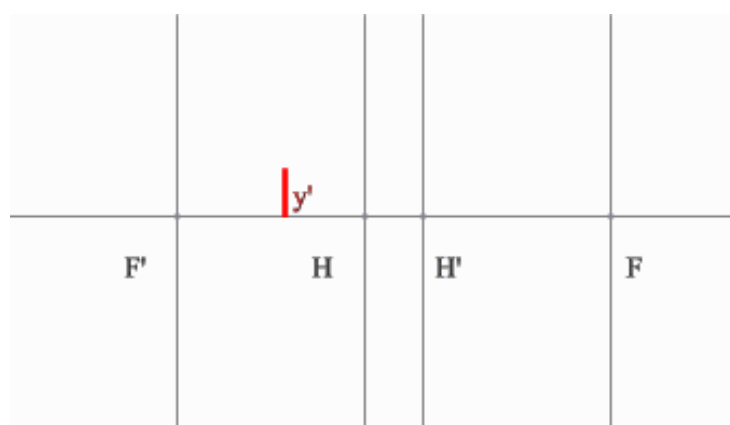


Решение

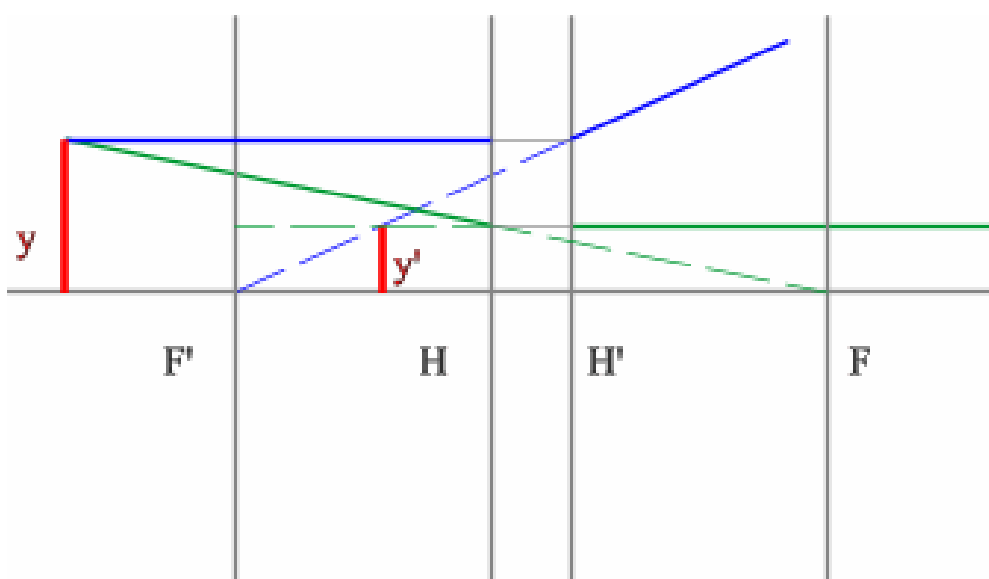


### Задача

Построение предмета по мнимому изображению в отрицательной линзе.

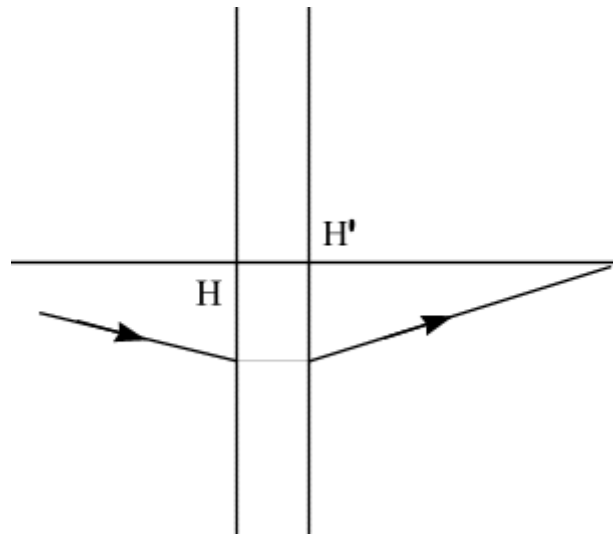


Решение



### Задача

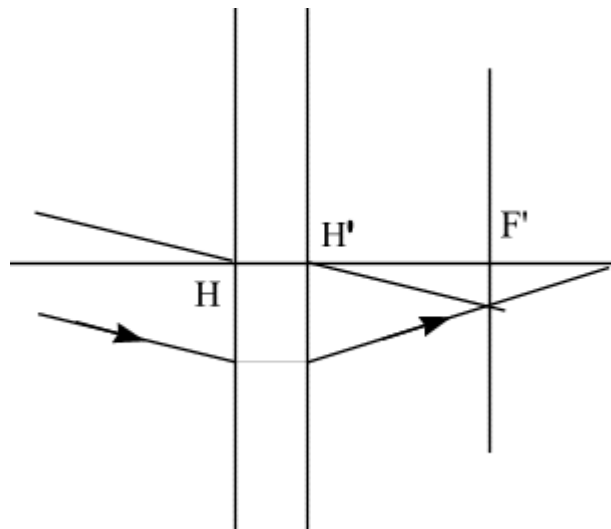
Определить положение фокальных плоскостей по заданному ходу луча. Система находится в однородной среде.



Решение:

Строим луч параллельный заданному лучу через центр линзы. В пространстве изображений этот луч идёт под тем же углом.

Находим точку пересечения заданного и построенного лучей в пространстве изображений. По правилу, эта точка находится на задней фокальной плоскости системы. Значит, имеем право построить фокальную плоскость. Построение передней фокальной плоскости можно не производить, отложив полученное расстояние от передней главной плоскости.





100

100

### Задача

Определить взаимное расположение предмета, линзы с фокусным расстоянием  $f'=100$  мм и экрана, на который проектируется изображение с пятикратным увеличением.

### Решение

При проектировании линзой изображения на экране получается перевернутым, следовательно  $v = -5^x$ .

Составим уравнения:  $\frac{1}{a'} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f'}$        $\frac{a'}{a} = -5 \Rightarrow a' = -5 \cdot a$

Полученное выражение подставим в уравнение:  $\frac{1}{-5 \cdot a} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f'}$

$$\frac{-6}{-5 \cdot a} = \frac{1}{100} \Rightarrow a = -120 \text{ мм}$$

$$a' = -5 \cdot a \Rightarrow a' = 600 \text{ мм}$$

**Ответ:**  $a = -120 \text{ мм}$ ,  $a' = 600 \text{ мм}$

---

### Задачи для самостоятельной работы

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. Линза имеет фокусное расстояние  $f'=20$  мм. Предмет размером  $y=5$  мм расположен на расстоянии  $a=20$  мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Линза имеет фокусное расстояние  $f'=120$  мм. Предмет размером  $y=5$  мм расположен на расстоянии  $a=60$  мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

19. Линза имеет фокусное расстояние  $f' = -90$  мм. Предмет размером  $y = 10$  мм расположен на расстоянии  $a = 60$  мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.



45. 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.

46. Линза имеет фокусное расстояние  $f' = -110$  мм. Предмет размером  $y = 10$  мм расположен на расстоянии  $a = -90$  мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

47. Линза имеет фокусное расстояние  $f' = 90$  мм. Предмет размером  $y = 10$  мм расположен на расстоянии  $a = -70$  мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

48. Линза имеет фокусное расстояние  $f' = 70$  мм. Предмет размером  $y = 10$  мм расположен на расстоянии  $a = -50$  мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

49. Линза имеет фокусное расстояние  $f' = 50$  мм. Предмет размером  $y = 10$  мм расположен на расстоянии  $a = -30$  мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

50. Линза имеет фокусное расстояние  $f' = -140$  мм. Предмет размером  $y = 10$  мм расположен на расстоянии  $a = -100$  мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.

51. С какого расстояния необходимо сфотографировать чертеж, чтобы получить на негативе его копию в масштабе 1:5, если фокусное расстояние объектива  $f' = 300$  мм?

52. С какого расстояния необходимо сфотографировать чертеж, чтобы получить на негативе его копию в масштабе 1:5, если фокусное расстояние объектива  $f' = 200$  мм?

53. С какого расстояния необходимо сфотографировать чертеж, чтобы получить на негативе его копию в масштабе 1:6, если фокусное расстояние объектива  $f' = 300$  мм?

54. С какого расстояния необходимо сфотографировать чертеж, чтобы получить на негативе его копию в масштабе 1:6, если фокусное расстояние объектива  $f' = 200$  мм?

55. С какого расстояния необходимо сфотографировать чертеж, чтобы получить на негативе его копию в масштабе 1:4, если фокусное расстояние объектива  $f' = 300$  мм?

56. С какого расстояния необходимо сфотографировать чертеж, чтобы получить на негативе его копию в масштабе 1:4, если фокусное расстояние объектива  $f' = 200$  мм?

57. С какого расстояния необходимо сфотографировать чертеж, чтобы получить на негативе его копию в масштабе 1:3, если фокусное расстояние объектива  $f' = 150$  мм?

58. С какого расстояния необходимо сфотографировать чертеж, чтобы получить на негативе его копию в масштабе 1:3, если фокусное расстояние объектива  $f' = 200$  мм?

59.С какого расстояния необходимо сфотографировать чертеж, чтобы получить на негативе его копию в масштабе 1:3.5, если фокусное расстояние объектива  $f' = 150$  мм?

60.С какого расстояния необходимо сфотографировать чертеж, чтобы получить на негативе его копию в масштабе 1:5, если фокусное расстояние объектива  $f' = 150$  мм?

61.Определить взаимное расположение предмета, линзы с фокусным расстоянием  $f' = 130$  мм и экрана, на который проектируется изображение с пятикратным увеличением.

62.Определить взаимное расположение предмета, линзы с фокусным расстоянием  $f' = 150$  мм и экрана, на который проектируется изображение с пятикратным увеличением.

63.Определить взаимное расположение предмета, линзы с фокусным расстоянием  $f' = 100$  мм и экрана, на который проектируется изображение с пятикратным увеличением.

64.Определить взаимное расположение предмета, линзы с фокусным расстоянием  $f' = 120$  мм и экрана, на который проектируется изображение с трёхкратным увеличением.

65.Определить взаимное расположение предмета, линзы с фокусным расстоянием  $f' = 60$  мм и экрана, на который проектируется изображение с трёхкратным увеличением.

66.Определить взаимное расположение предмета, линзы с фокусным расстоянием  $f' = 40$  мм и экрана, на который проектируется изображение с трёхкратным увеличением.

67.Определить взаимное расположение предмета, линзы с фокусным расстоянием  $f' = 80$  мм и экрана, на который проектируется изображение с четырёхкратным увеличением.

68.Определить взаимное расположение предмета, линзы с фокусным расстоянием  $f' = 90$  мм и экрана, на который проектируется изображение с пятикратным увеличением.

69.Определить взаимное расположение предмета, линзы с фокусным расстоянием  $f' = 30$  мм и экрана, на который проектируется изображение с шестикратным увеличением.

70.Определить взаимное расположение предмета, линзы с фокусным расстоянием  $f' = 110$  мм и экрана, на который проектируется изображение с трёхкратным увеличением.

71.Определить размер изображения, образованного объективом на экране, если предмет имеет размер  $y = 30$  мм и находится перед объективом на расстоянии 110 мм,  $f'_{об} = 100$  мм.

72. Определить размер изображения, образованного объективом на экране, если предмет имеет размер  $y=10$  мм и находится перед объективом на расстоянии 120 мм,  $f'_{об}=60$  мм.

73. Определить размер изображения, образованного объективом на экране, если предмет имеет размер  $y=20$  мм и находится перед объективом на расстоянии 60 мм,  $f'_{об}=40$  мм.

74. Определить размер изображения, образованного объективом на экране, если предмет имеет размер  $y=10$  мм и находится перед объективом на расстоянии 150 мм,  $f'_{об}=80$  мм.

75. Определить размер изображения, образованного объективом на экране, если предмет имеет размер  $y=10$  мм и находится перед объективом на расстоянии -120 мм,  $f'_{об}=100$  мм.

76. Определить размер изображения, образованного объективом на экране, если предмет имеет размер  $y=10$  мм и находится перед объективом на расстоянии -90 мм,  $f'_{об}=80$  мм.

77. Определить размер изображения, образованного объективом на экране, если предмет имеет размер  $y=20$  мм и находится перед объективом на расстоянии -120 мм,  $f'_{об}=80$  мм.

78. Определить размер изображения, образованного объективом на экране, если предмет имеет размер  $y=10$  мм и находится перед объективом на расстоянии -90 мм,  $f'_{об}=50$  мм.

79. Определить размер изображения, образованного объективом на экране, если предмет имеет размер  $y=10$  мм и находится перед объективом на расстоянии -180 мм,  $f'_{об}=90$  мм.

80. Предмет имеет размер  $y=24$  мм, изображение  $y'=-120$  мм. Определить фокусное расстояние тонкой линзы, если расстояние между предметом и изображением 600 мм.

81. Предмет имеет размер  $y=20$  мм, изображение  $y'=-100$  мм. Определить фокусное расстояние тонкой линзы, если расстояние между предметом и изображением 600 мм.

82. Предмет имеет размер  $y=10$  мм, изображение  $y'=-40$  мм. Определить фокусное расстояние тонкой линзы, если расстояние между предметом и изображением 500 мм.

83. Предмет имеет размер  $y=10$  мм, изображение  $y'=-60$  мм. Определить фокусное расстояние тонкой линзы, если расстояние между предметом и изображением 700 мм.

84. Предмет имеет размер  $y=10$  мм, изображение  $y'=-30$  мм. Определить фокусное расстояние тонкой линзы, если расстояние между предметом и изображением 400 мм.



85. Предмет имеет размер  $y=10$  мм, изображение  $y'=-50$  мм. Определить фокусное расстояние тонкой линзы, если расстояние между предметом и изображением 600 мм.

86. Предмет имеет размер  $y=20$  мм, изображение  $y'=-120$  мм. Определить фокусное расстояние тонкой линзы, если расстояние между предметом и изображением 700 мм.

87. Предмет имеет размер  $y=10$  мм, изображение  $y'=-20$  мм. Определить фокусное расстояние тонкой линзы, если расстояние между предметом и изображением 300 мм.

88. Предмет имеет размер  $y=5$  мм, изображение  $y'=-50$  мм. Определить фокусное расстояние тонкой линзы, если расстояние между предметом и изображением 1100 мм.

89. Предмет  $y=10$  мм проецируется в виде действительного изображения  $y'=-40$  мм. Плоскость изображения находится на расстоянии 260 мм от линзы. Определить фокусное расстояние линзы.

90. Предмет  $y=10$  мм проецируется в виде действительного изображения  $y'=-50$  мм. Плоскость изображения находится на расстоянии 250 мм от линзы. Определить фокусное расстояние линзы.

91. Предмет  $y=5$  мм проецируется в виде действительного изображения  $y'=-50$  мм. Плоскость изображения находится на расстоянии 400 мм от линзы. Определить фокусное расстояние линзы.

92. Предмет  $y=10$  мм проецируется в виде действительного изображения  $y'=-70$  мм. Плоскость изображения находится на расстоянии 700 мм от линзы. Определить фокусное расстояние линзы.

93. Предмет  $y=15$  мм проецируется в виде действительного изображения  $y'=-75$  мм. Плоскость изображения находится на расстоянии 450 мм от линзы. Определить фокусное расстояние линзы.

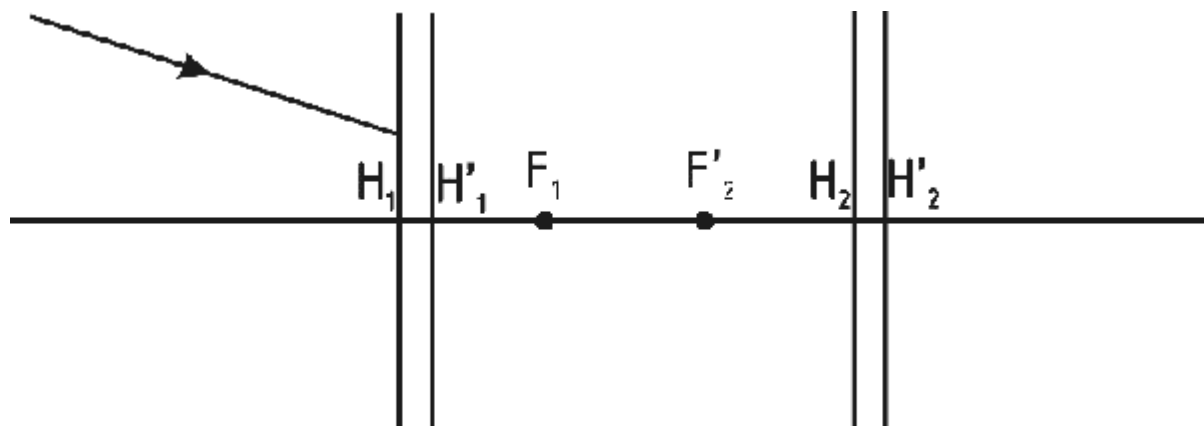
94. Предмет  $y=5$  мм проецируется в виде действительного изображения  $y'=-80$  мм. Плоскость изображения находится на расстоянии 480 мм от линзы. Определить фокусное расстояние линзы.

95. Предмет  $y=10$  мм проецируется в виде действительного изображения  $y'=-80$  мм. Плоскость изображения находится на расстоянии 320 мм от линзы. Определить фокусное расстояние линзы.

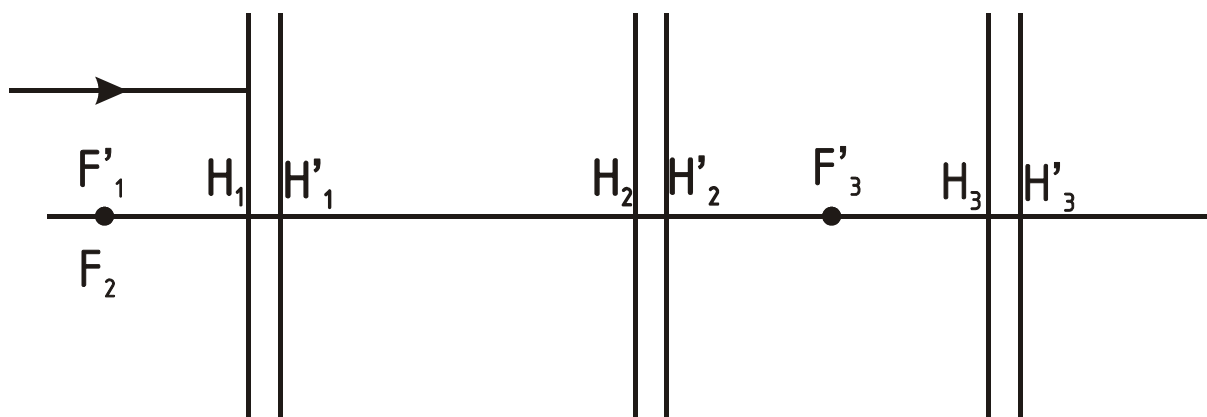
96. Предмет  $y=15$  мм проецируется в виде действительного изображения  $y'=-90$  мм. Плоскость изображения находится на расстоянии 180 мм от линзы. Определить фокусное расстояние линзы.

97. Предмет  $y=5$  мм проецируется в виде действительного изображения  $y'=-45$  мм. Плоскость изображения находится на расстоянии 270 мм от линзы. Определить фокусное расстояние линзы.

98. Построить луч через всю систему.

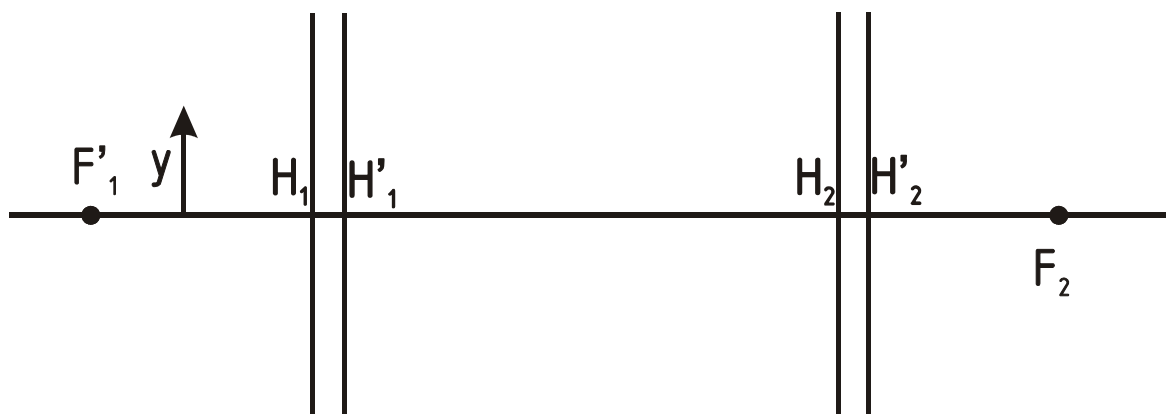


99. Построить луч через всю систему.

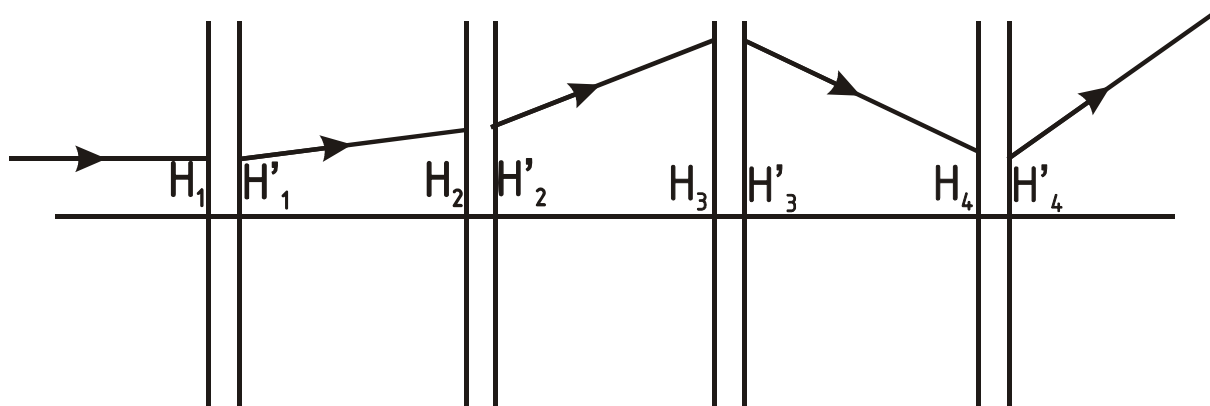


100.

Опред.  $y'$  - ?

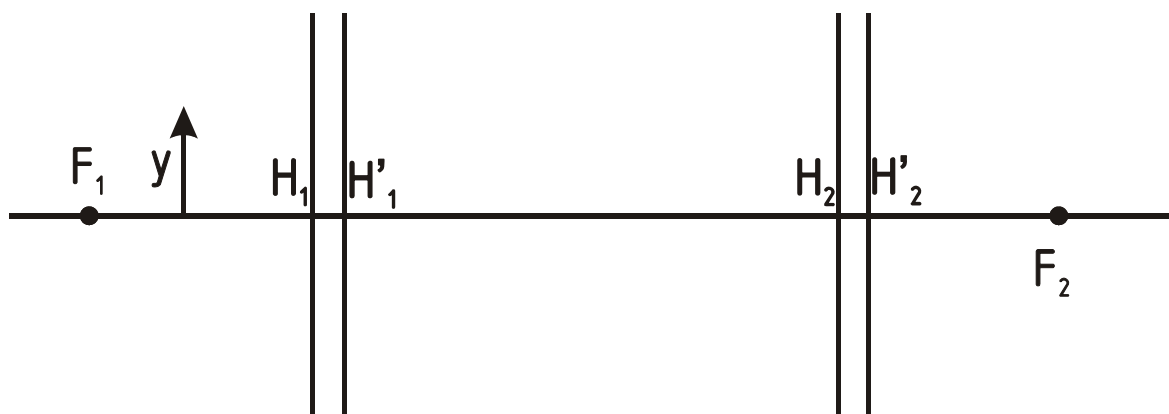


101. Определить положение фокусов каждой линзы.



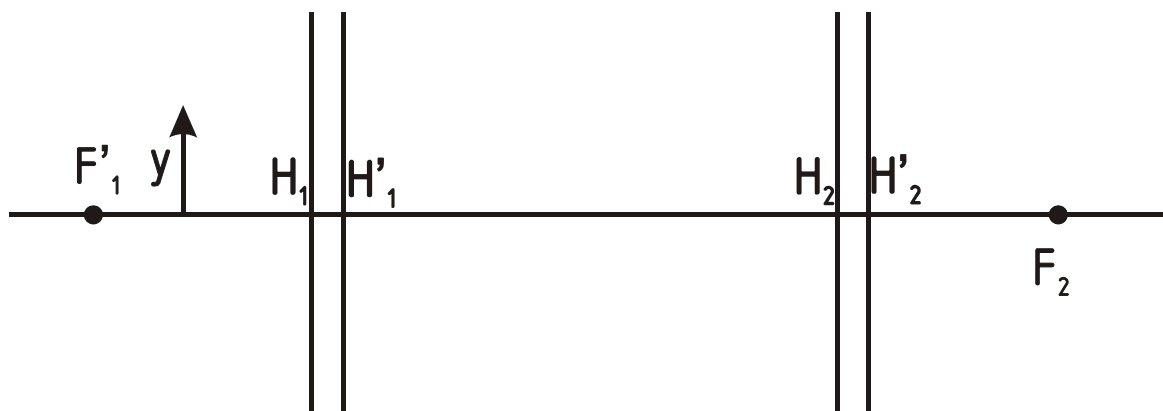
102.

Опред.  $y'$  - ?

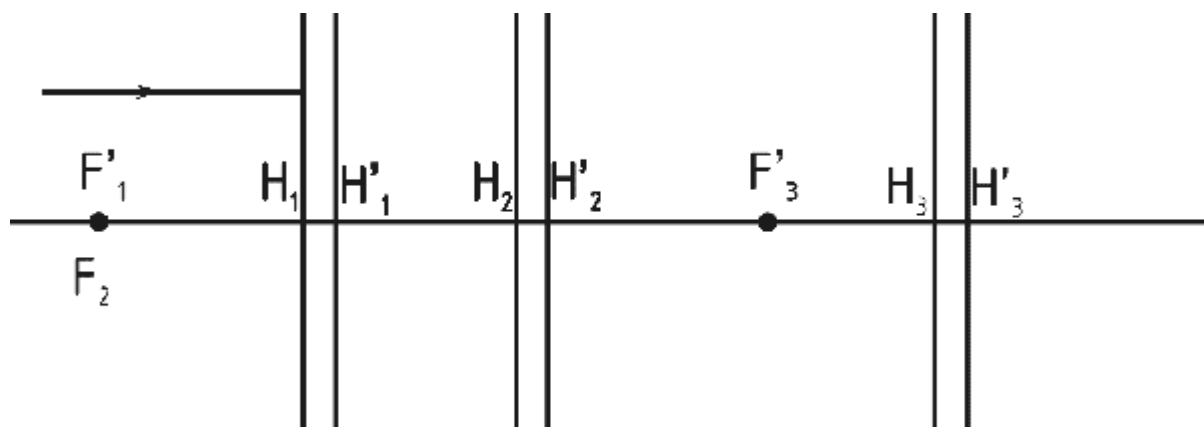


103.

Опред.  $y'$  - ?

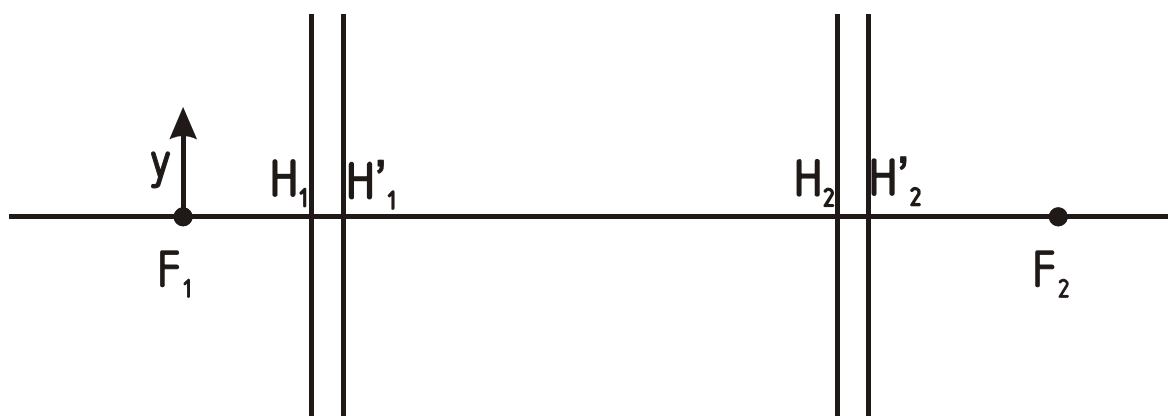


104. Построить луч через всю систему.



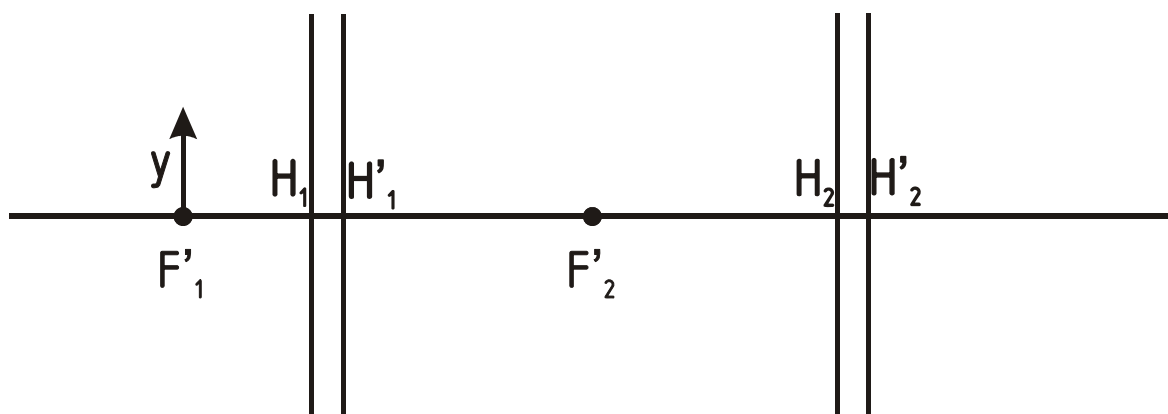
105.

Опред.  $y'$ –?



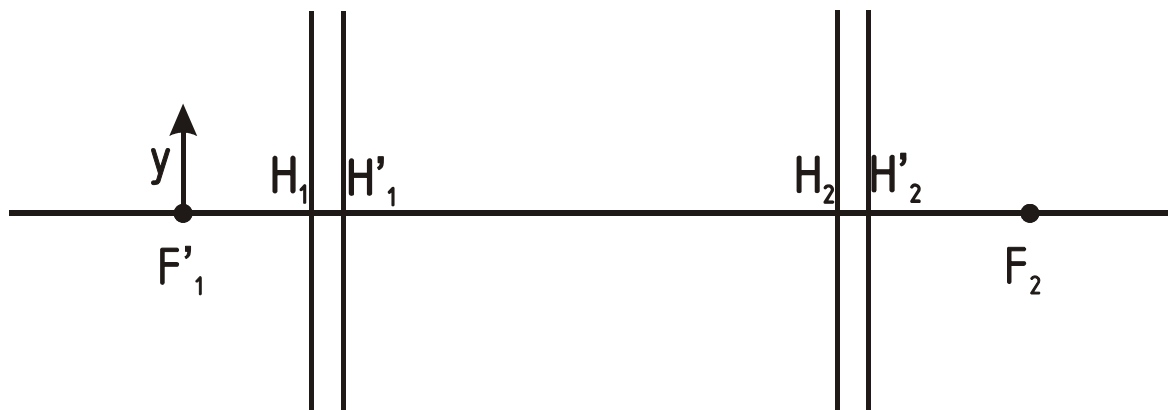
106.

Опред.  $y'$ –?



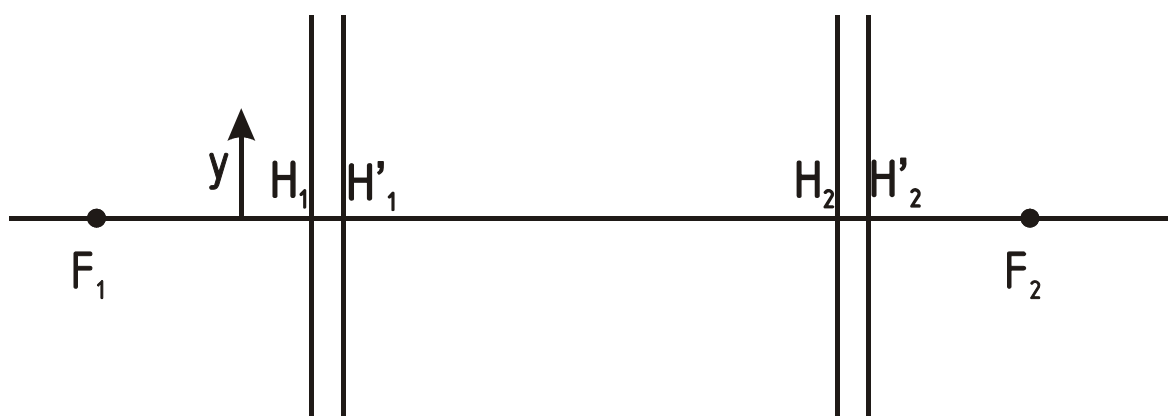
107.

Опред.  $y'$ –?

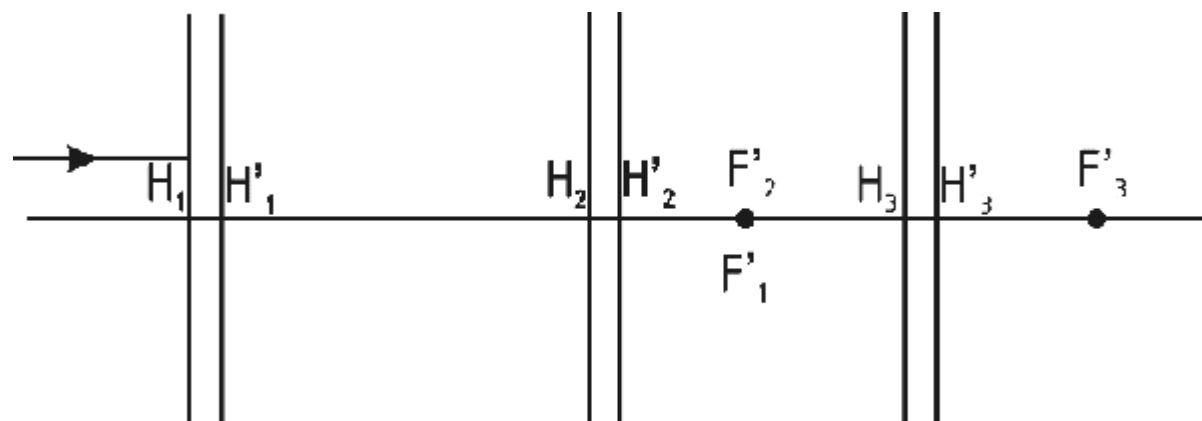


108.

Опред.  $y'$ –?

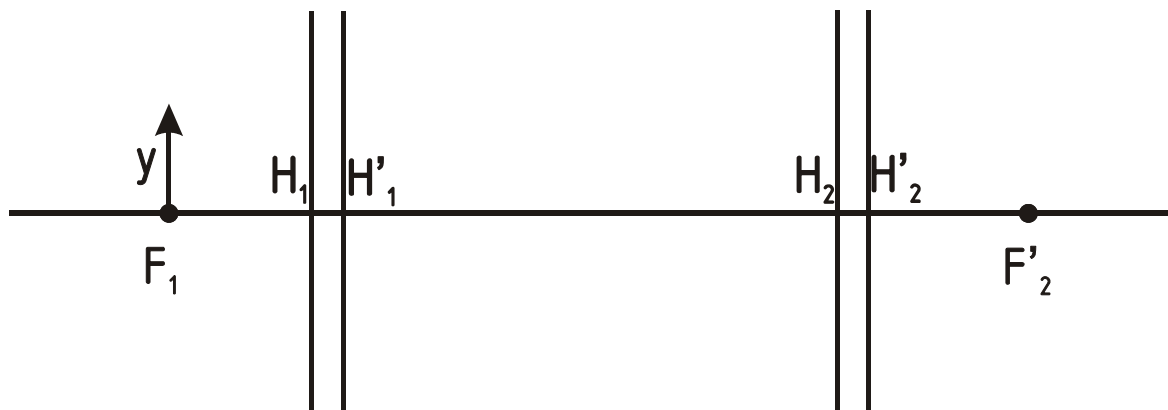


109. Построить луч через всю систему.



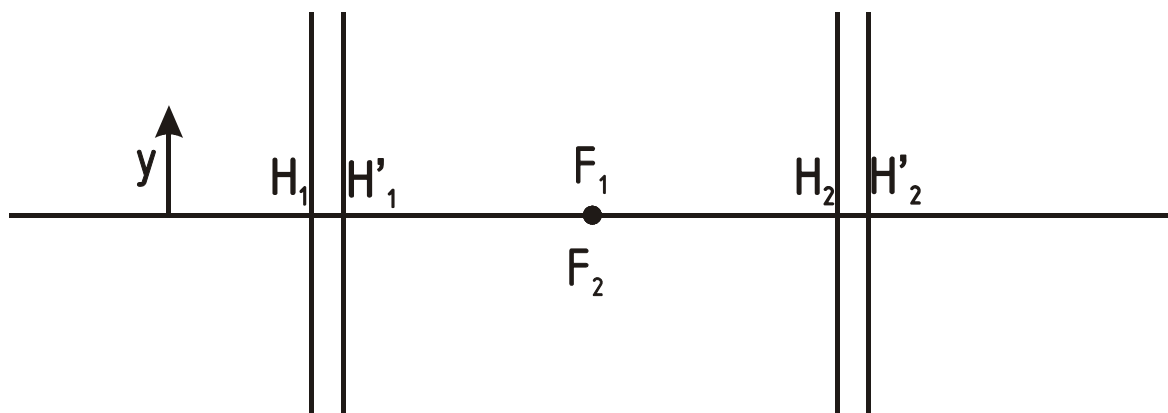
110.

Опред.  $y'$ –?

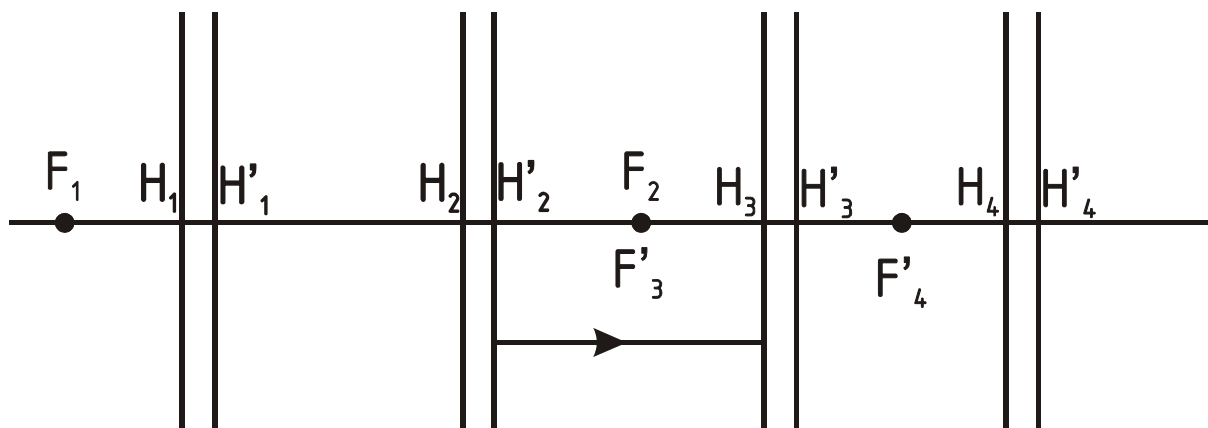


111.

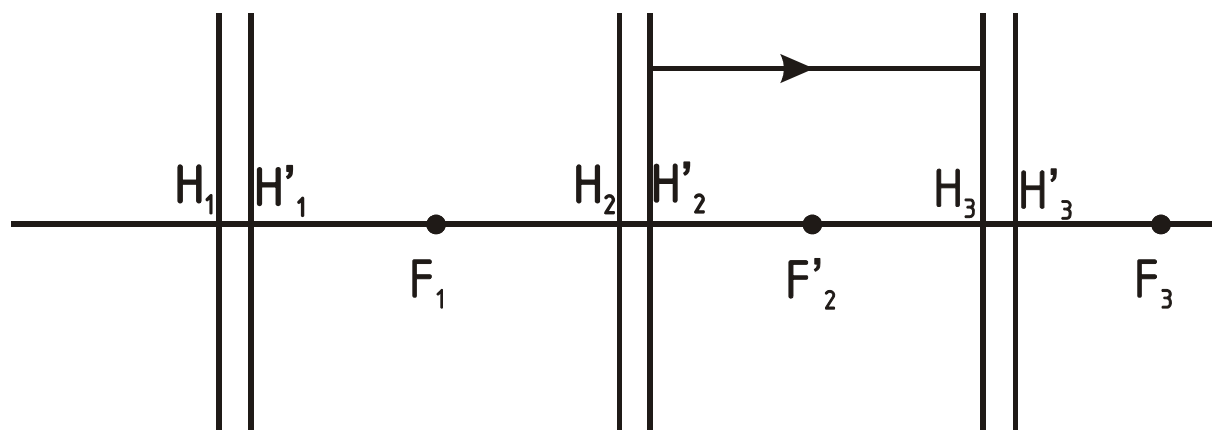
Опред.  $y'$ –?



112. Построить луч через всю систему.

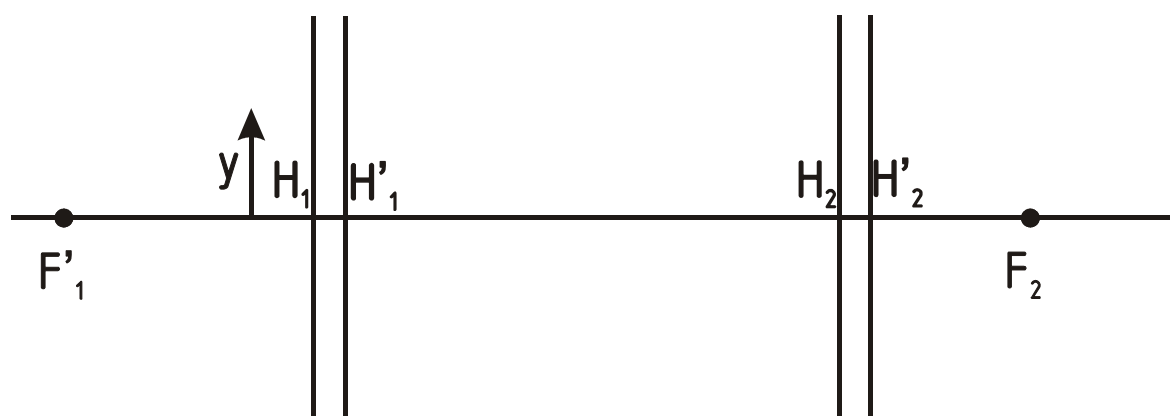


113. Построить луч через всю систему.



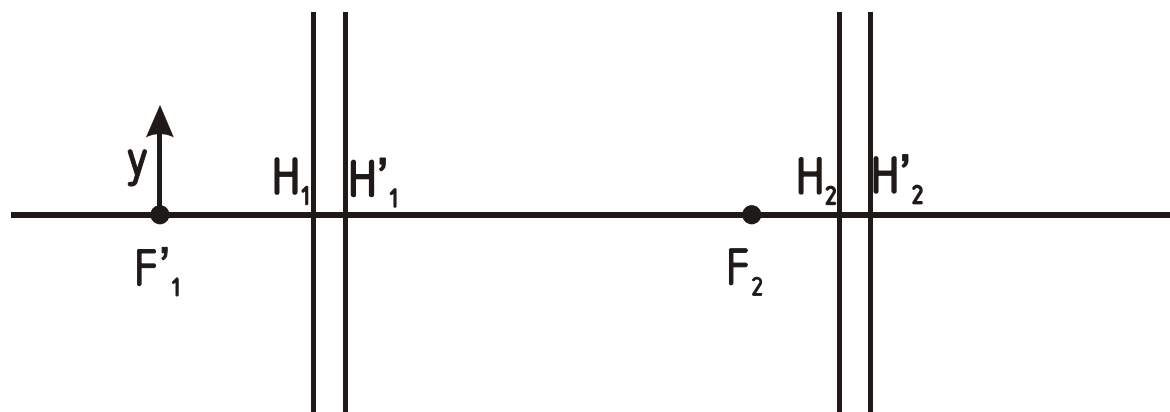
114.

Опред.  $y'$  - ?



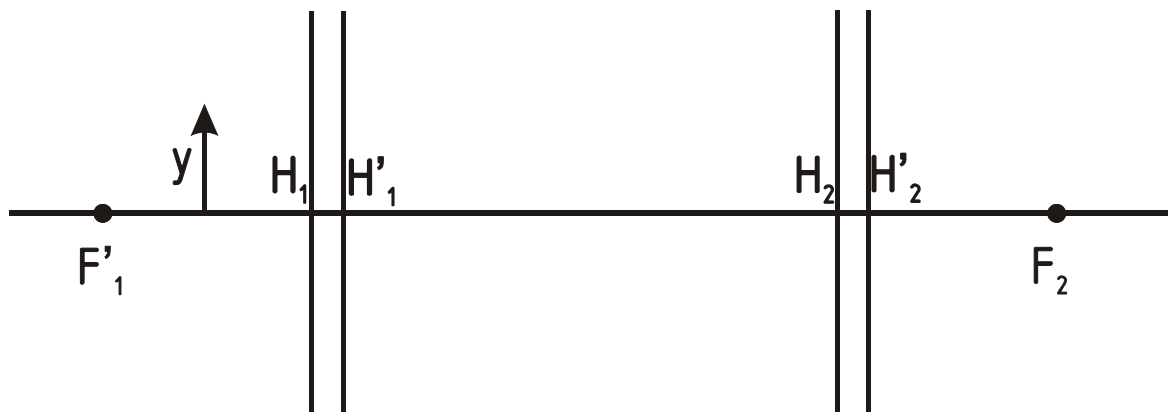
115.

Опред.  $y'$  - ?



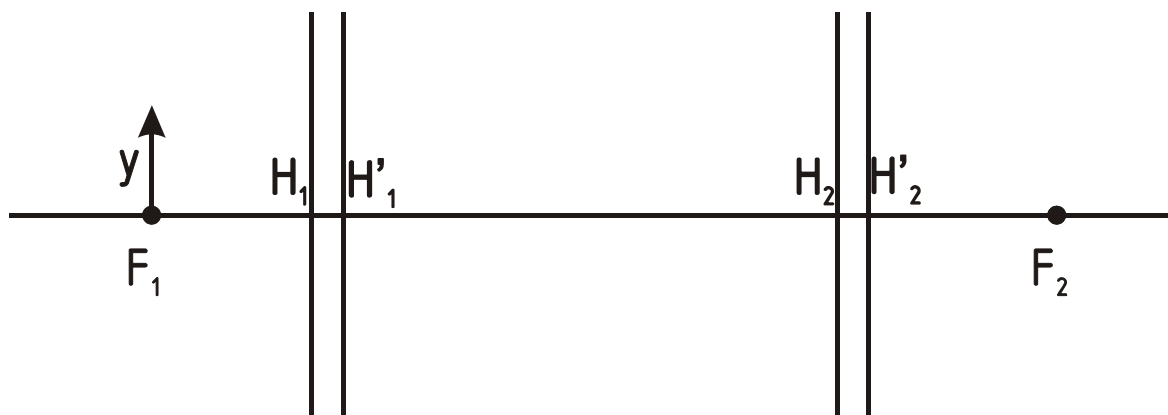
116.

Опред.  $y'$ –?

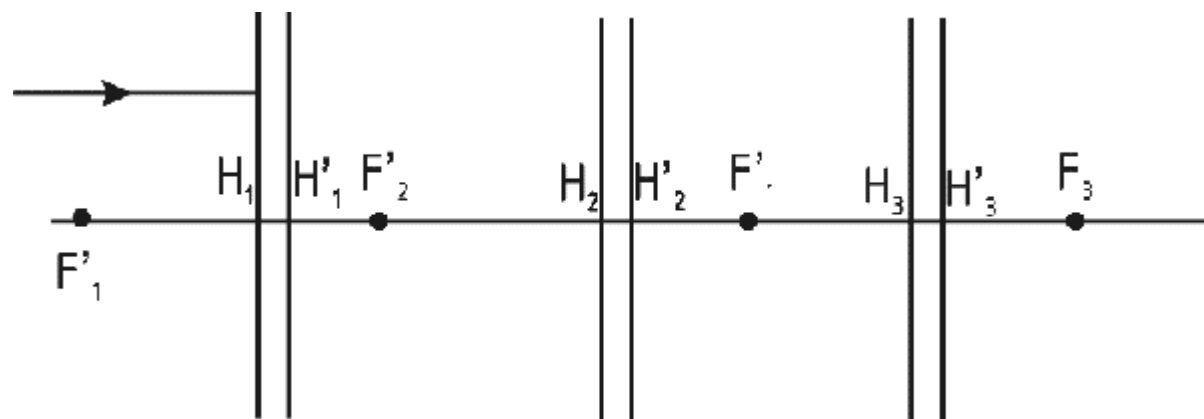


117.

Опред.  $y'$ –?



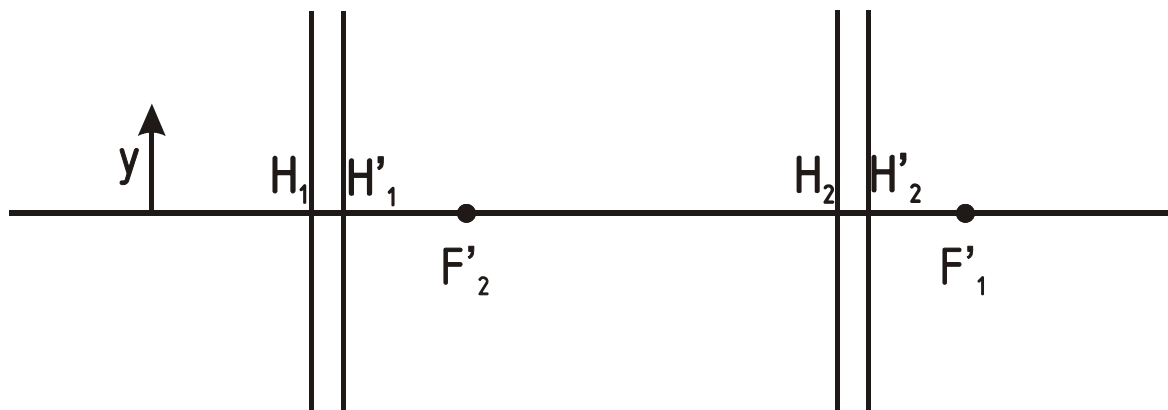
118. Построить луч через всю систему.





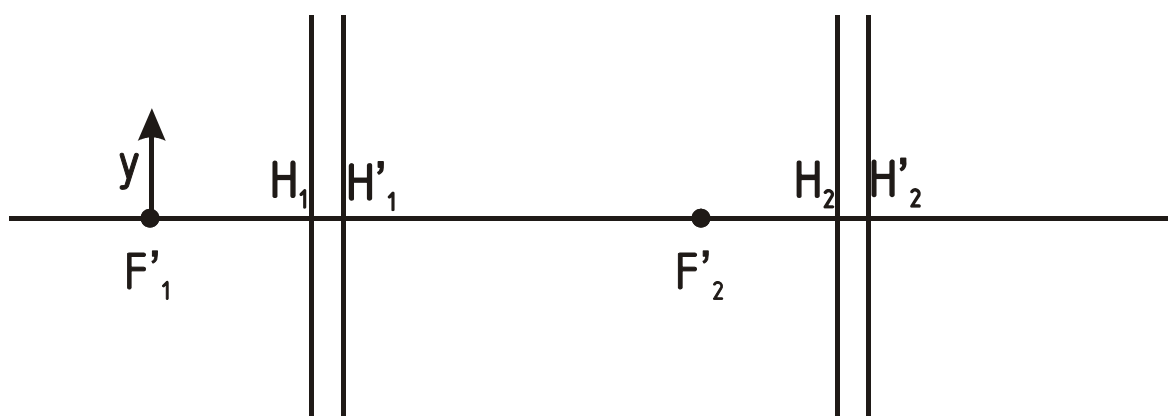
119.

Опред.  $y'$ –?

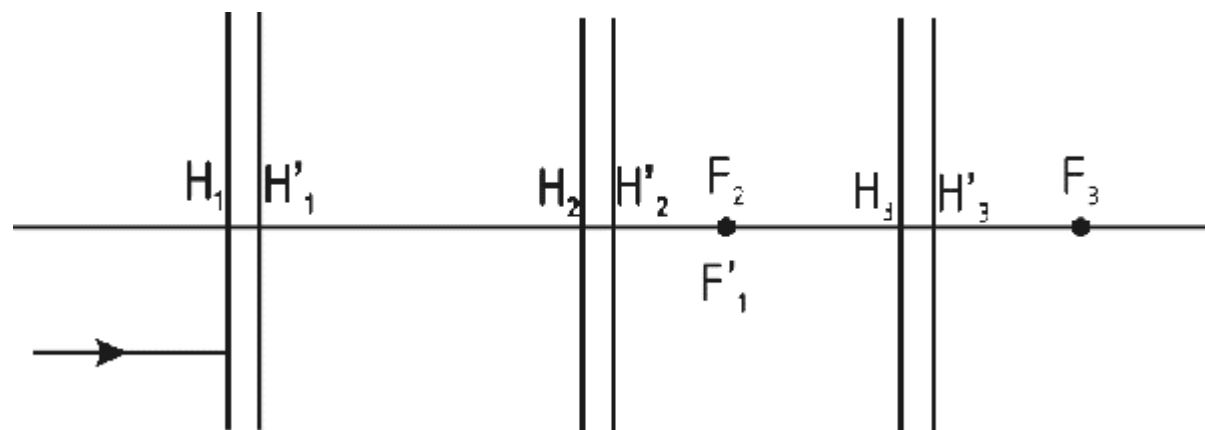


120.

Опред.  $y'$ –?

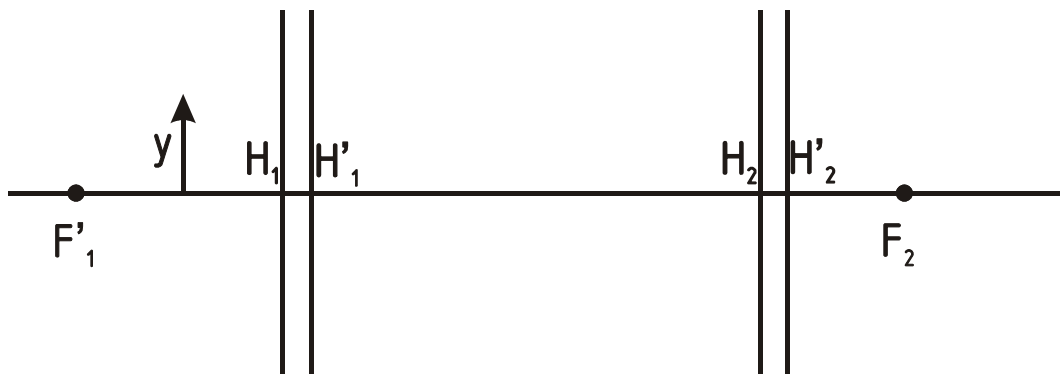


121. Построить луч через всю систему.



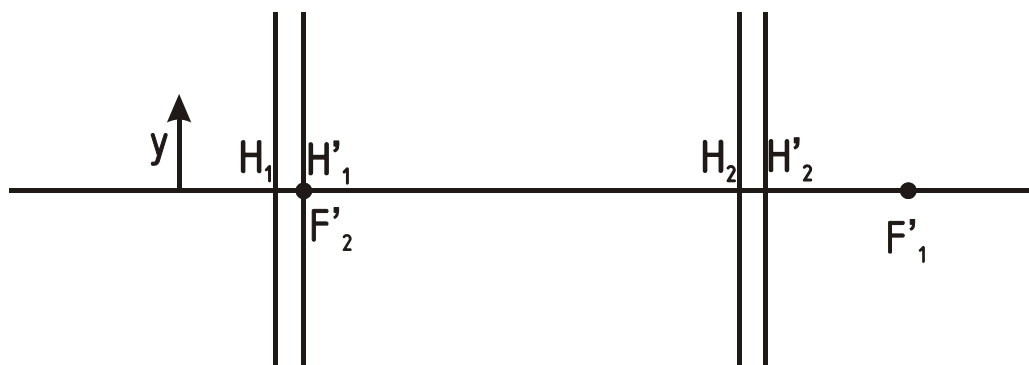
122.

Опред.  $y'$  - ?

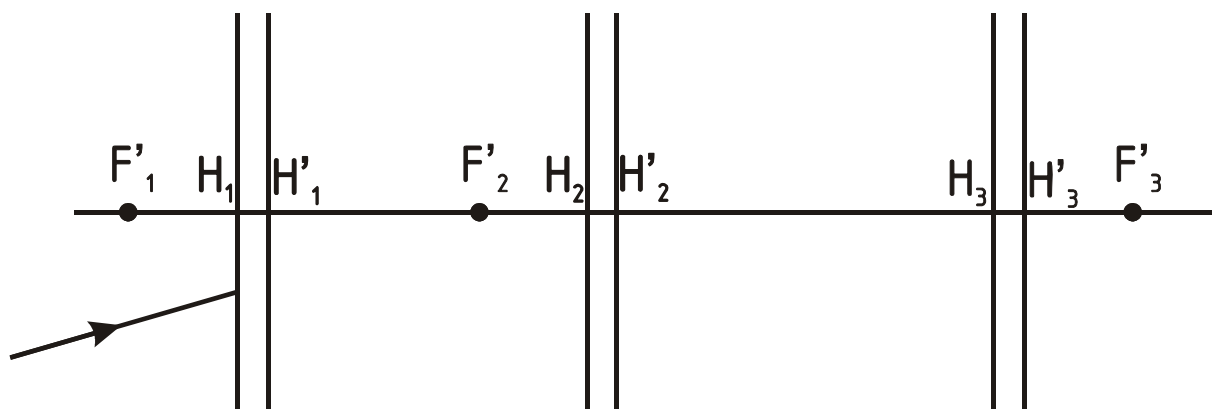


123.

Опред.  $y'$  - ?

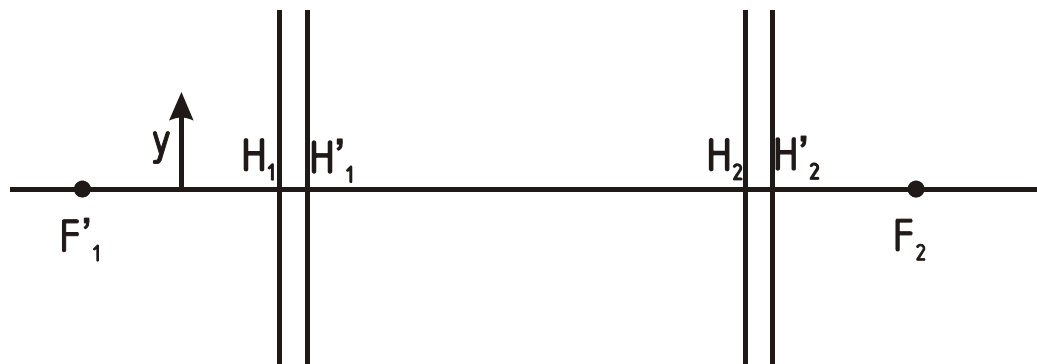


124. Построить луч через всю систему.



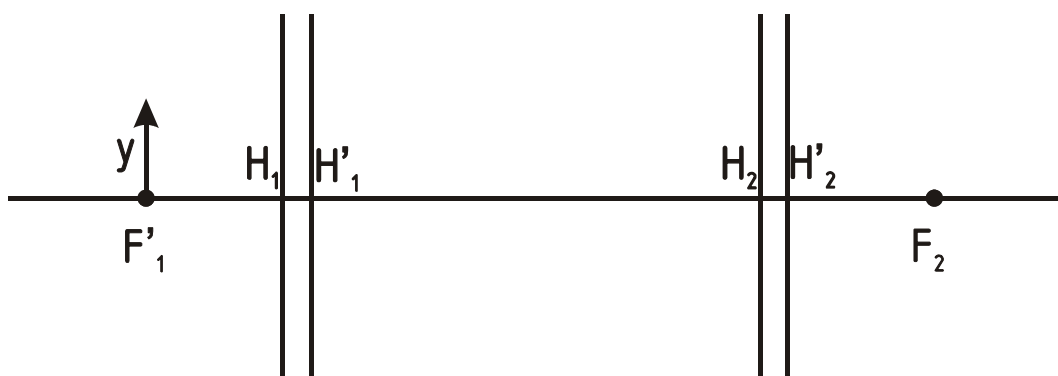
125.

Опред.  $y'$ -?



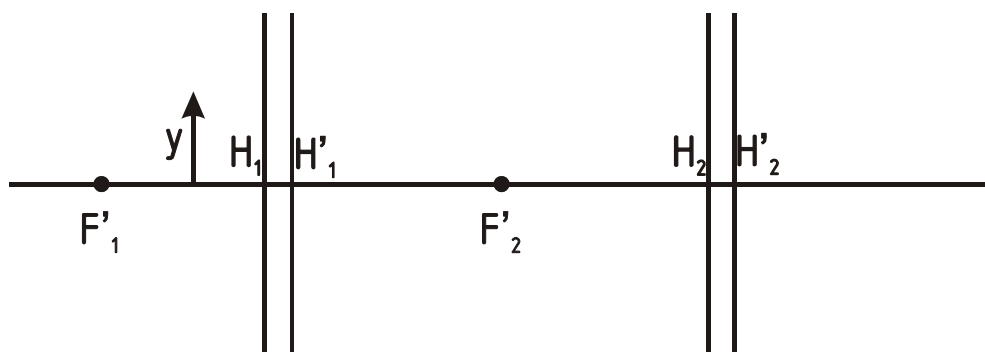
126.

Опред.  $y'$ -?



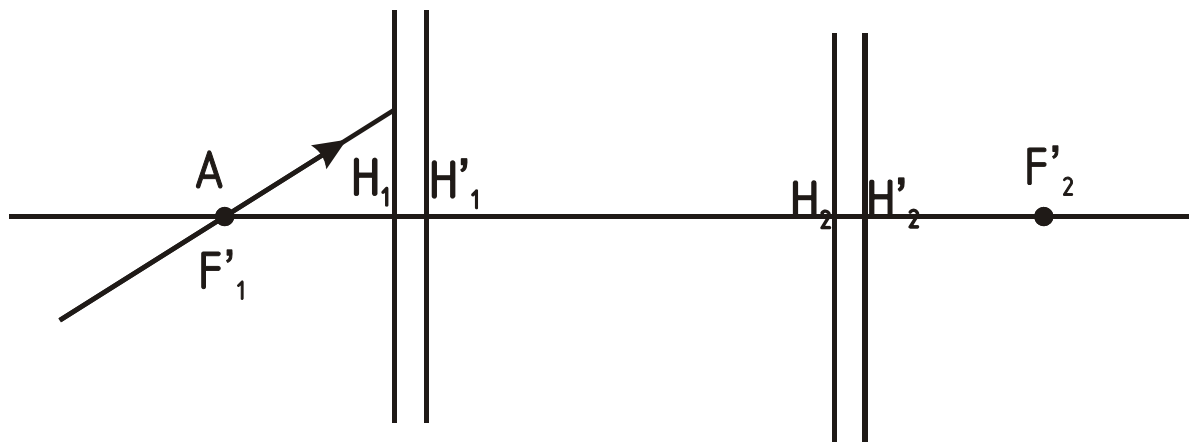
127.

Опред.  $y'$ -?



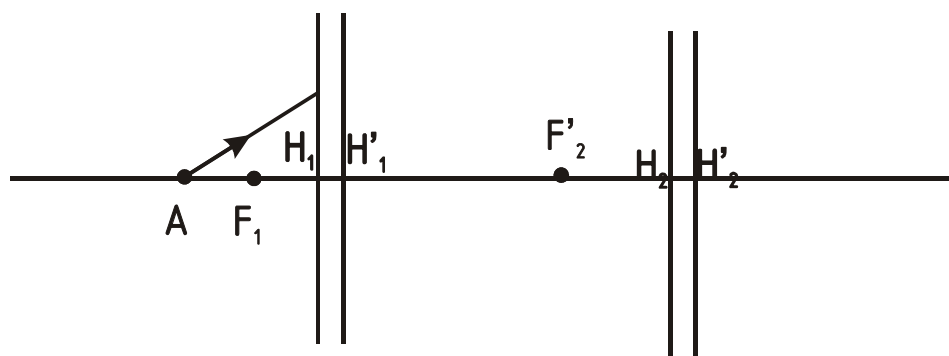
128.

Опред. (•)  $A'$ –?

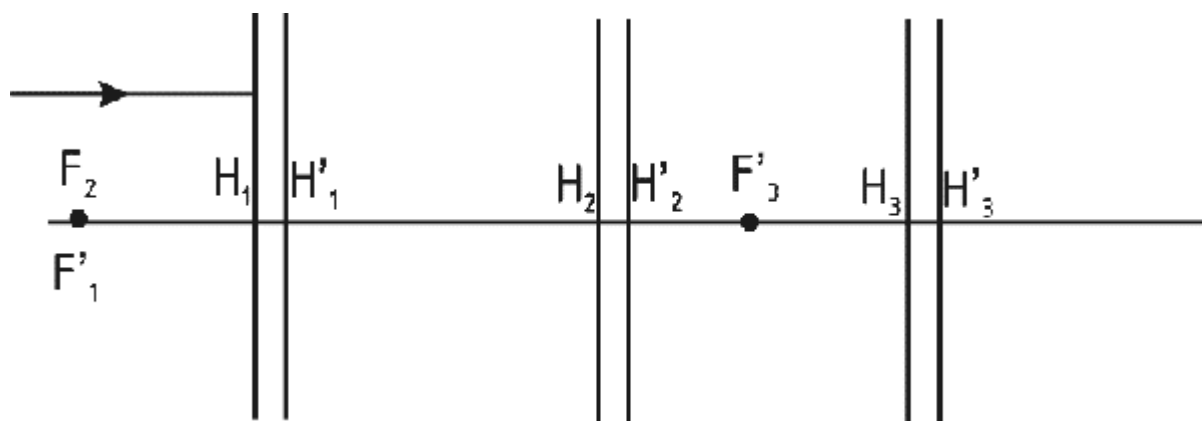


129.

Опред. (•)  $A'$ –?

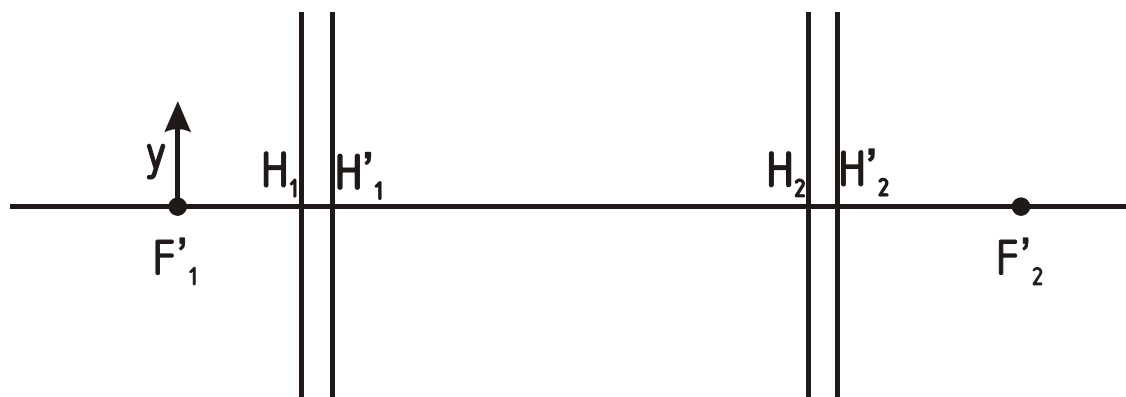


130. Построить луч через всю систему.

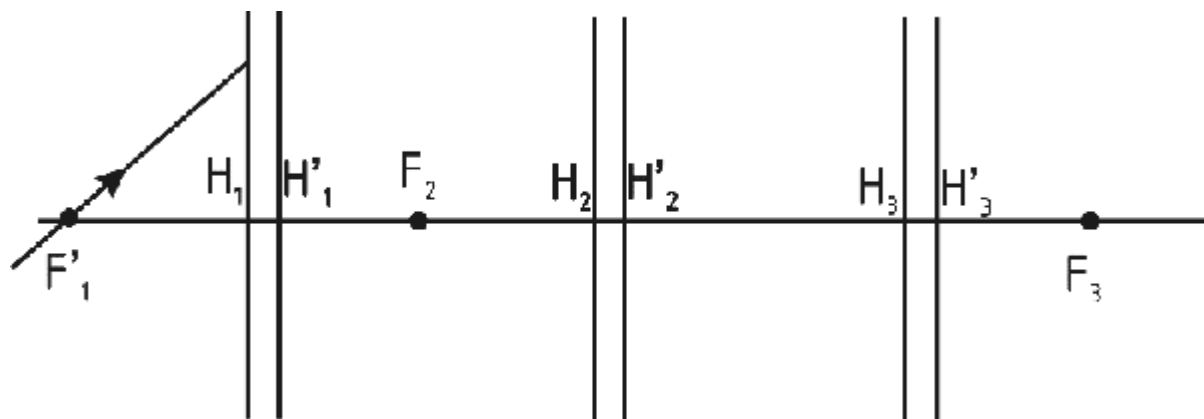


131. Построить изображение  $y'$ .

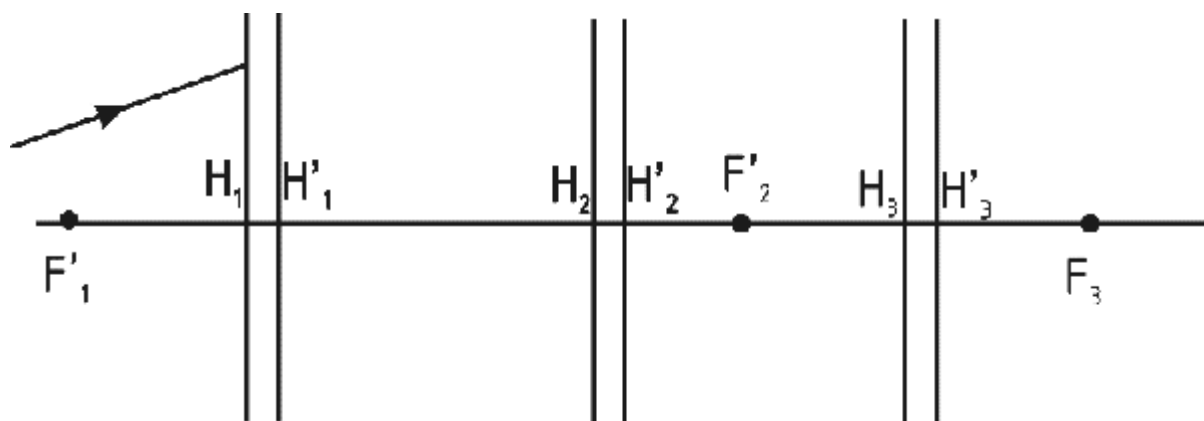
Опред.  $y'$  - ?



132. Построить луч через всю систему.

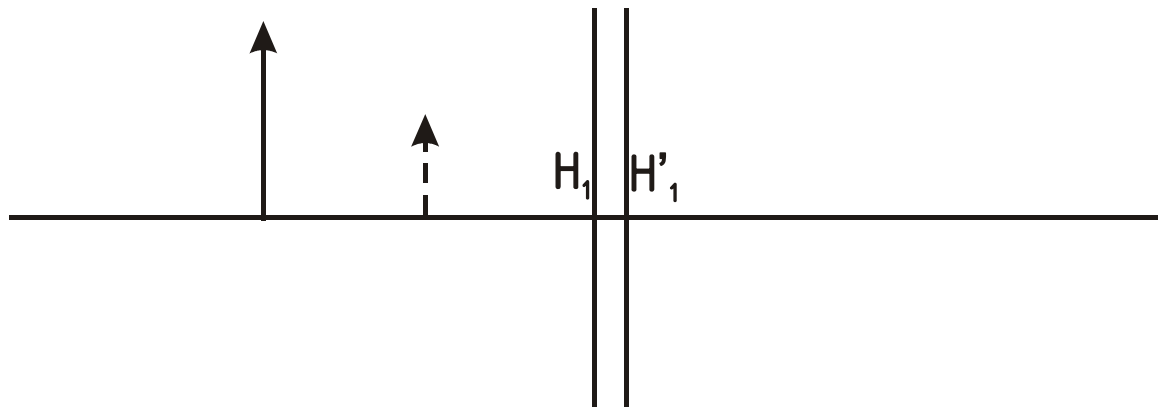


133. Построить луч через всю систему.



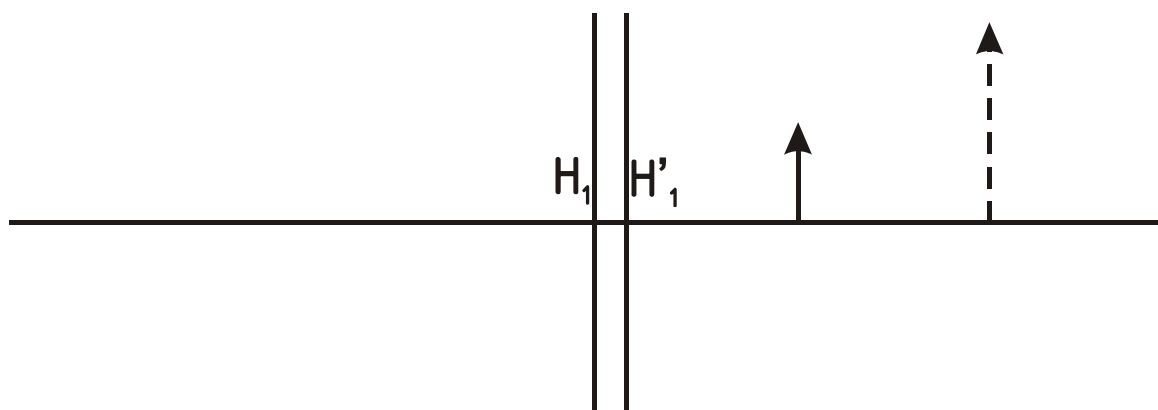
134. Определить положение фокусов линзы.

Опред. (•) F-? и (•) F'-?

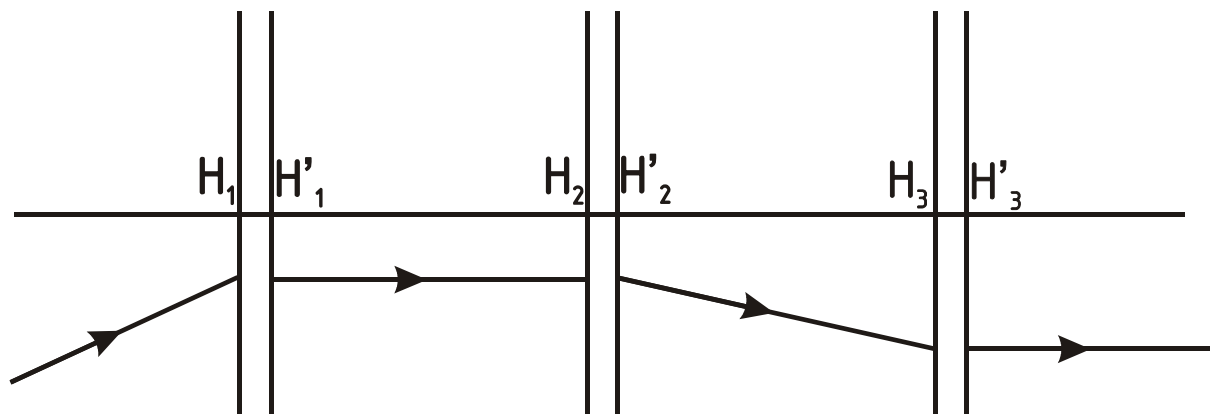


135. Определить положение фокусов линзы.

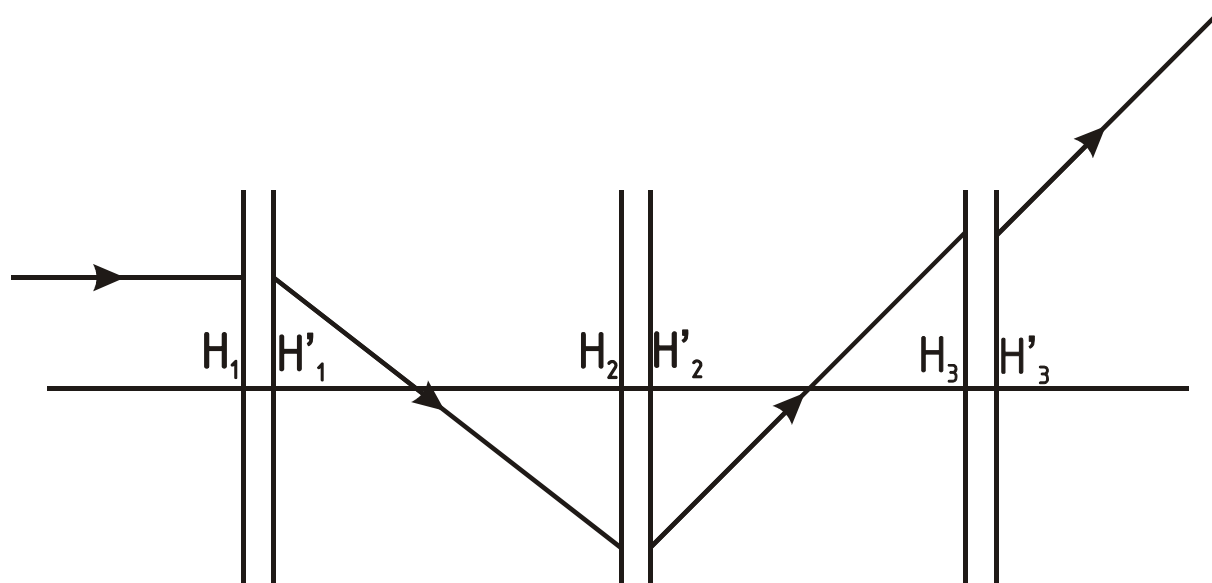
Опред. (•) F-? и (•) F'-?



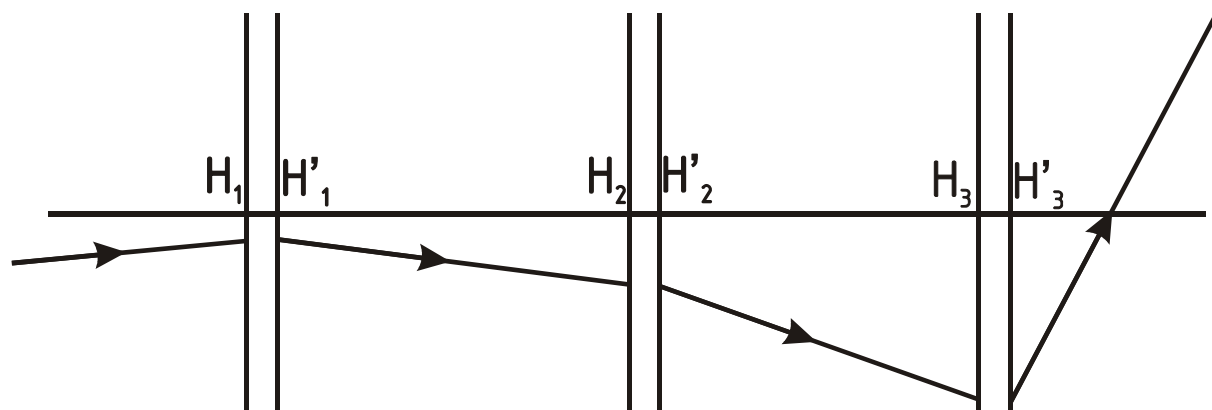
136. Определить положение фокусов каждой линзы.



137. Определить положение фокусов каждой линзы.

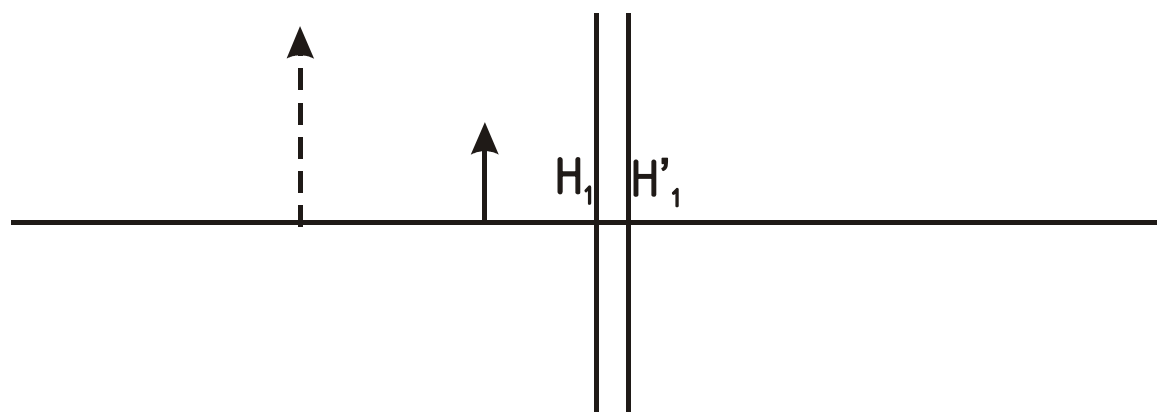


138. Определить положение фокусов каждой линзы.

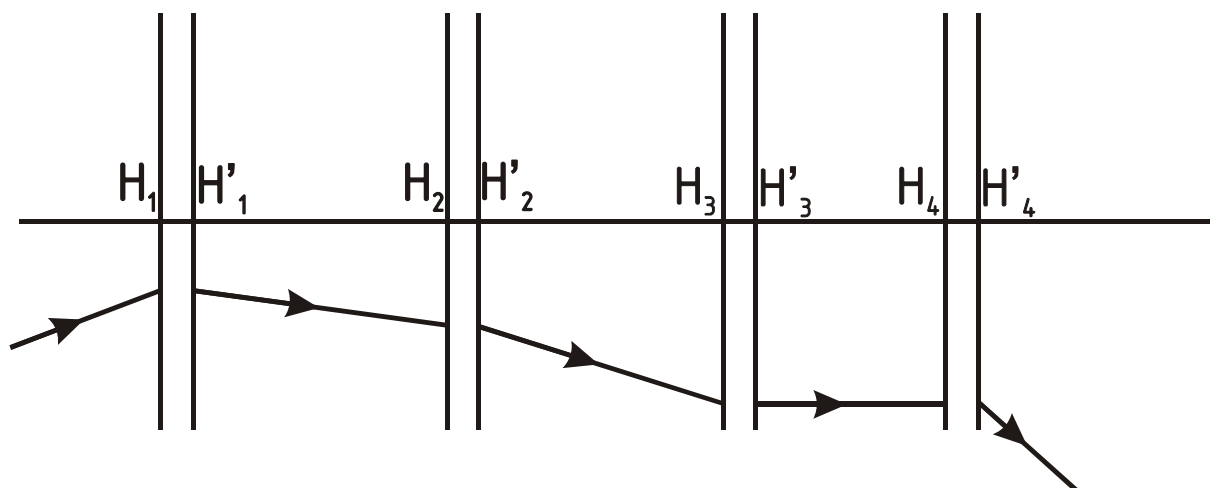


139. Определить положение фокусов линзы.

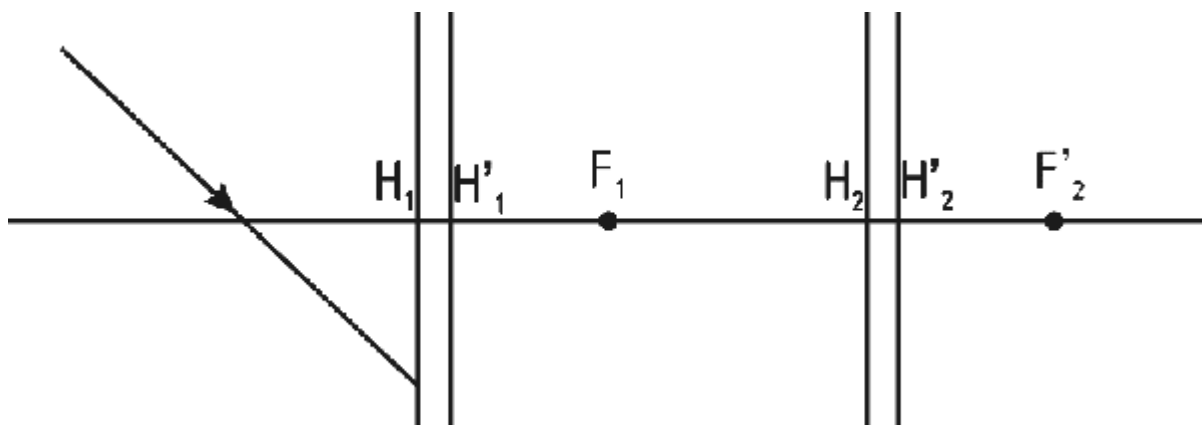
Опред. (•) F-? и (•) F'-?



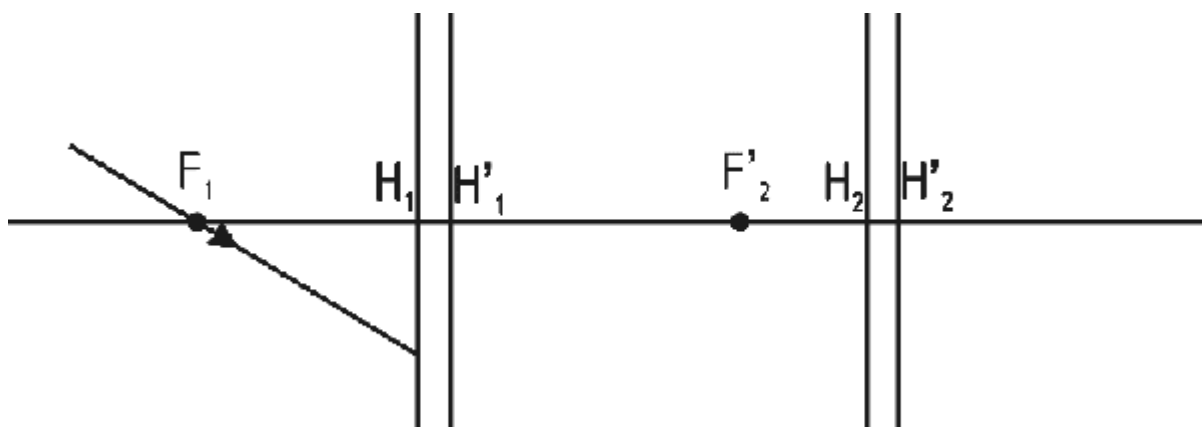
140. Определить положение фокусов каждой линзы.



141. Построить луч через всю систему.

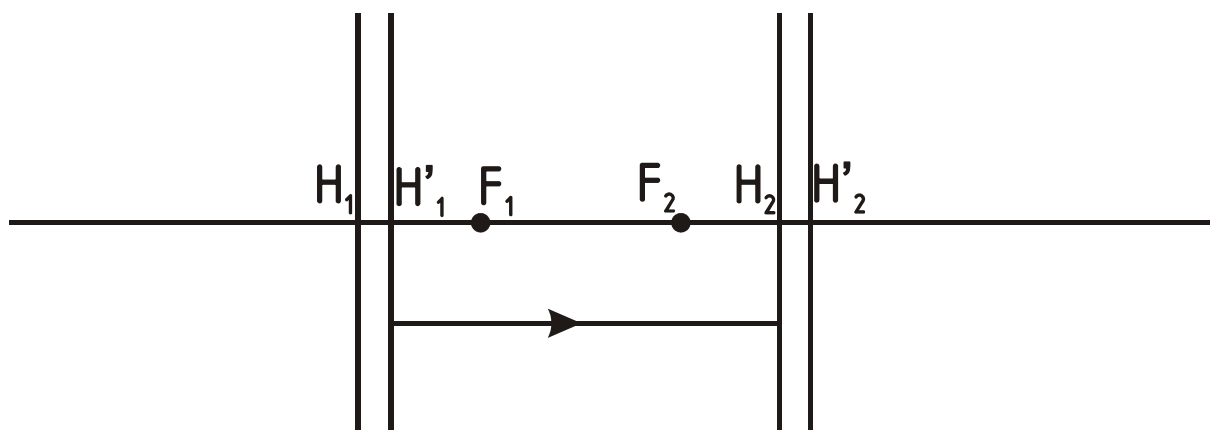


142. Построить луч через всю систему.

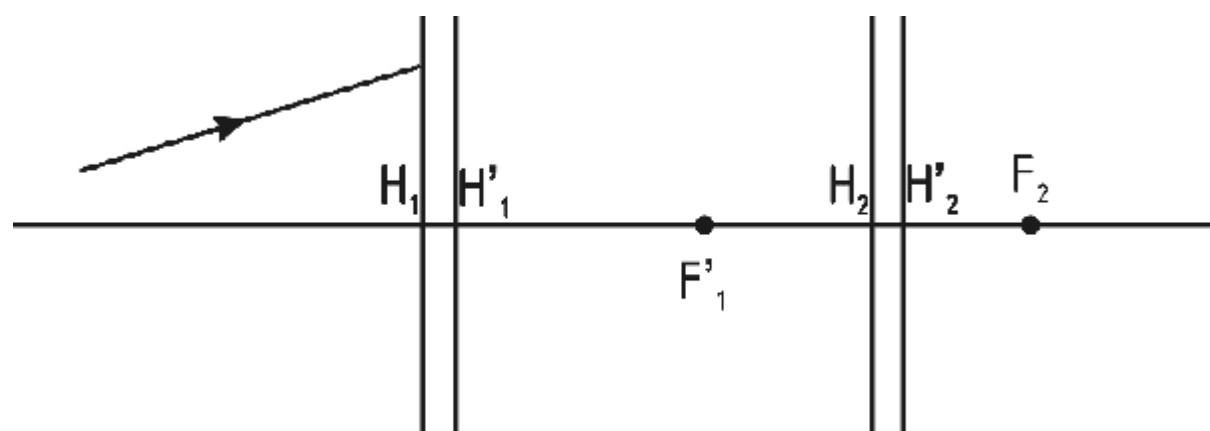




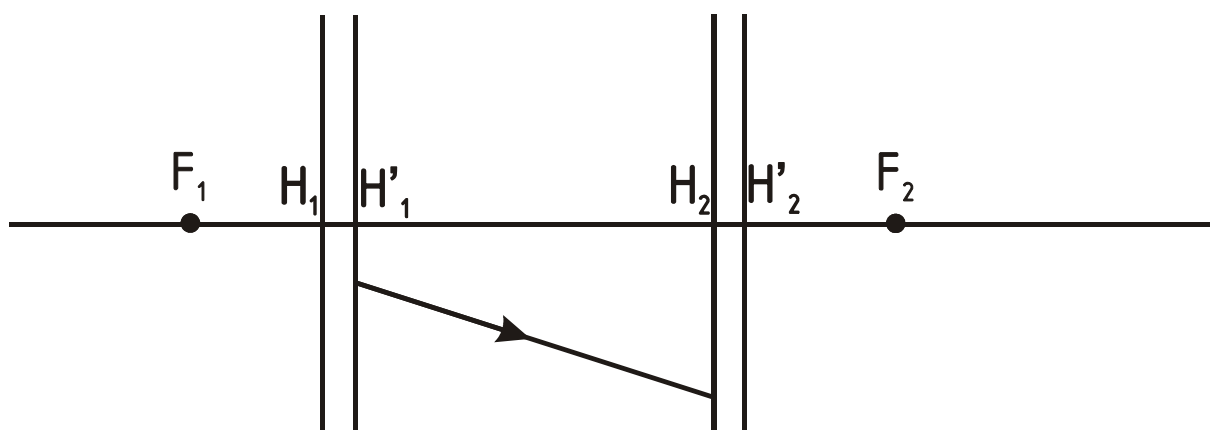
143. Построить луч через всю систему.



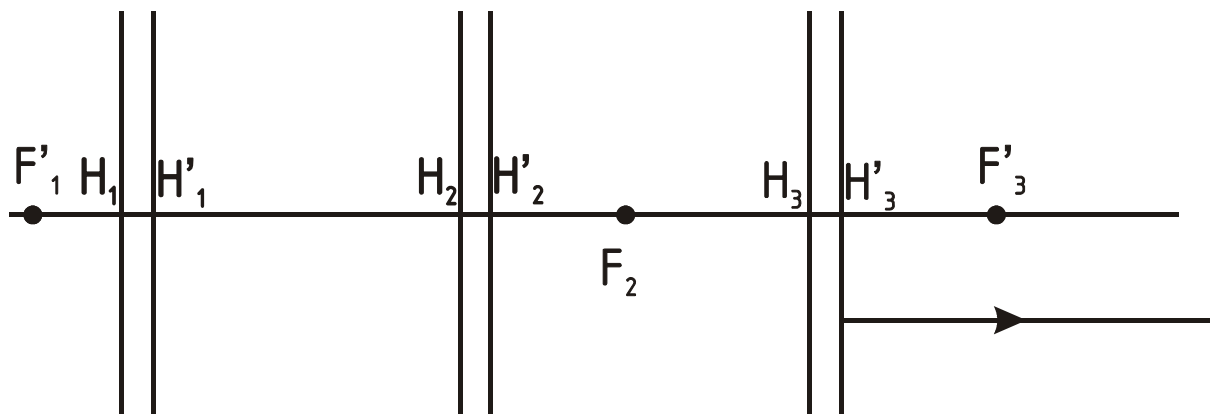
144. Построить луч через всю систему.



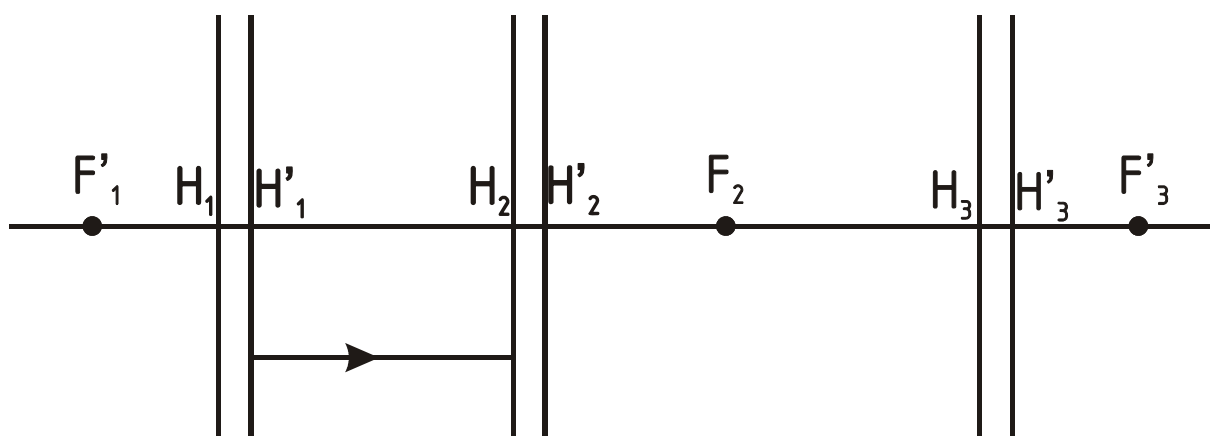
145. Построить луч через всю систему.



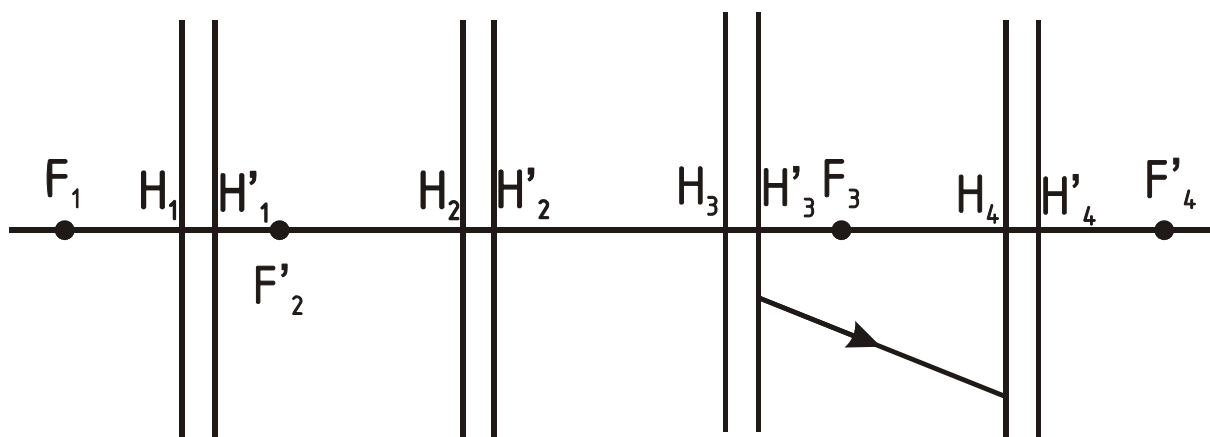
146. Построить луч через всю систему.



147. Построить луч через всю систему.



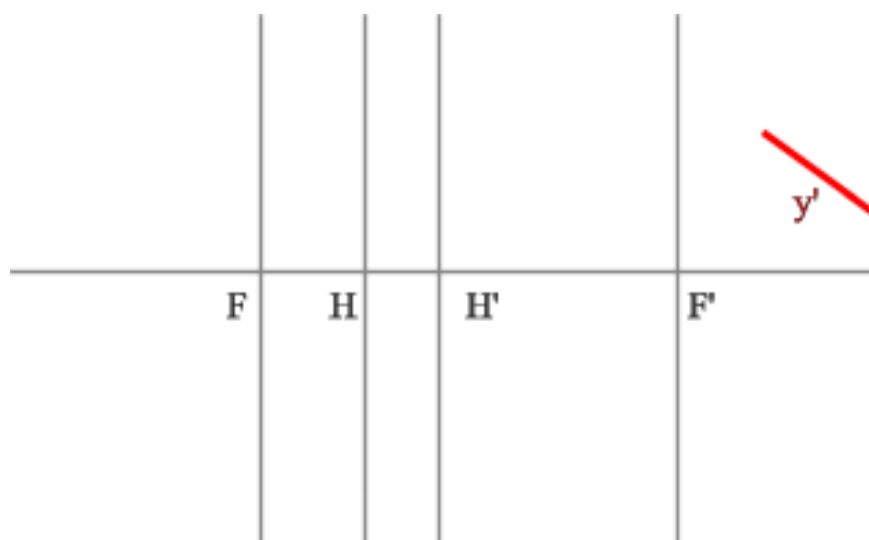
148. Построить луч через всю систему.



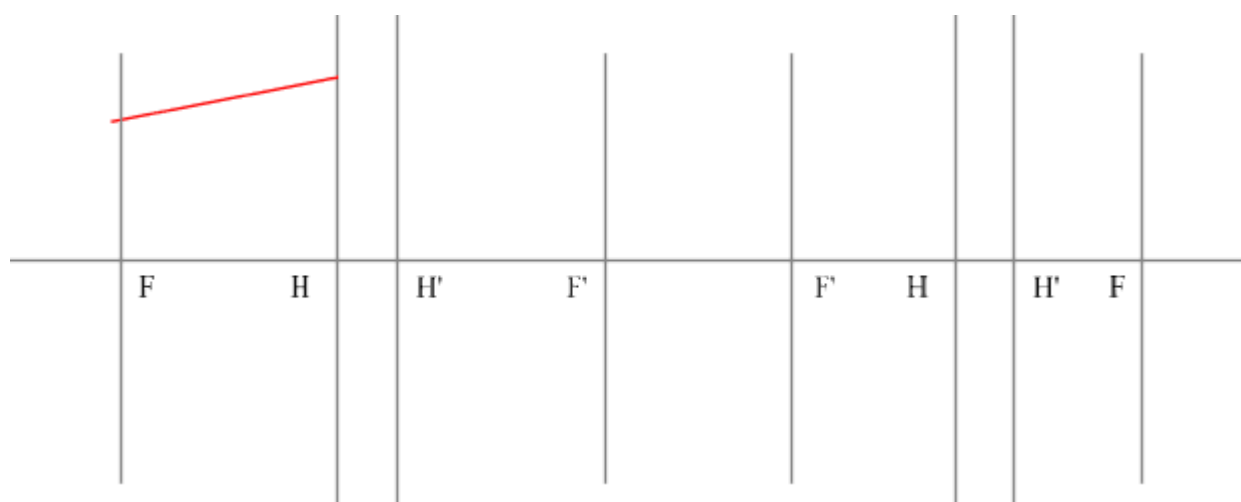
149. Построить изображение:



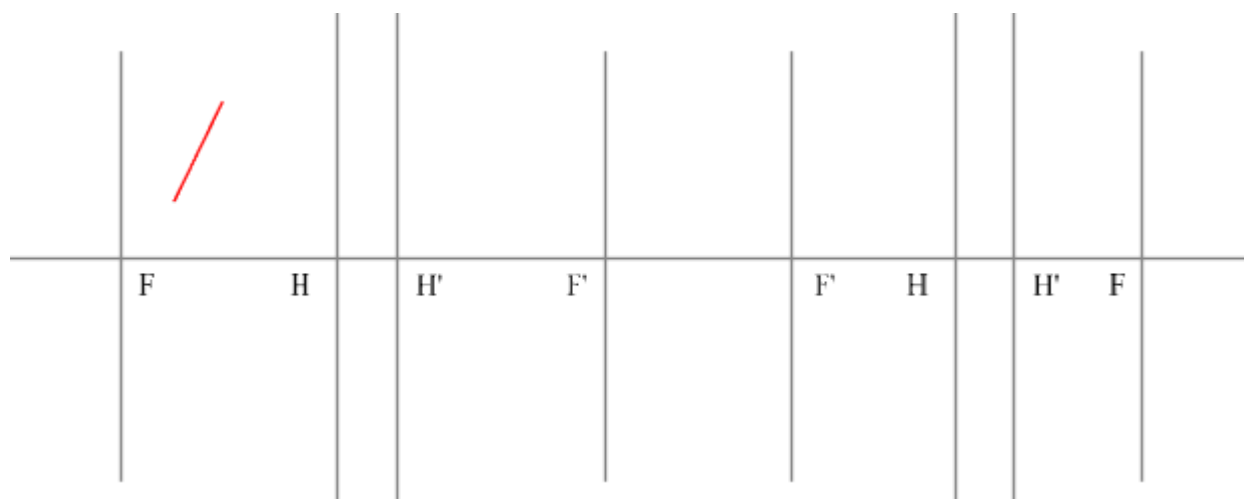
150. Найти предмет:



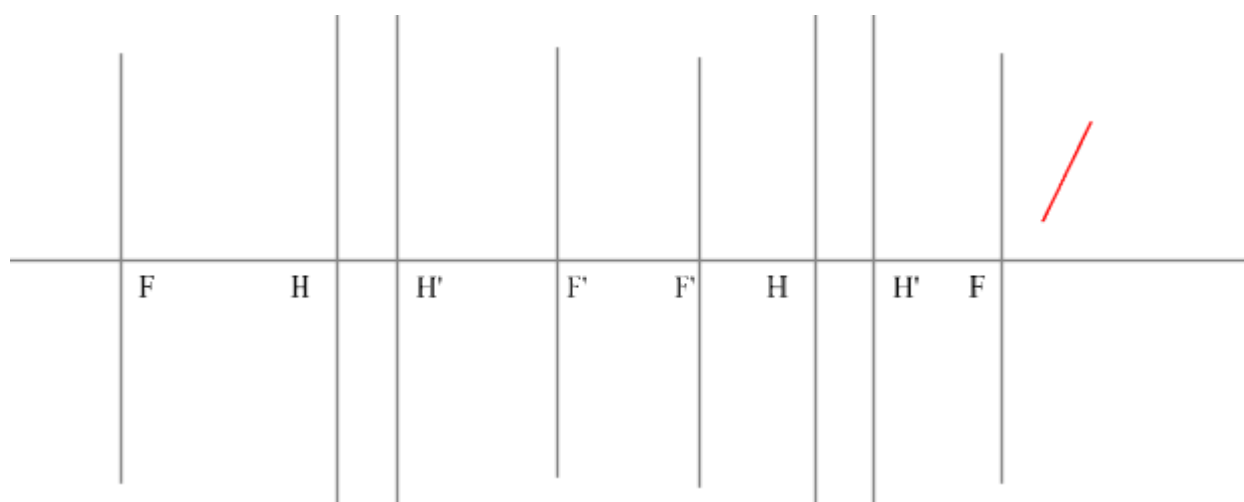
151. Достроить луч:



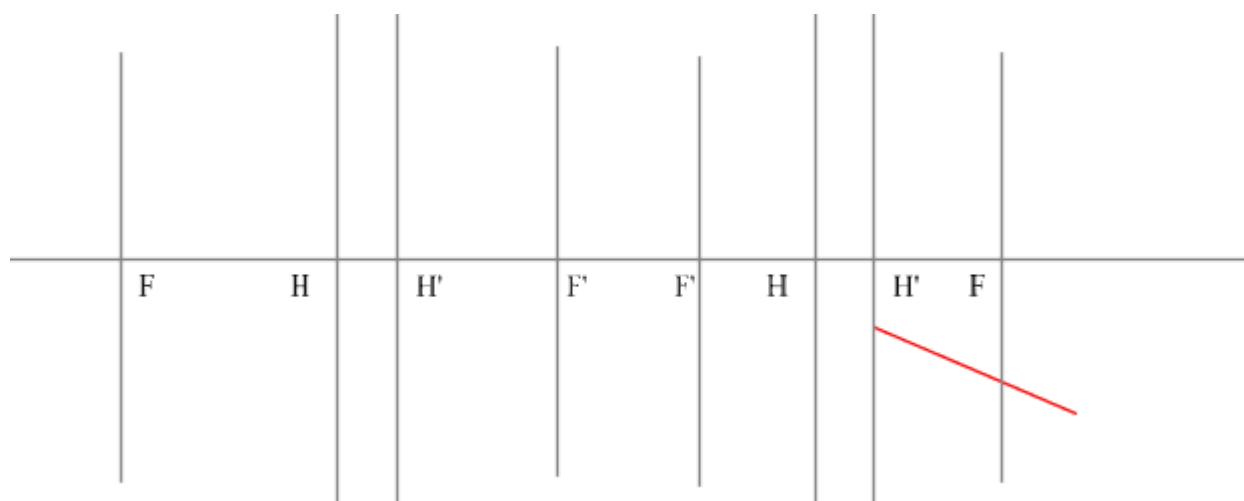
152. Построить изображение заданного предмета:



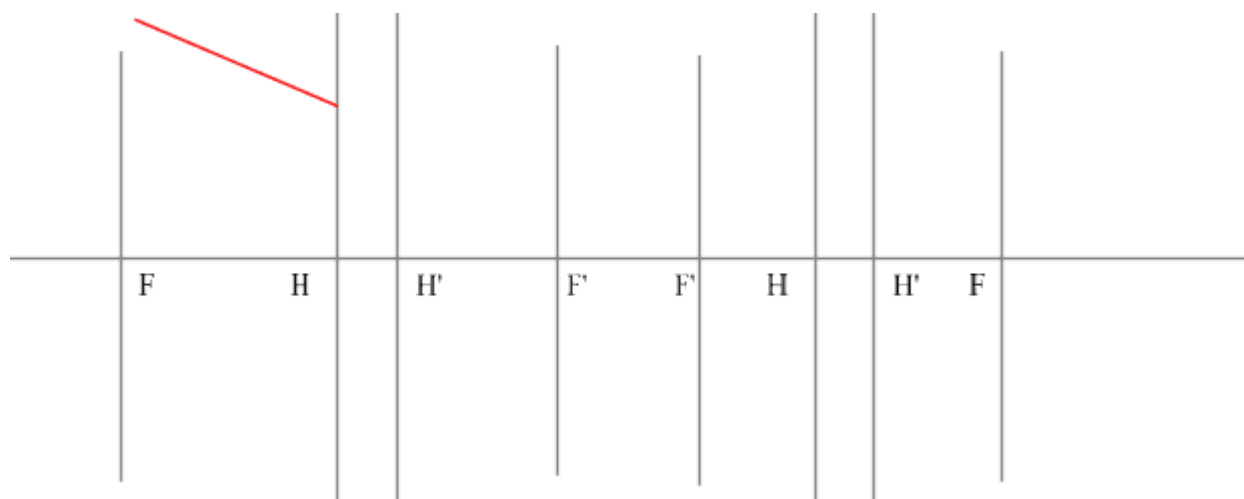
153. Дано изображение. Найти предмет.



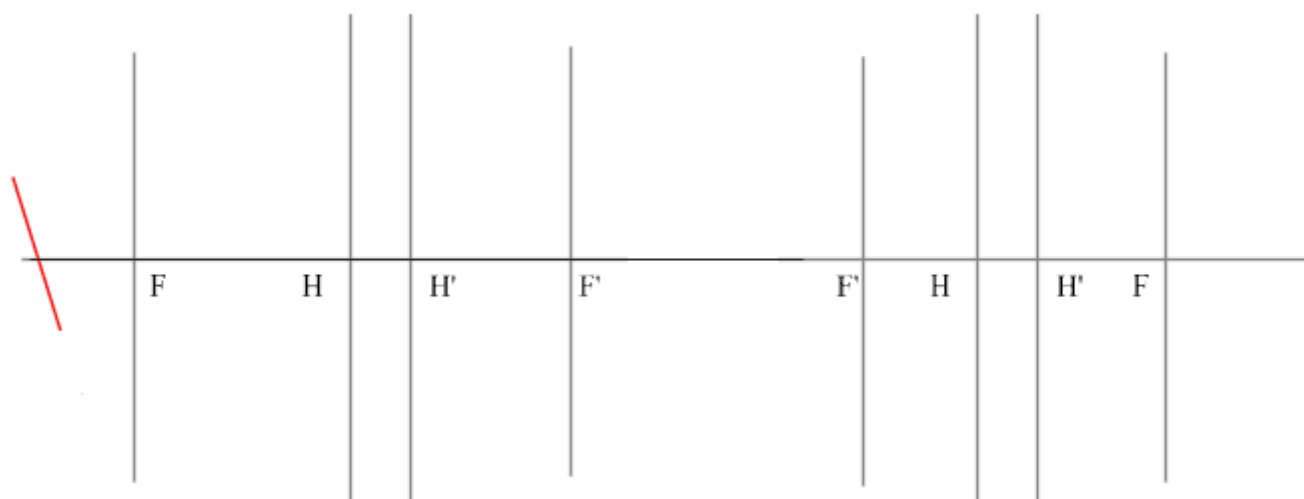
154. Достроить луч в пространстве предметов:



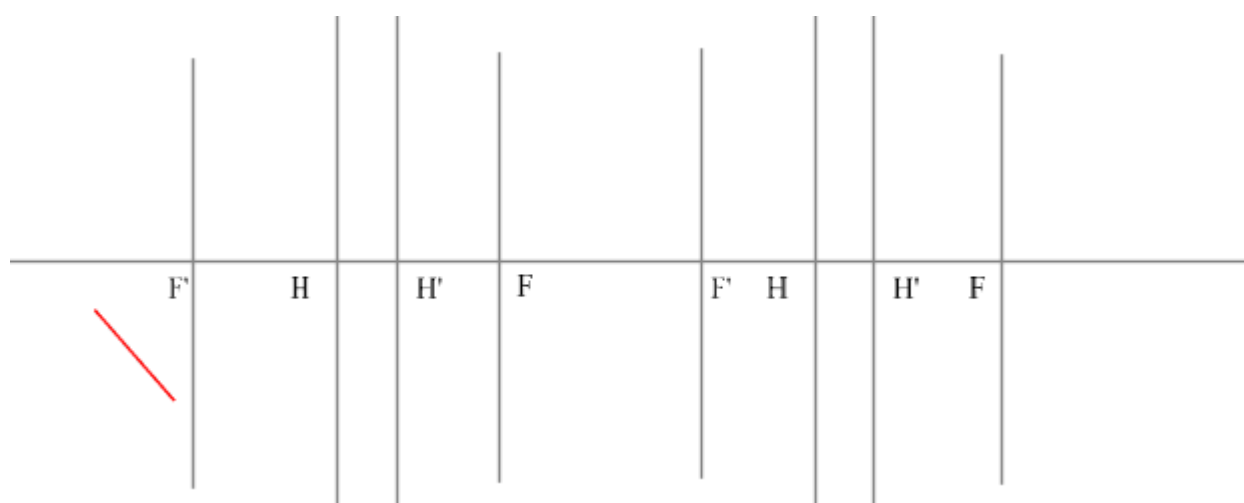
155. Построить ход луча:



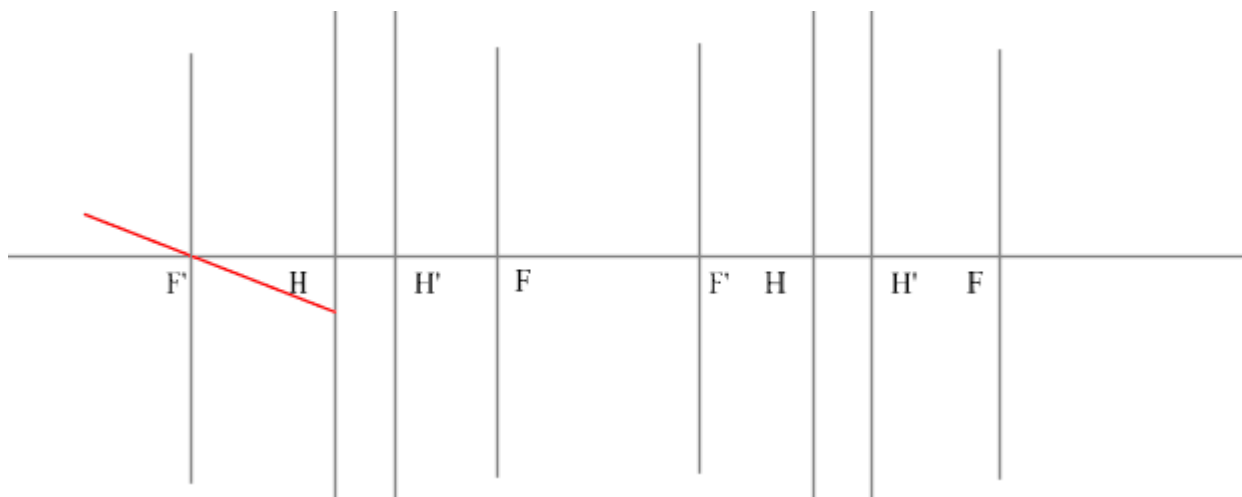
156. Построить изображение:



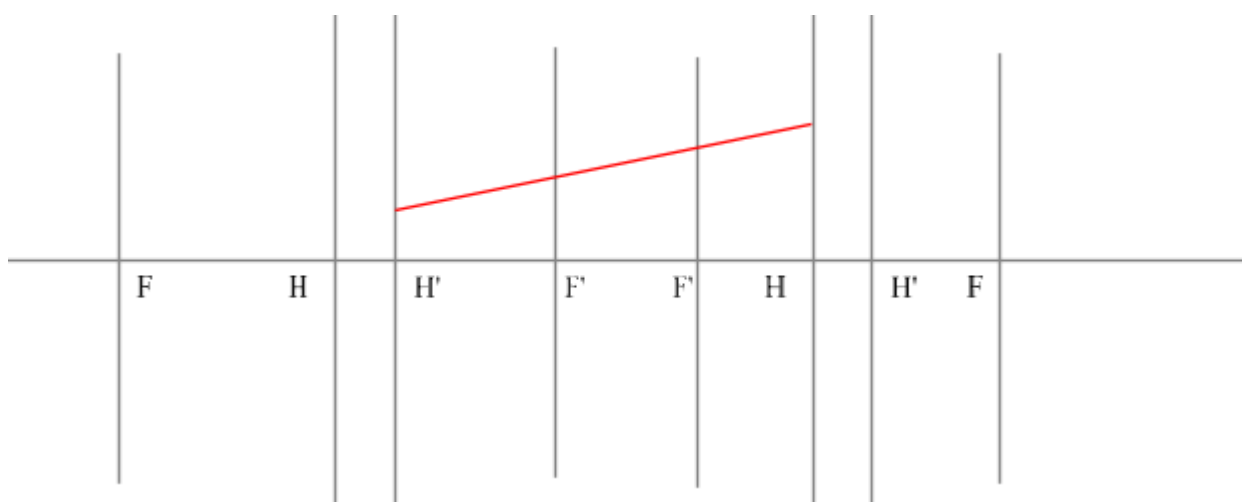
157. Построить изображение:



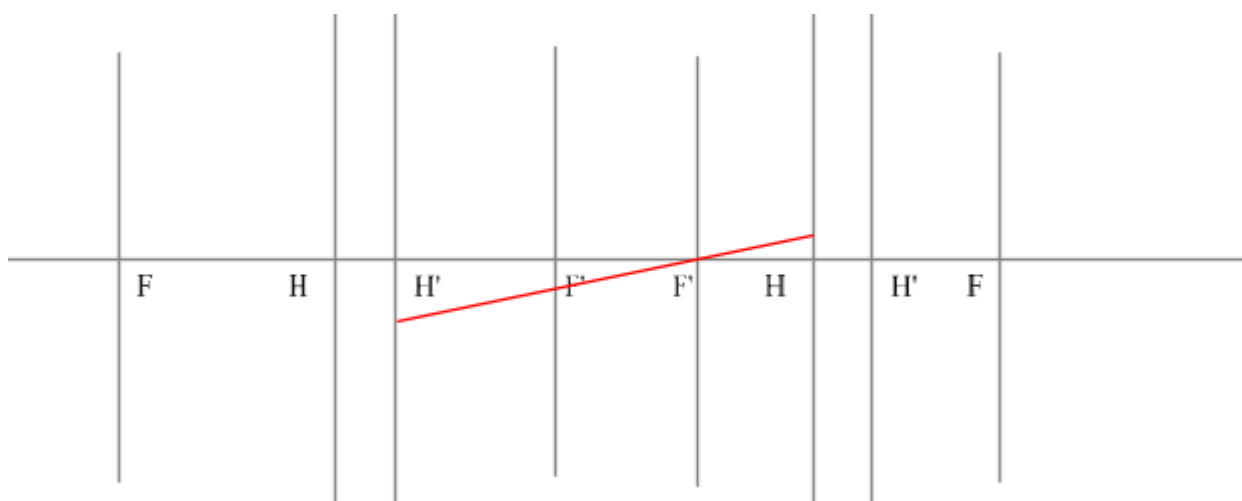
158. Построить ход луча:



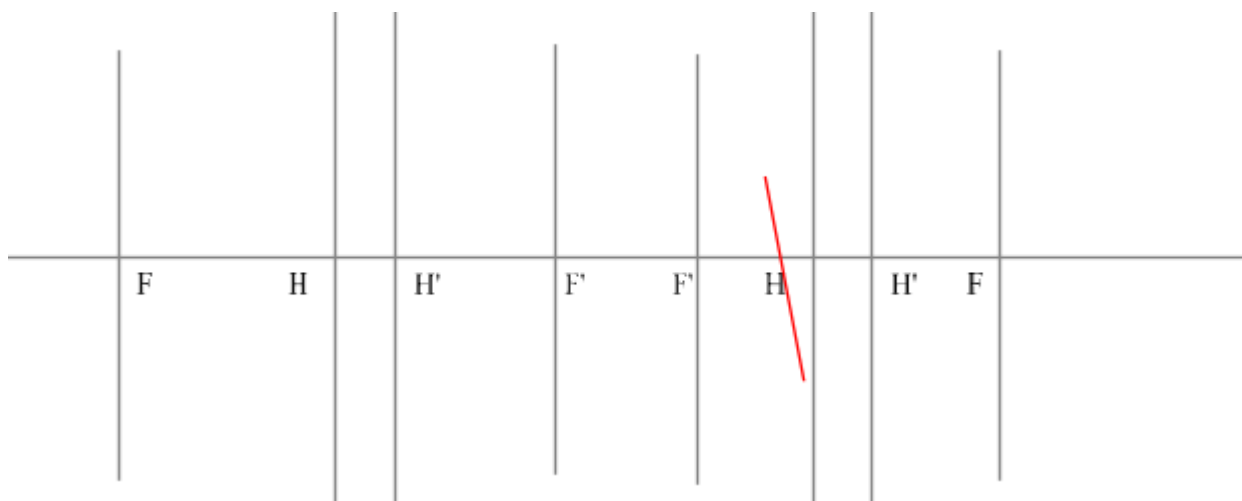
159. Достроить ход луча в пространстве предметов и изображений:



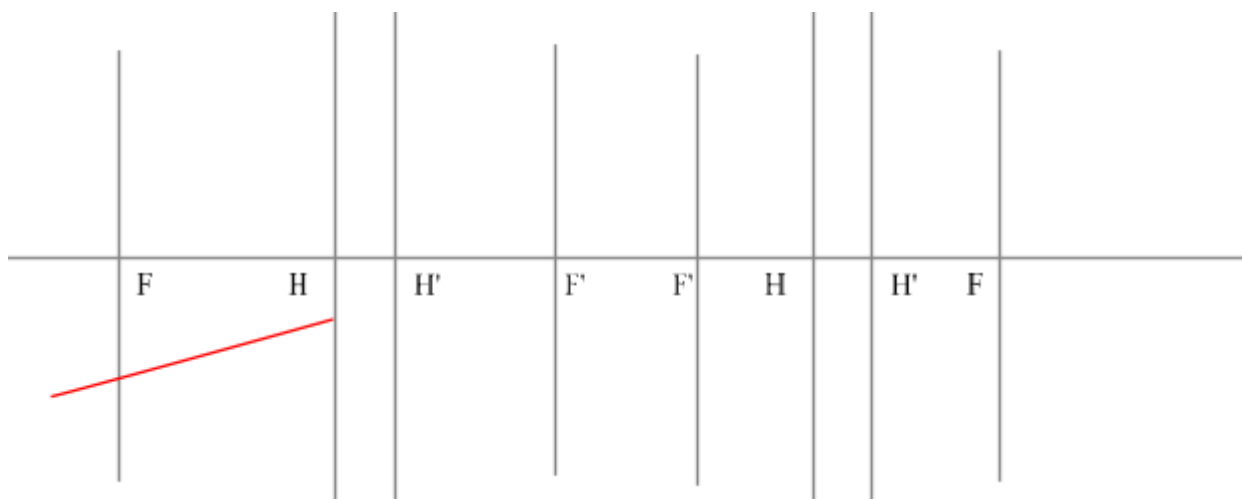
160. Достроить ход луча в пространстве предметов и изображений:



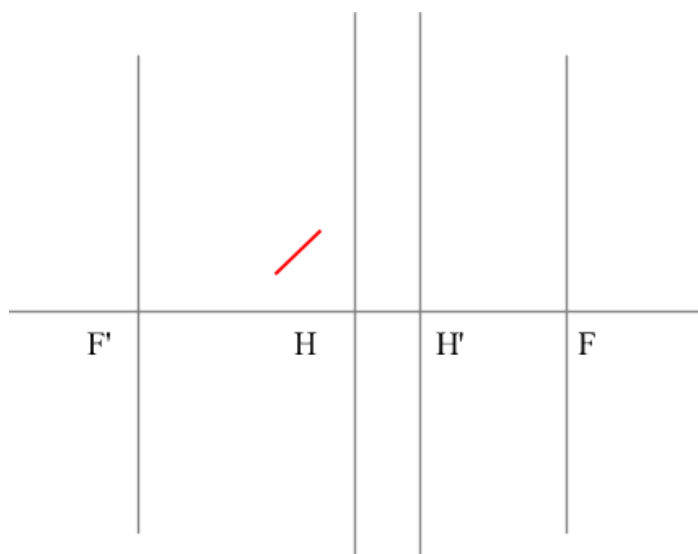
161. Задано промежуточное изображение (между первой и второй линзами). Построить сопряженные с ним объекты (в пространстве предметов и изображений):



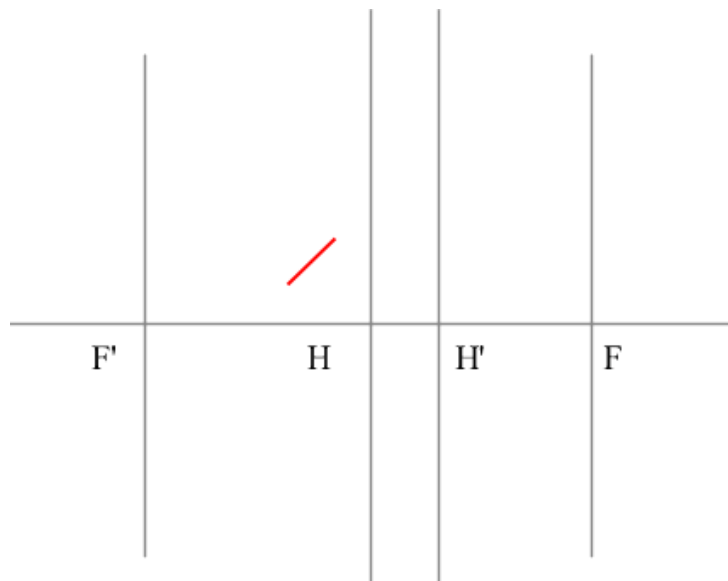
162. Построить ход луча:



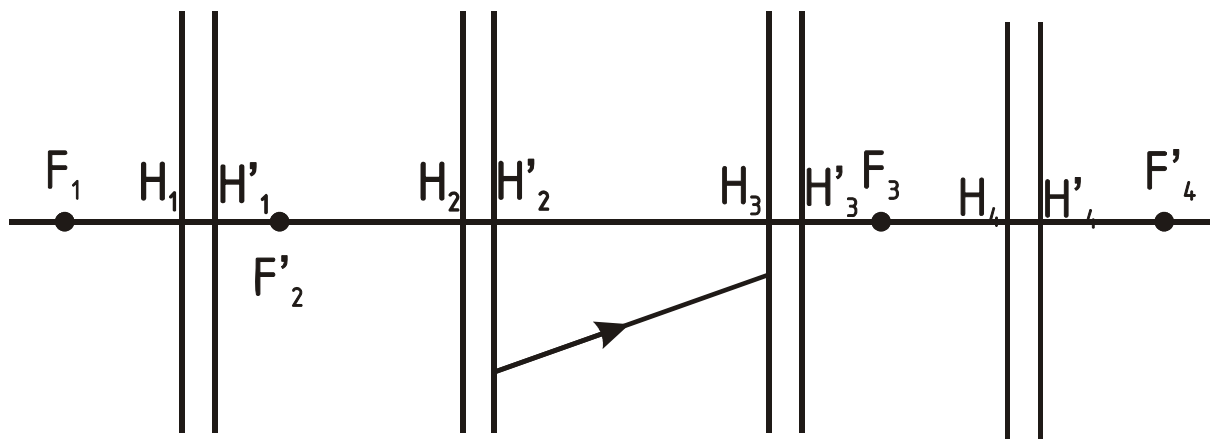
163. Построить изображение заданного предмета:



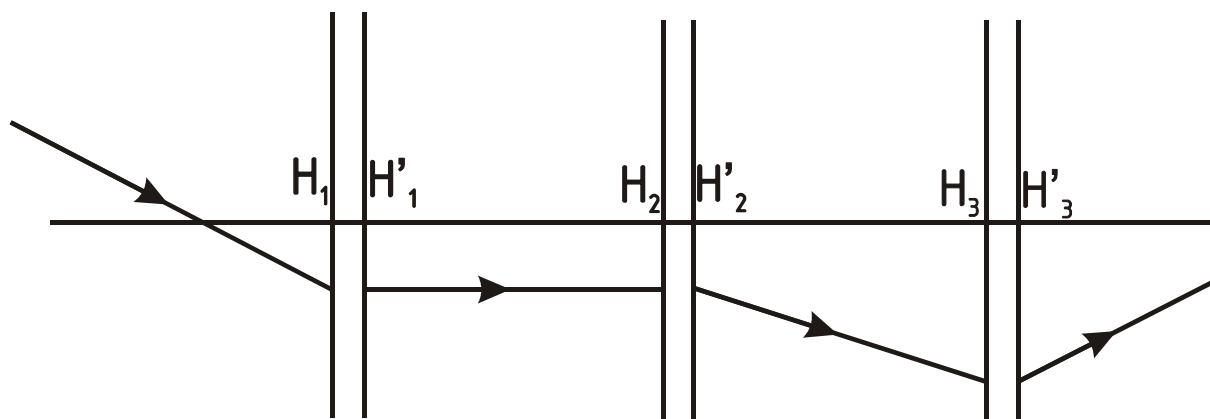
164. Построить предмет, дающий изображение, показанное на рисунке:



165. Построить луч через всю систему.

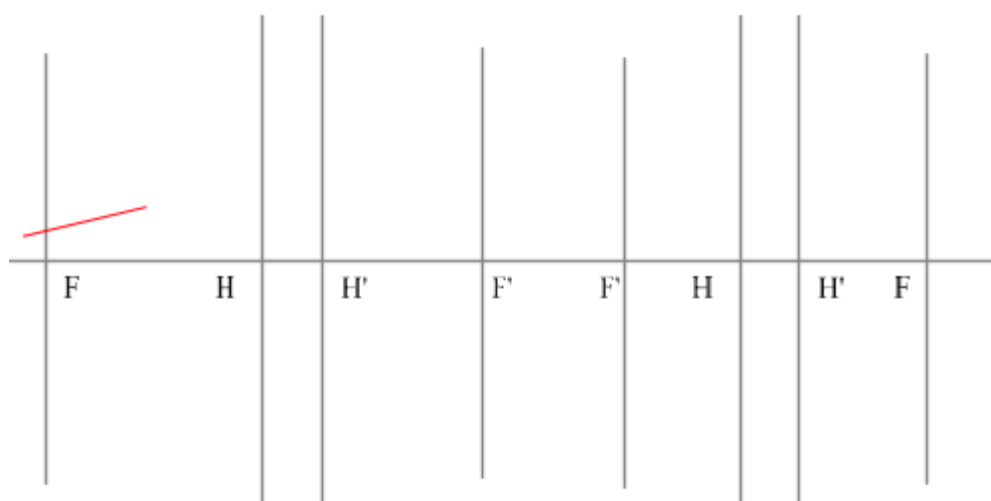


166. Определить положение фокусов каждой линзы.

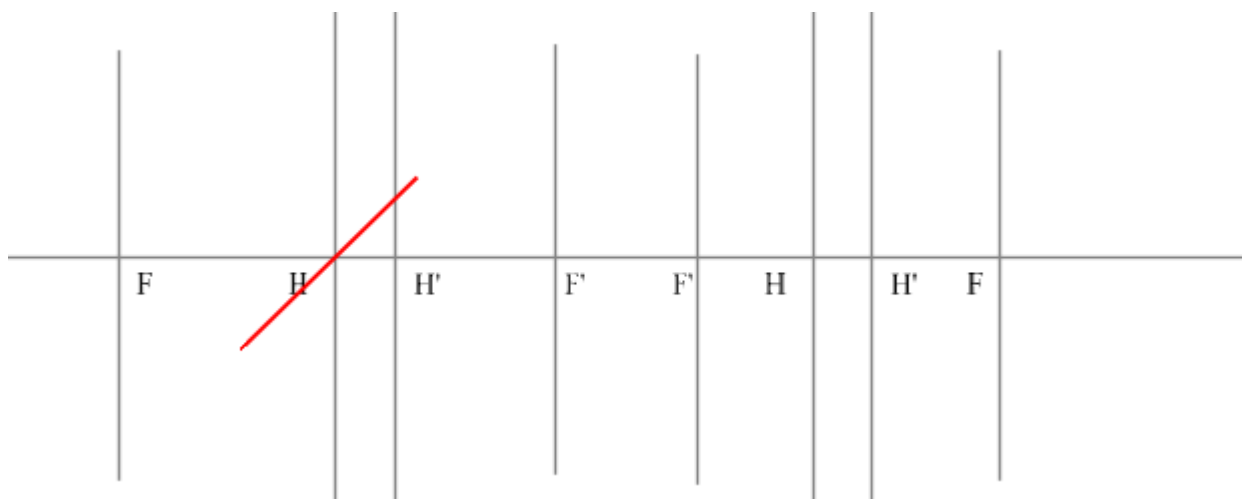




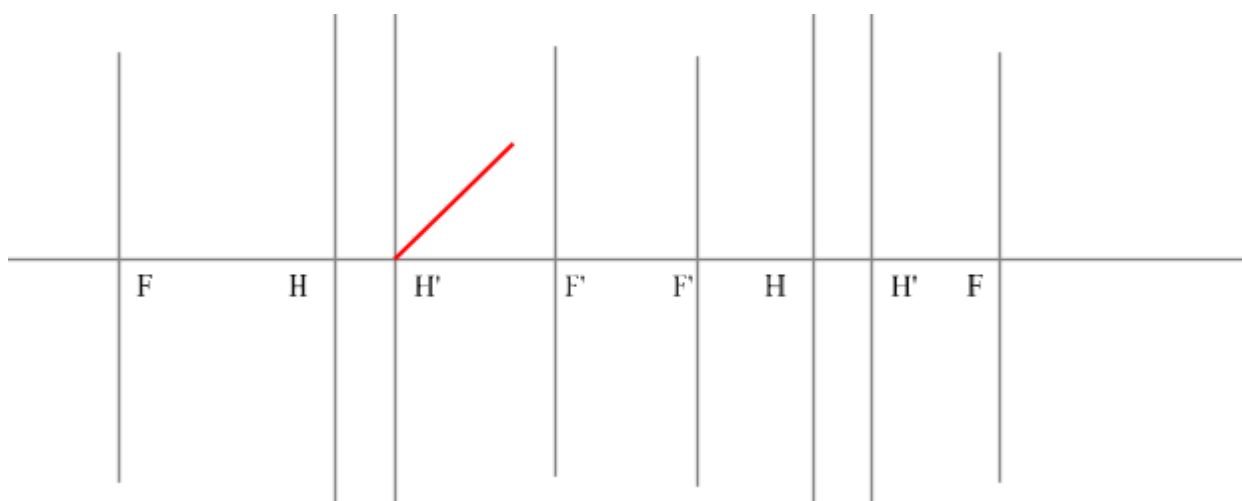
167. Построить изображение:



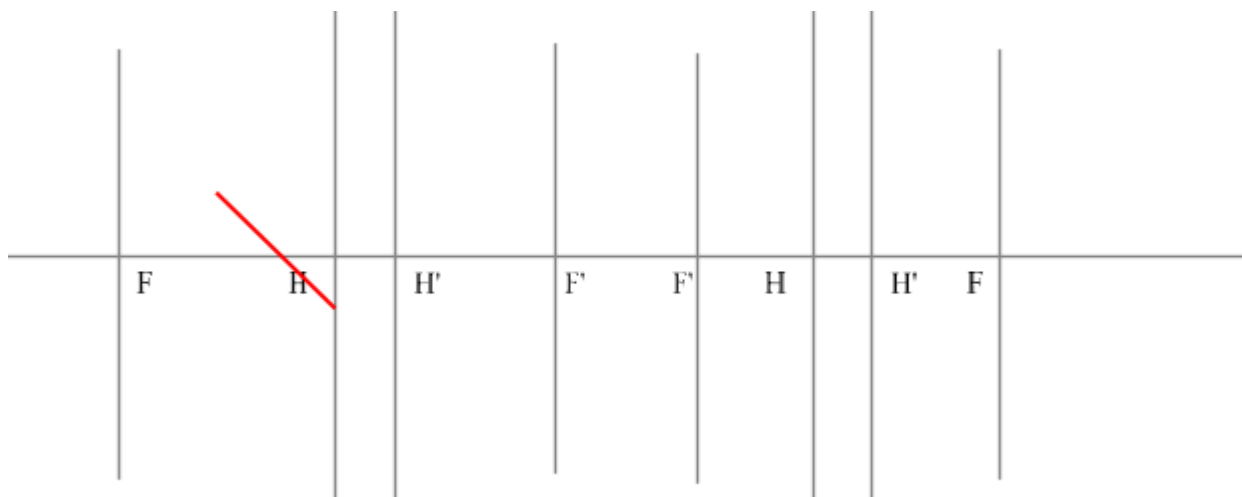
168. Построить изображение:



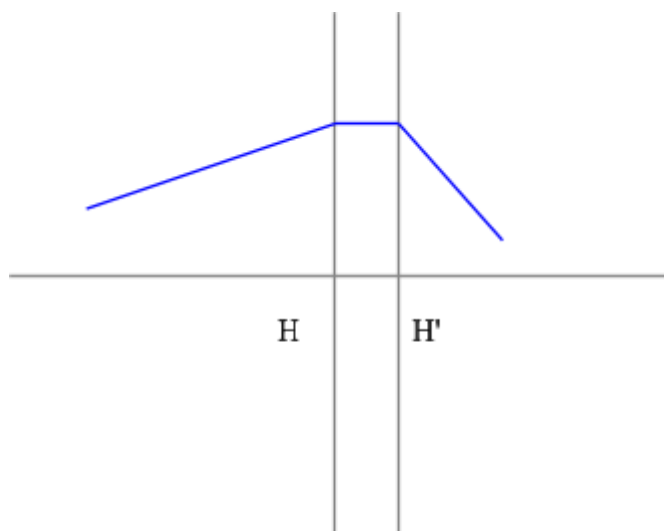
169. Построить изображение предмета, показанного на рисунке:



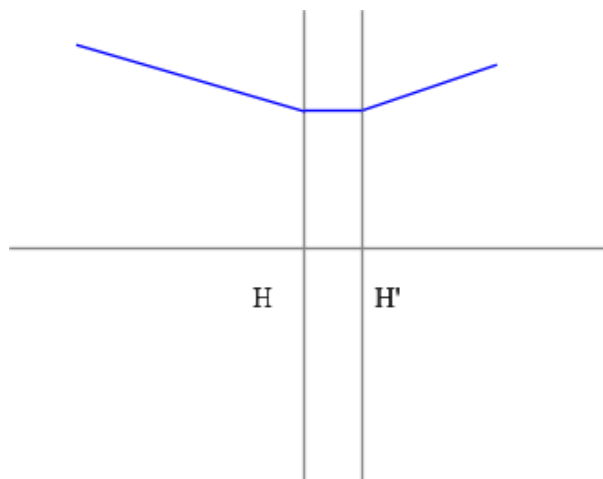
170. Построить изображение:



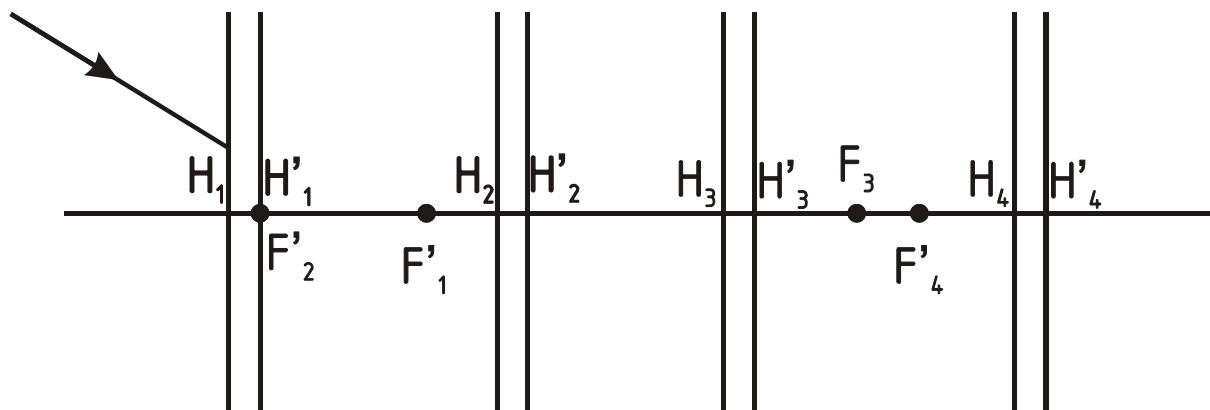
171. Определить положение фокальных плоскостей для линзы, находящейся в однородной среде:



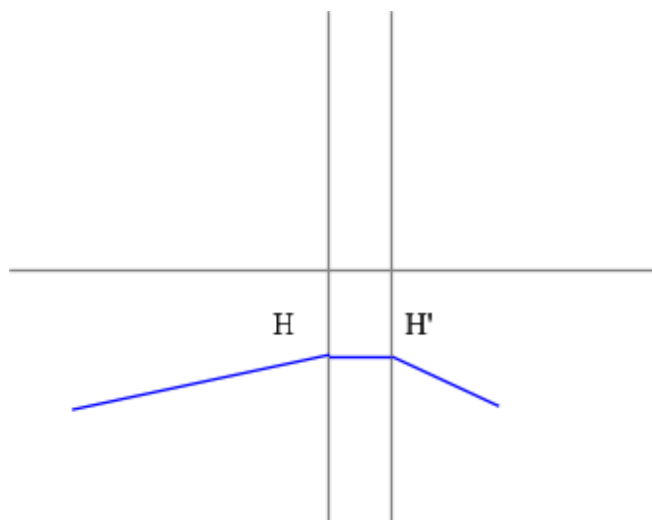
172. Определить положение фокальных плоскостей для линзы, находящейся в однородной среде:



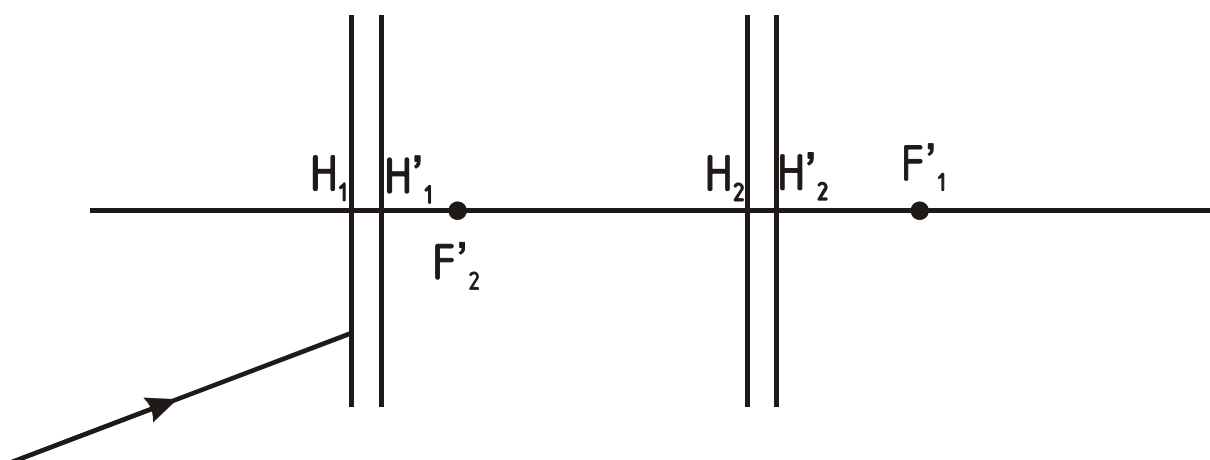
173. Построить луч через всю систему.



174. Определить положение фокальных плоскостей для линзы, находящейся в однородной среде:

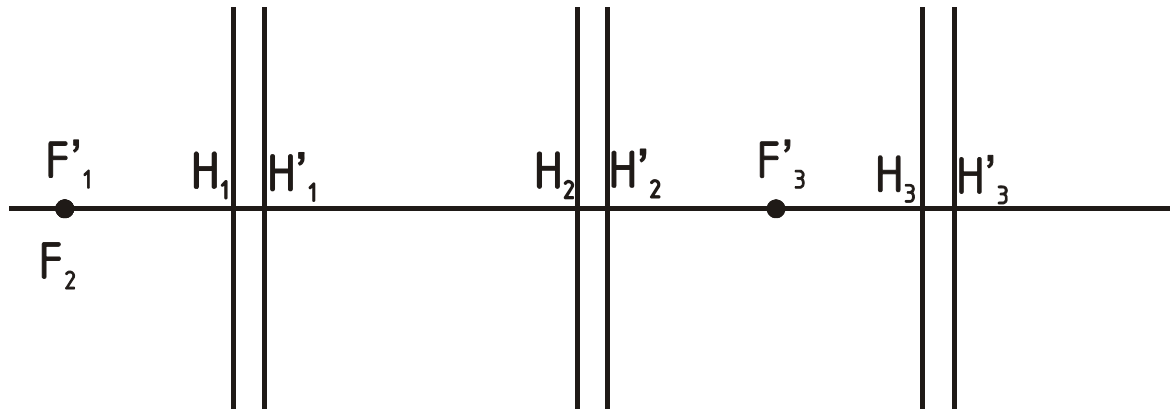


175. Построить луч через всю систему.



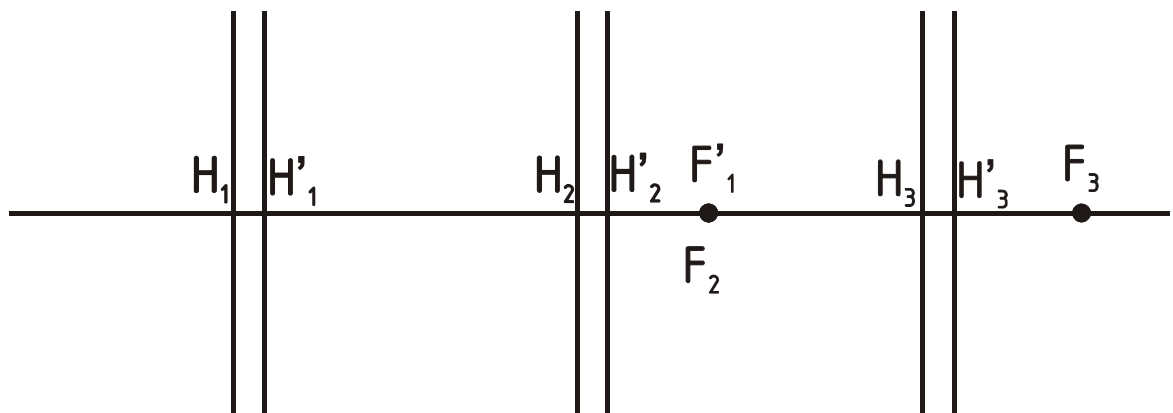
176.

Опред. (•)  $F'_{экв}$  -?  $H'_{экв}$  -?

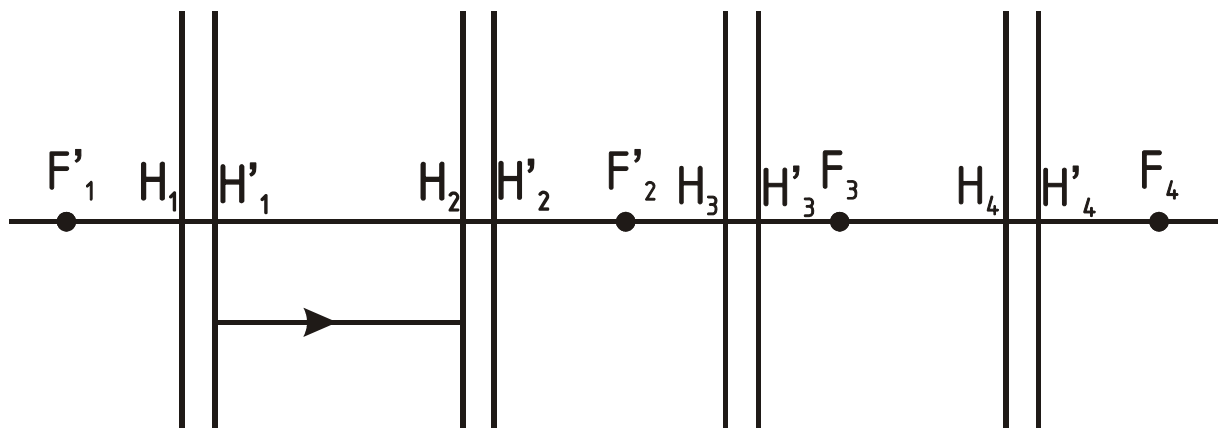


177.

Опред. (•)  $F'_{экв}$  -?  $H'_{экв}$  -?

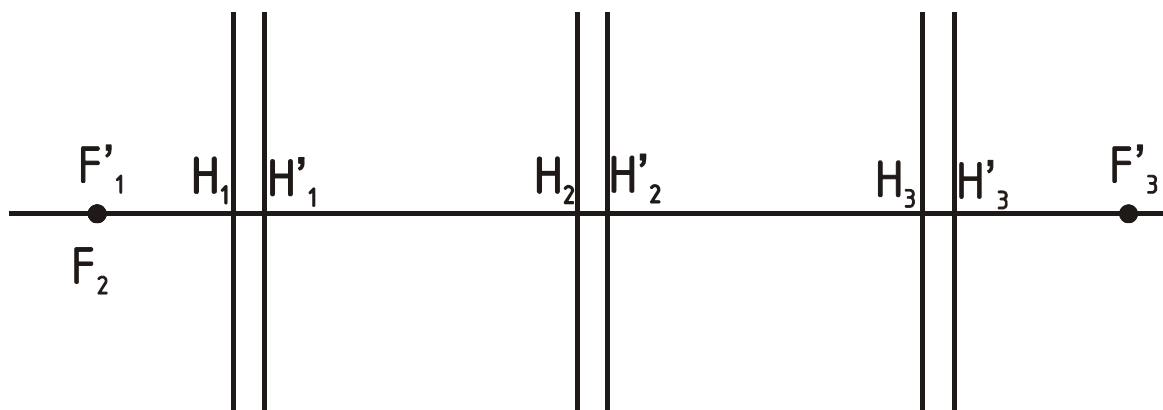


178. Построить луч через всю систему.



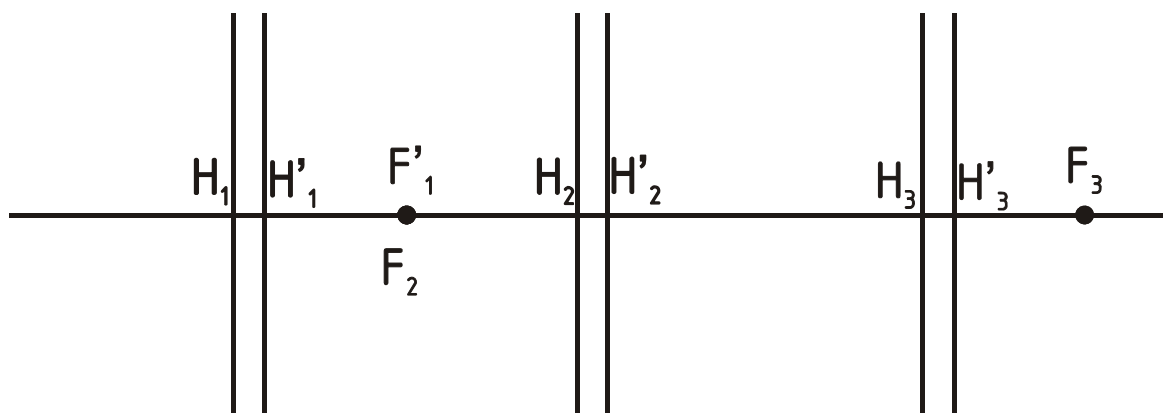
179.

Опред. (•)  $F'_{\text{экв}}$  -?  $H'_{\text{экв}}$  -?

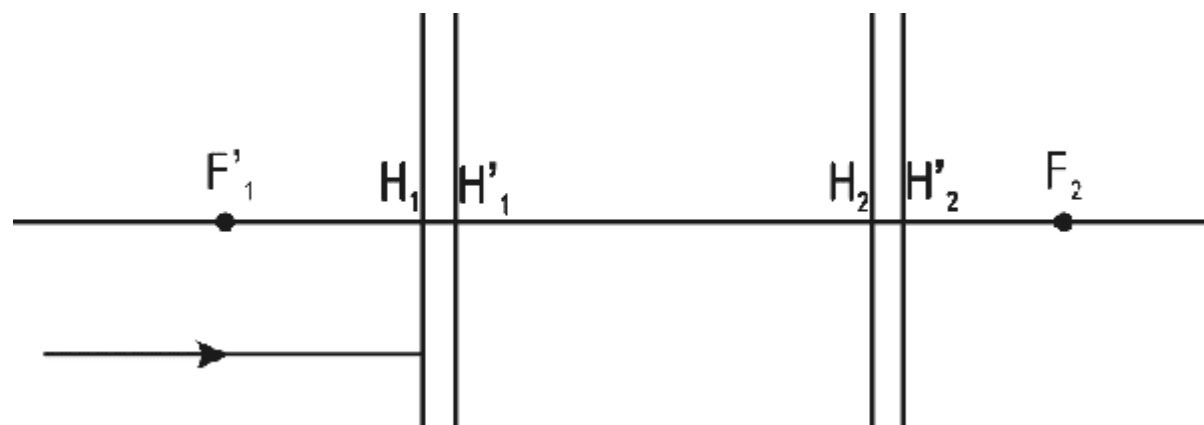


180.

Опред. (•)  $F'_{\text{экв}}$  -?  $H'_{\text{экв}}$  -?

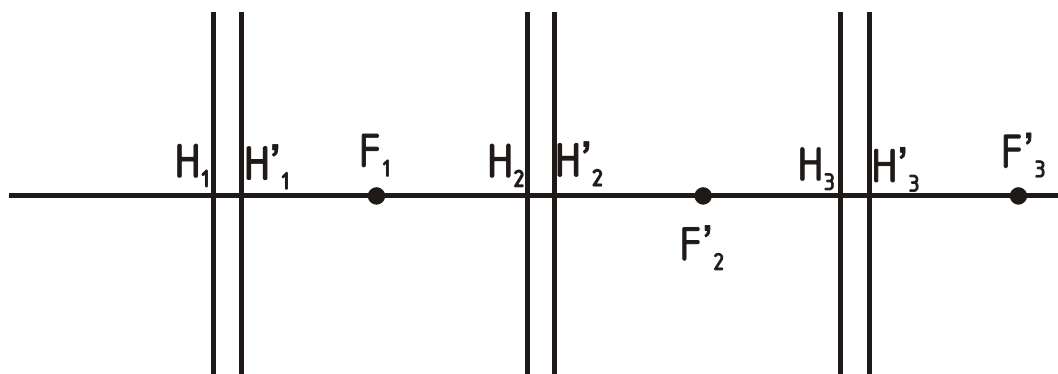


181. Построить луч через всю систему.



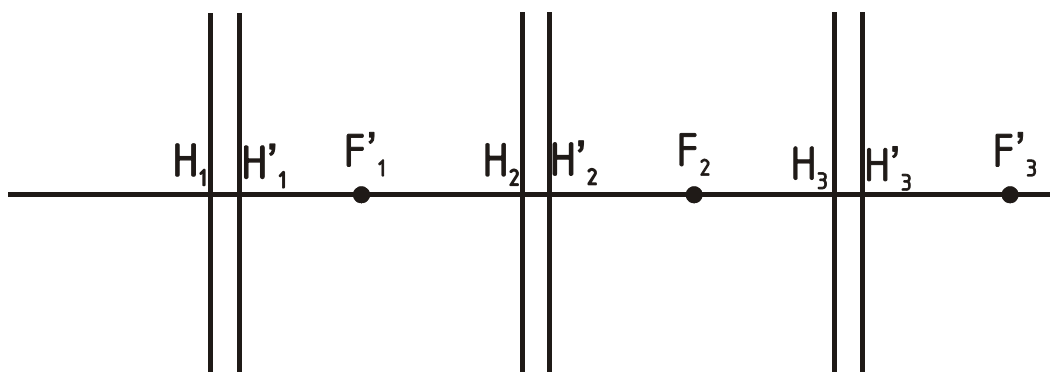
182.

Опред. (•)  $F'_{экв}$  -?  $H'_{экв}$  -?

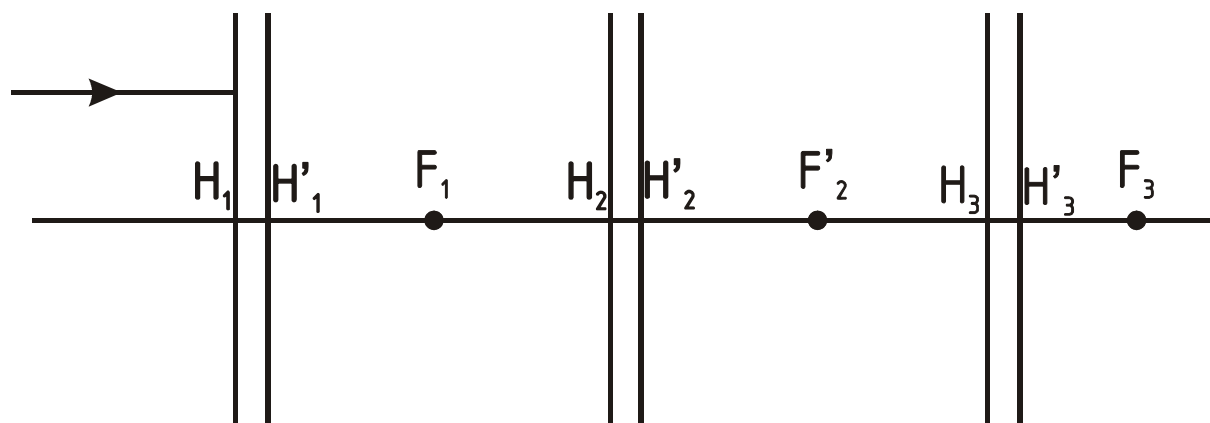


183.

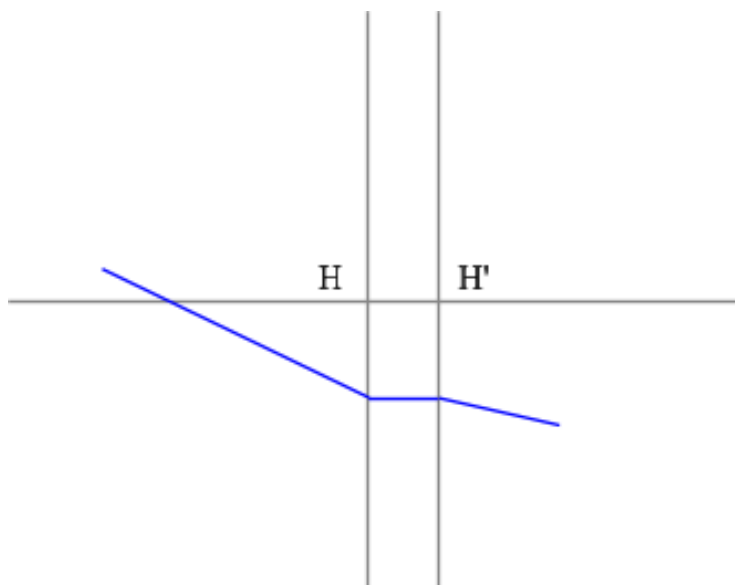
Опред. (•)  $F'_{экв}$  -?  $H'_{экв}$  -?



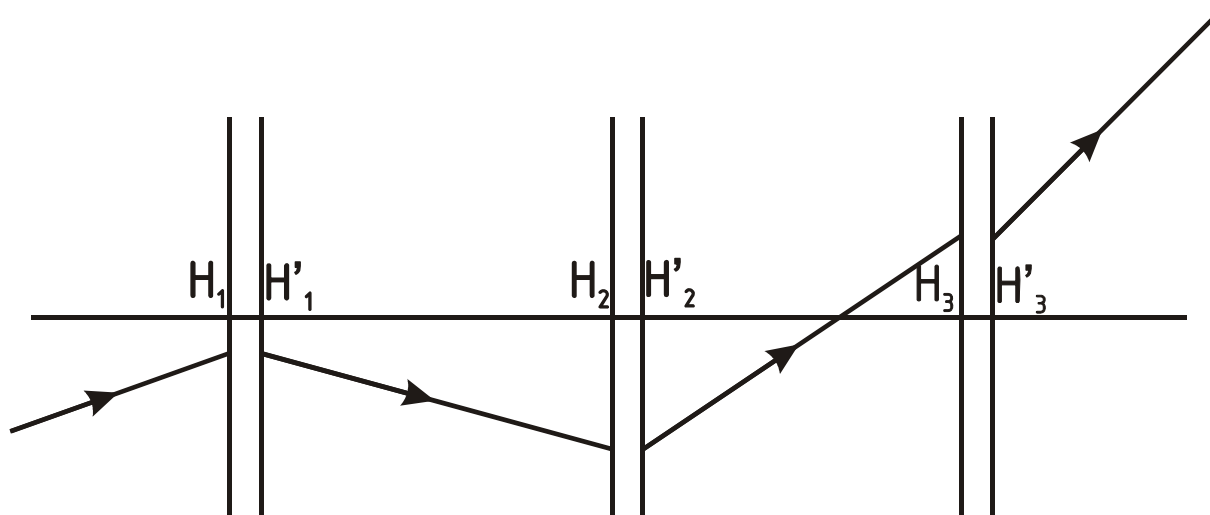
184. Построить луч через всю систему.



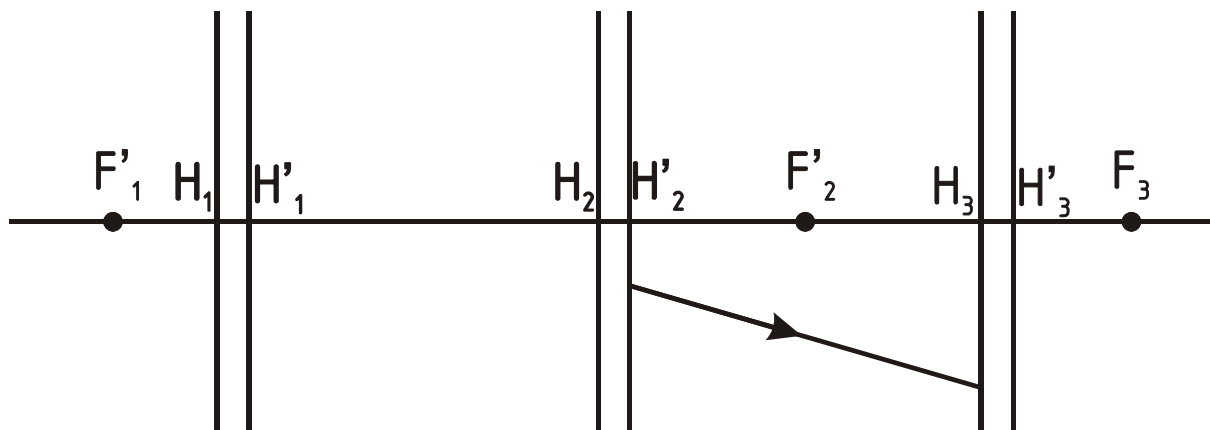
185. Определить положение фокальных плоскостей для линзы, находящейся в однородной среде:



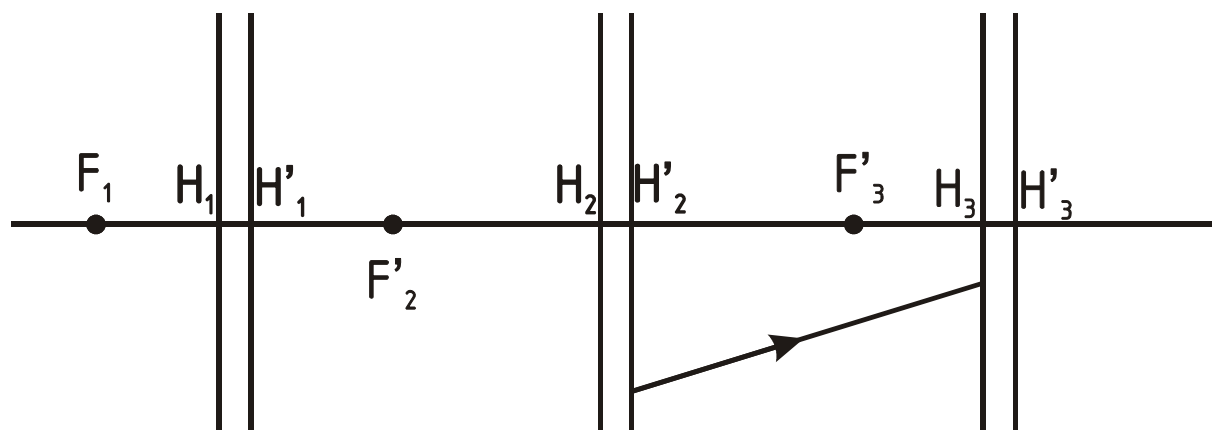
186. Определить положение фокусов каждой линзы.



187. Построить луч через всю систему.

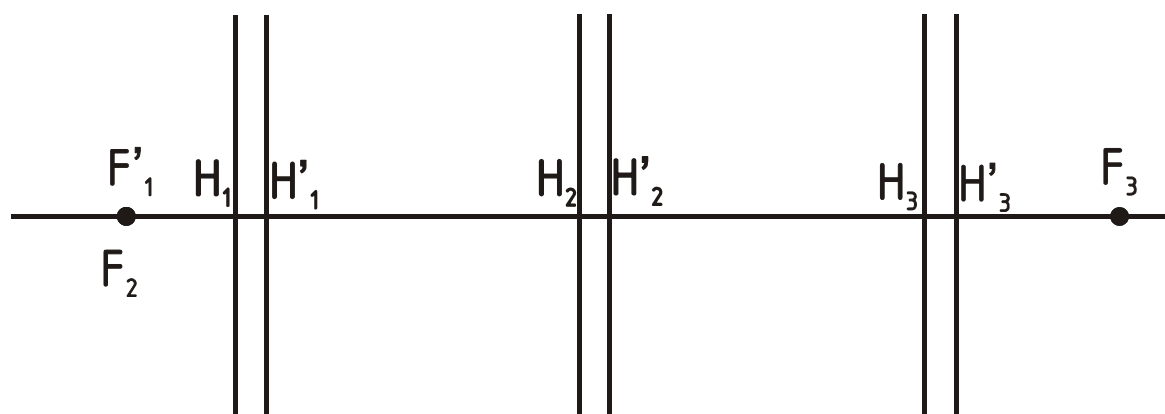


188. Построить луч через всю систему.



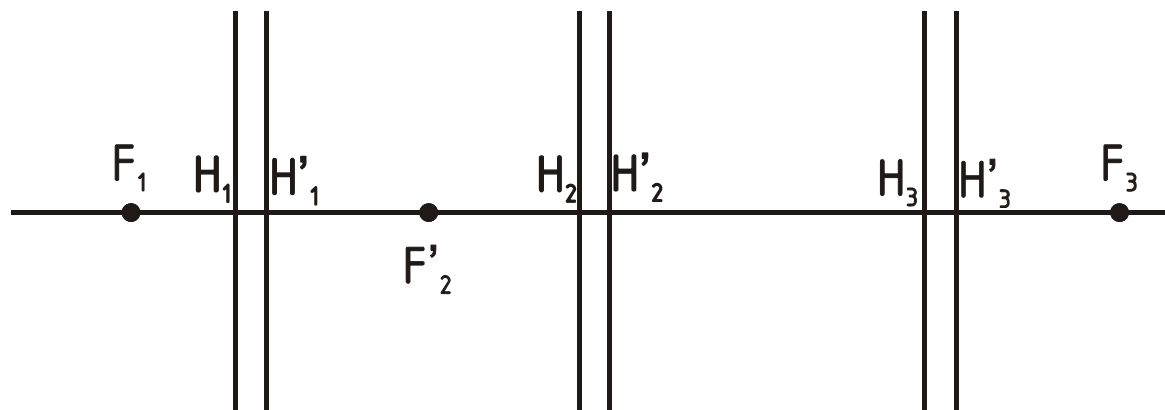
189.

Опред. (•)  $F'_{экв}$  -?  $H'_{экв}$  -?



190.

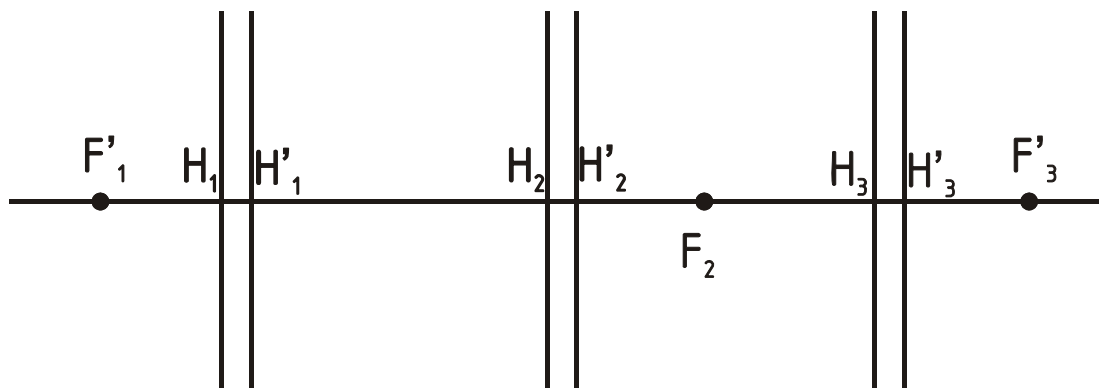
Опред. (•)  $F'_{экв}$  -?  $H'_{экв}$  -?





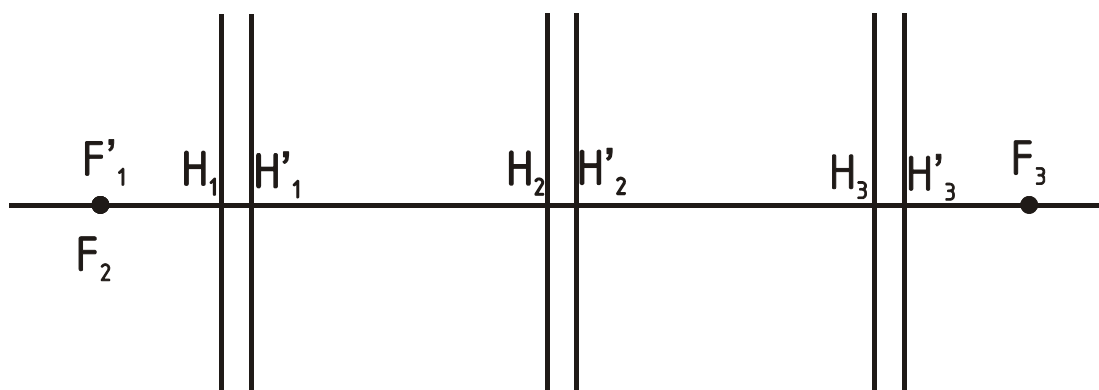
191.

Опред. (•)  $F'_{экв}$  - ?  $H'_{экв}$  - ?

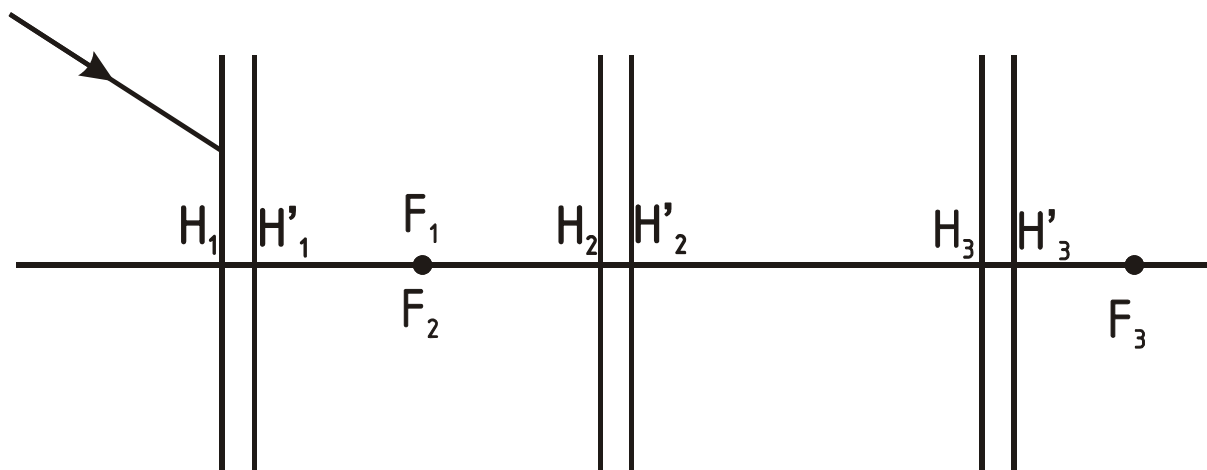


192.

Опред. (•)  $F'_{экв}$  - ?  $H'_{экв}$  - ?

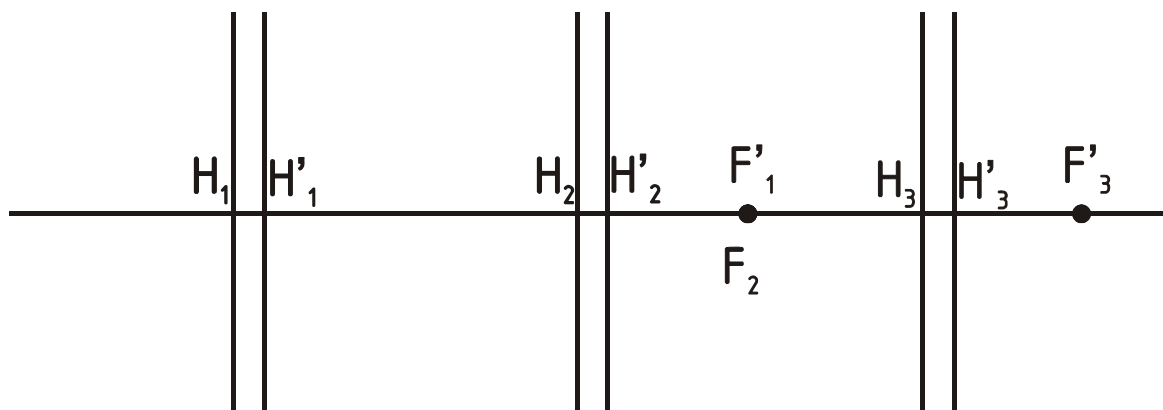


193. Построить луч через всю систему.



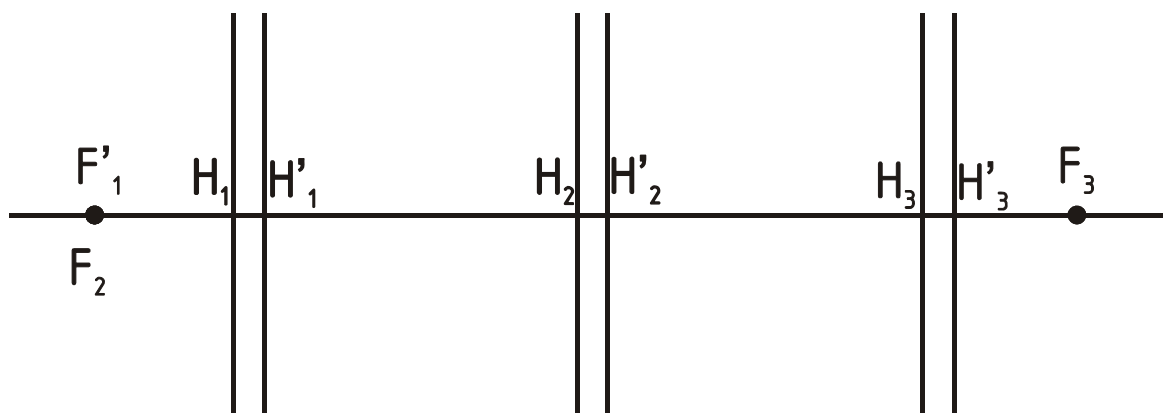
194.

Опред. (•)  $F'_{экв}$  -?  $H'_{экв}$  -?

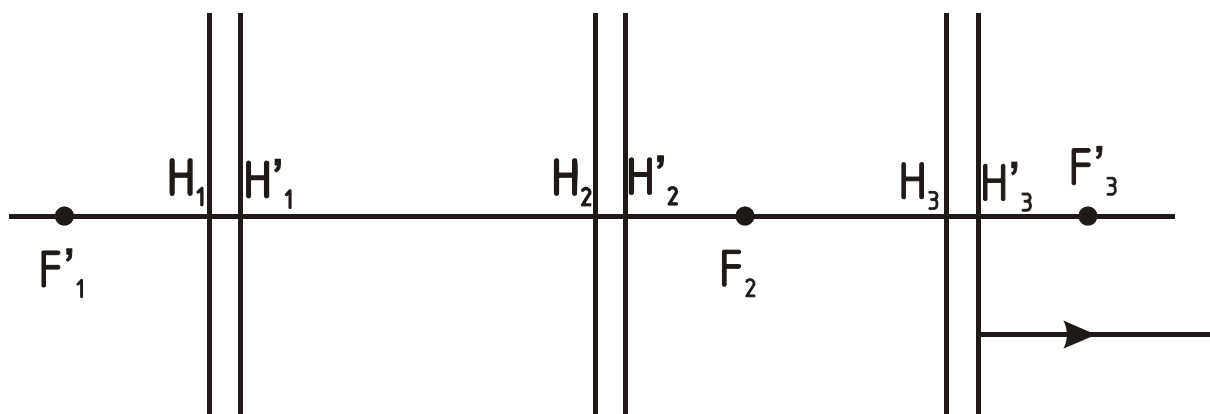


195.

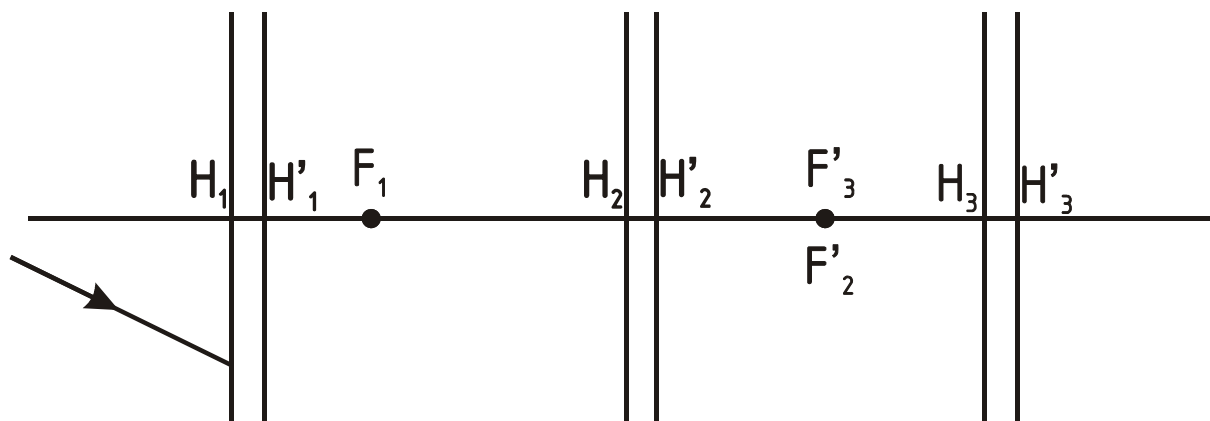
Опред. (•)  $F'_{экв}$  -?  $H'_{экв}$  -?



196. Построить луч через всю систему.

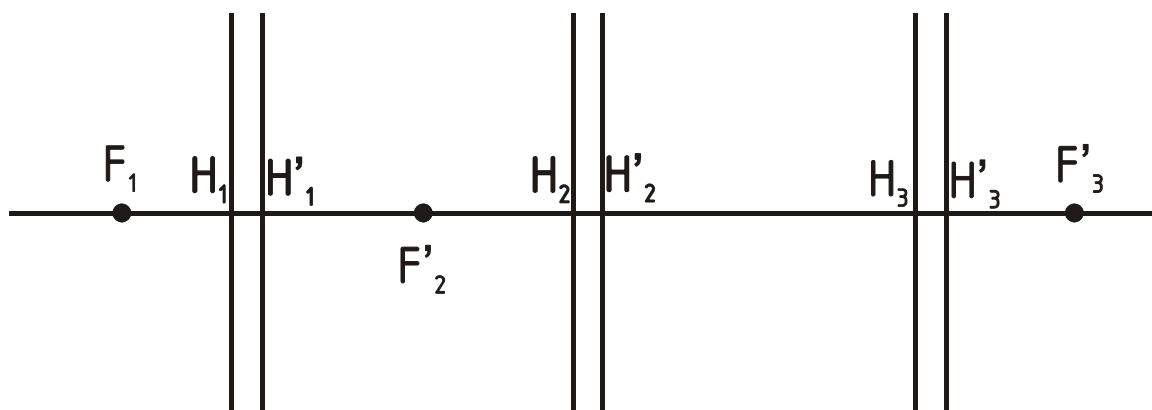


197. Построить луч через всю систему.



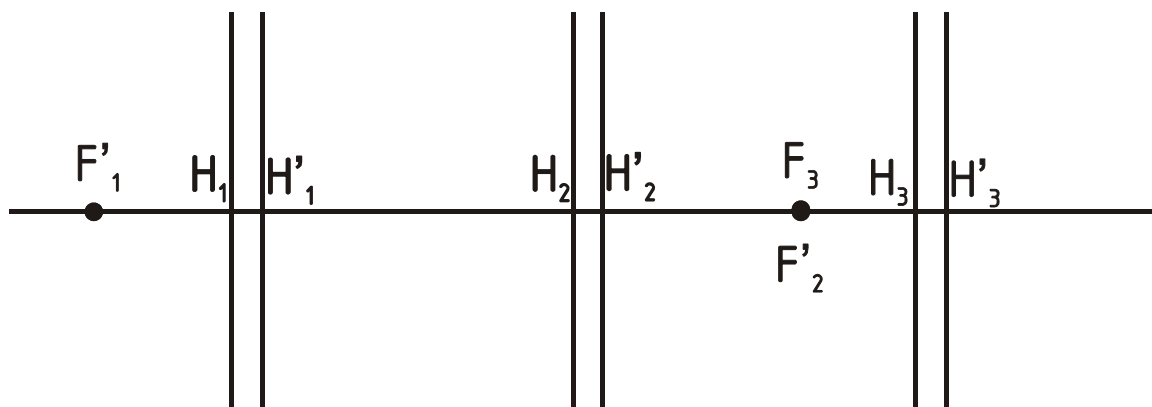
198.

Опред. (•)  $F_{экв}$  -?  $H_{экв}$  -?



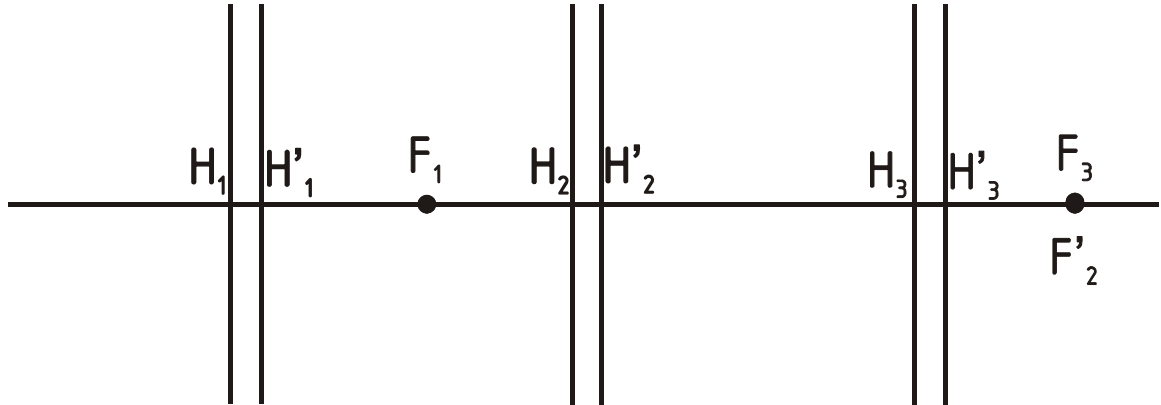
199.

Опред. (•)  $F_{экв}$  -?  $H_{экв}$  -?



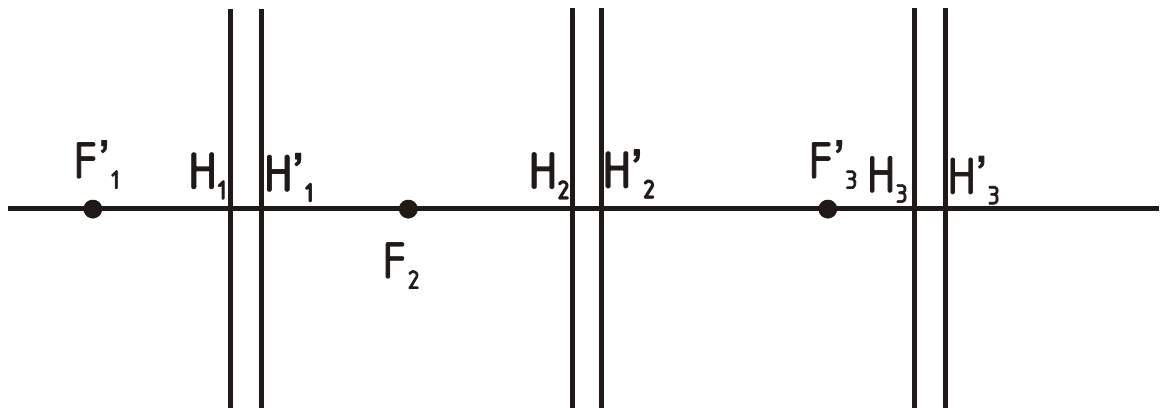
200.

Опред. (•)  $F_{экв}$  -?  $H_{экв}$  -?

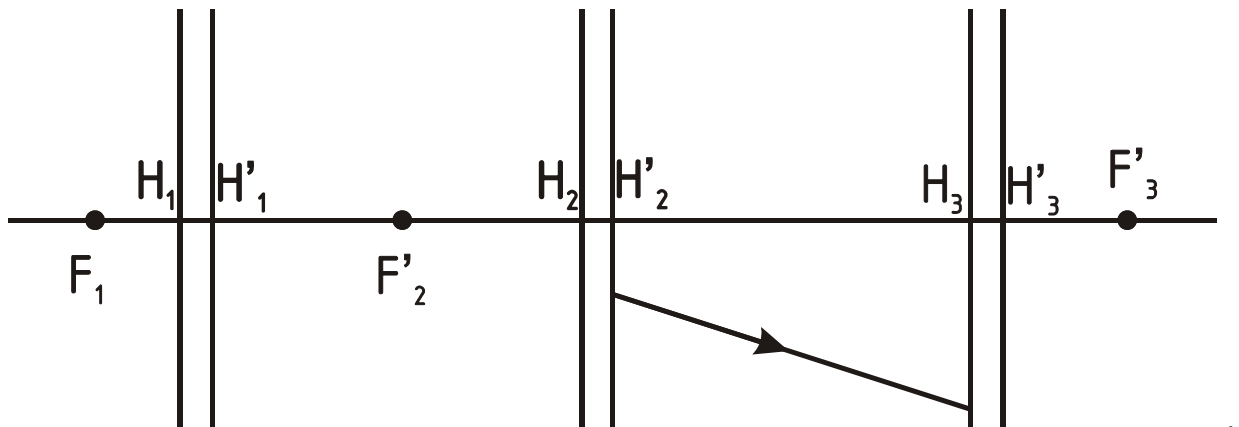


201.

Опред. (•)  $F_{экв}$  -?  $H_{экв}$  -?

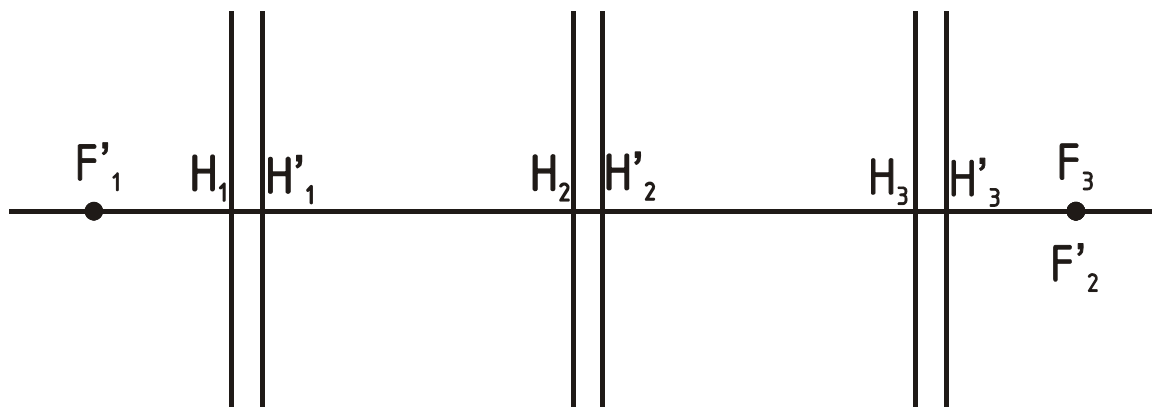


202. Построить луч через всю систему.



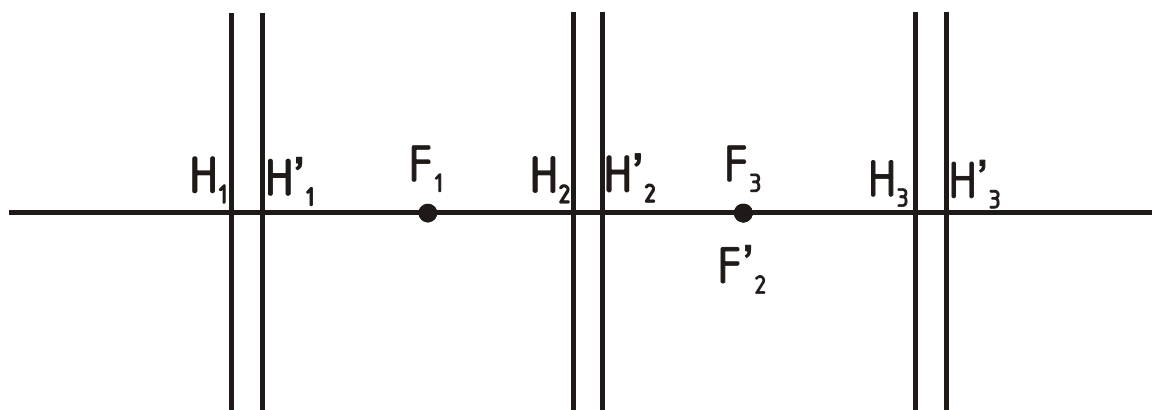
203.

Опред. (•)  $F_{экв}$  -?  $H_{экв}$  -?

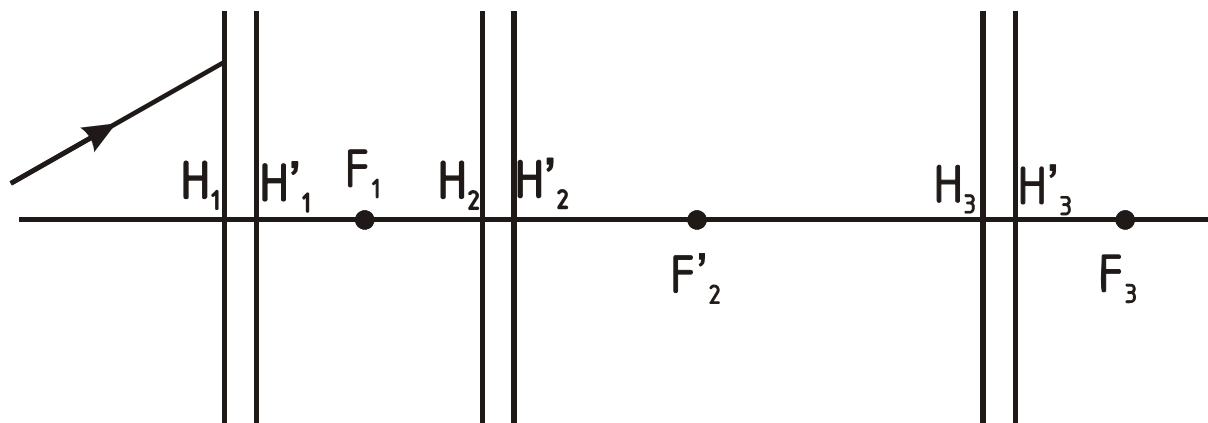


204.

Опред. (•)  $F_{экв}$  -?  $H_{экв}$  -?

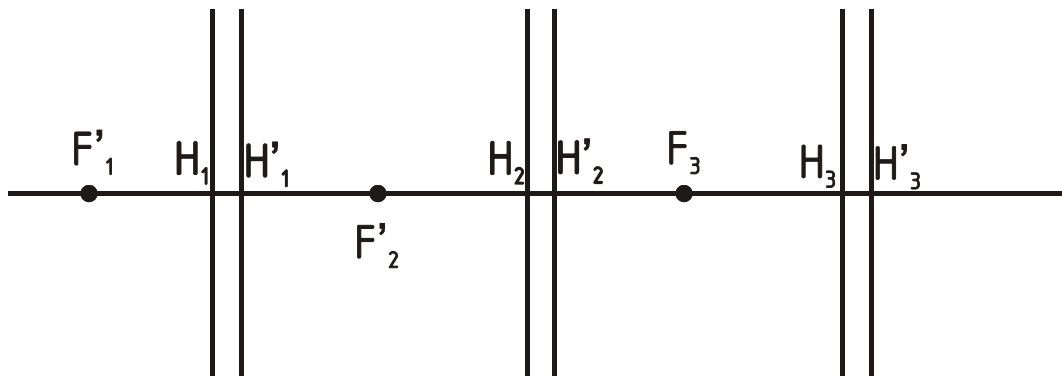


205. Построить луч через всю систему.



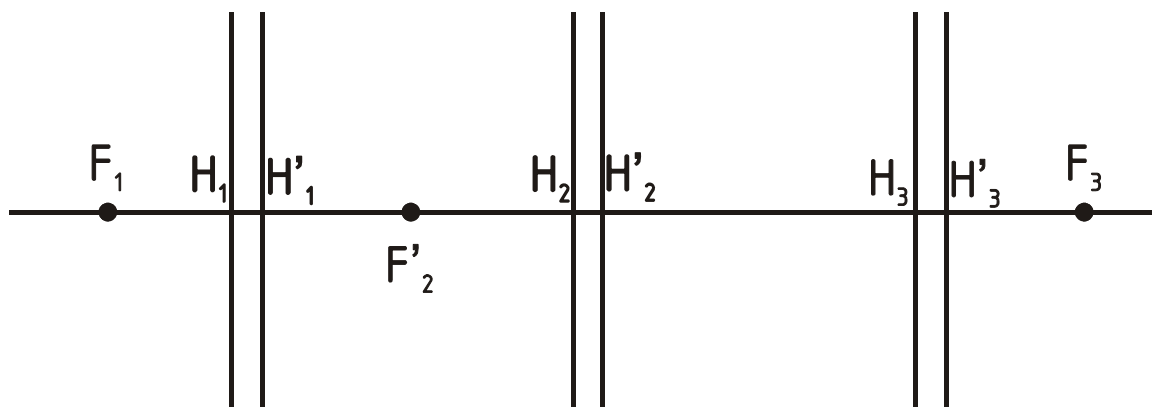
206.

Опред. (•)  $F_{экв}$  -?  $H_{экв}$  -?

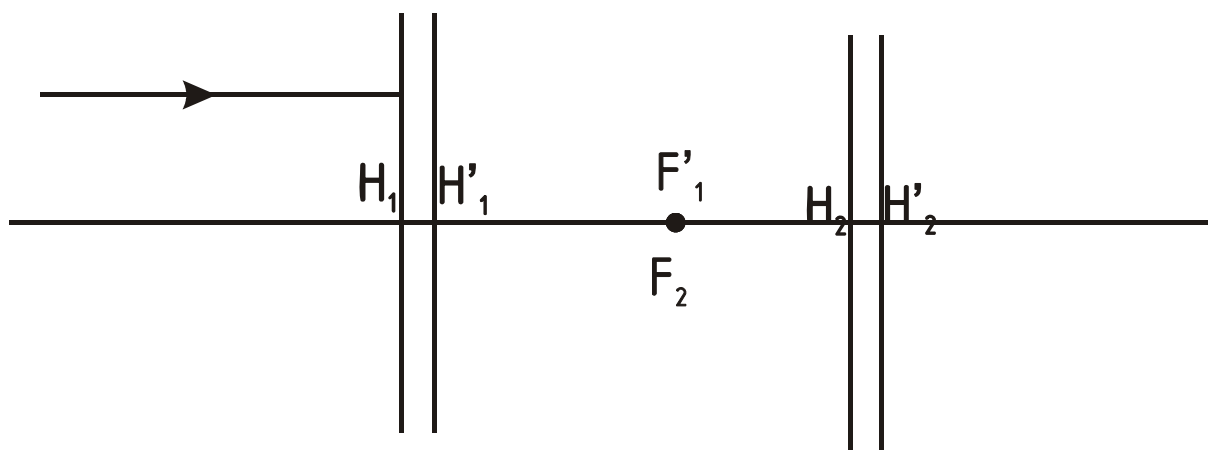


207.

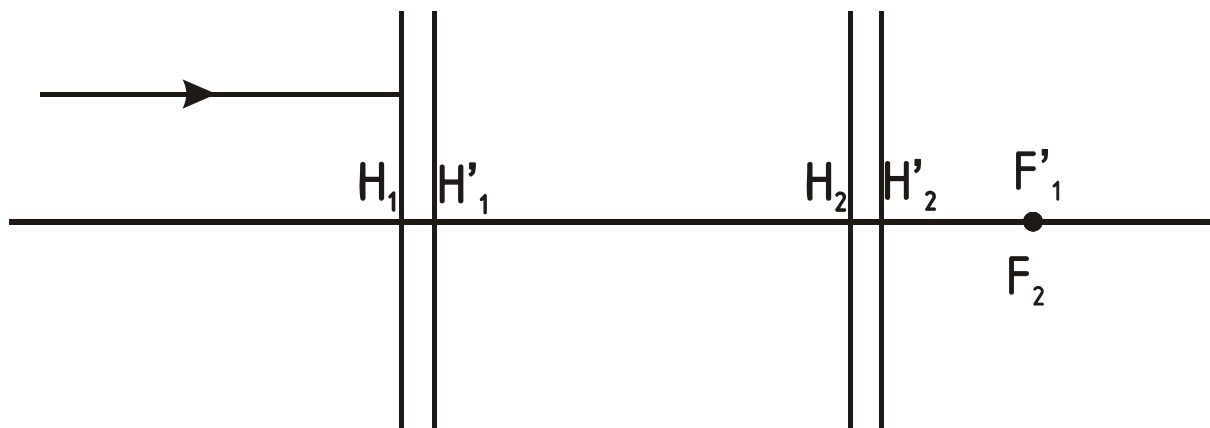
Опред. (•)  $F_{экв}$  -?  $H_{экв}$  -?



208. Построить луч через всю систему.

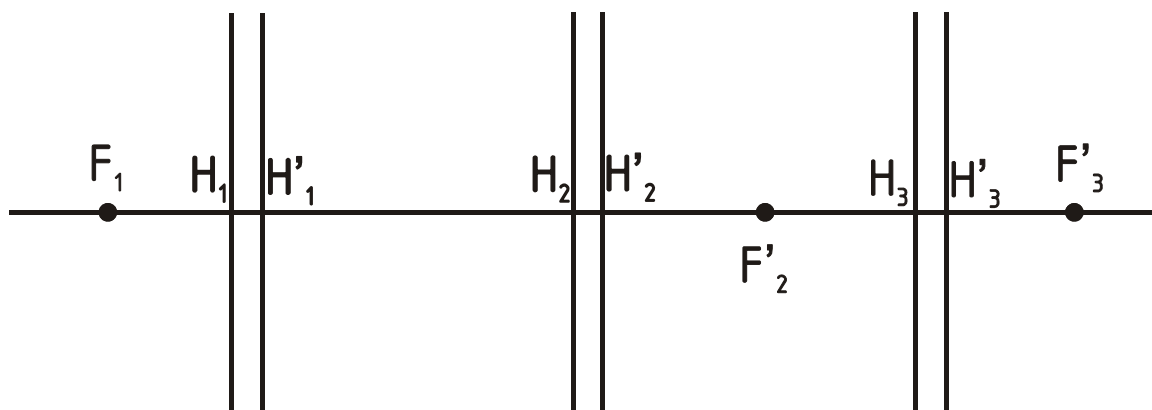


209. Построить луч через всю систему.



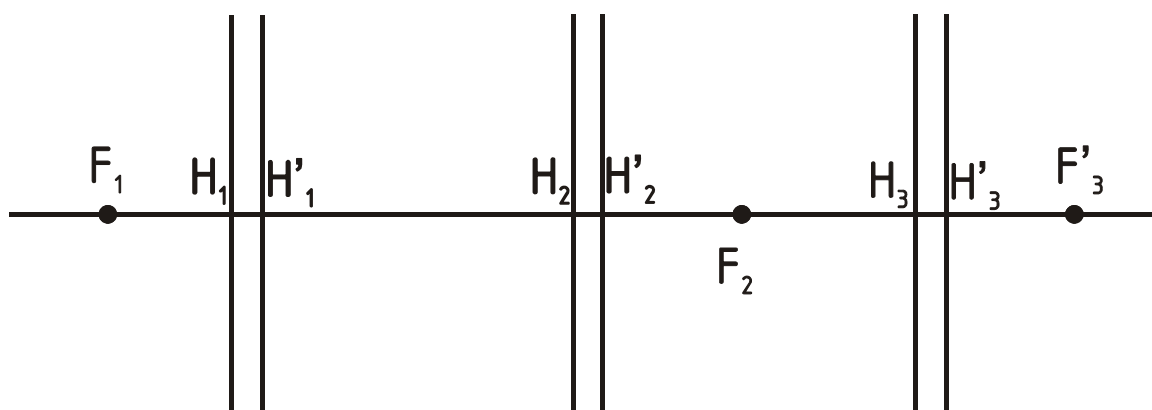
210.

Опред. (•)  $F_{экв}$  - ?  $H_{экв}$  - ?



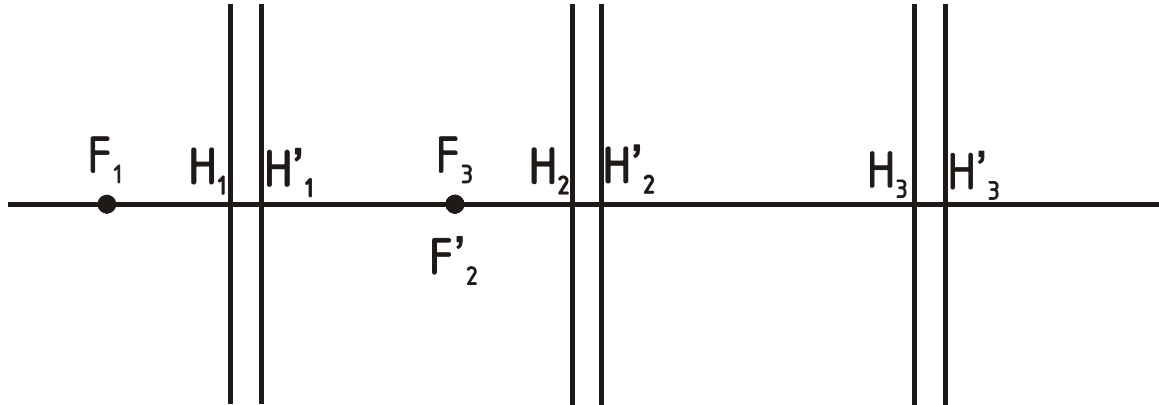
211.

Опред. (•)  $F_{экв}$  - ?  $H_{экв}$  - ?



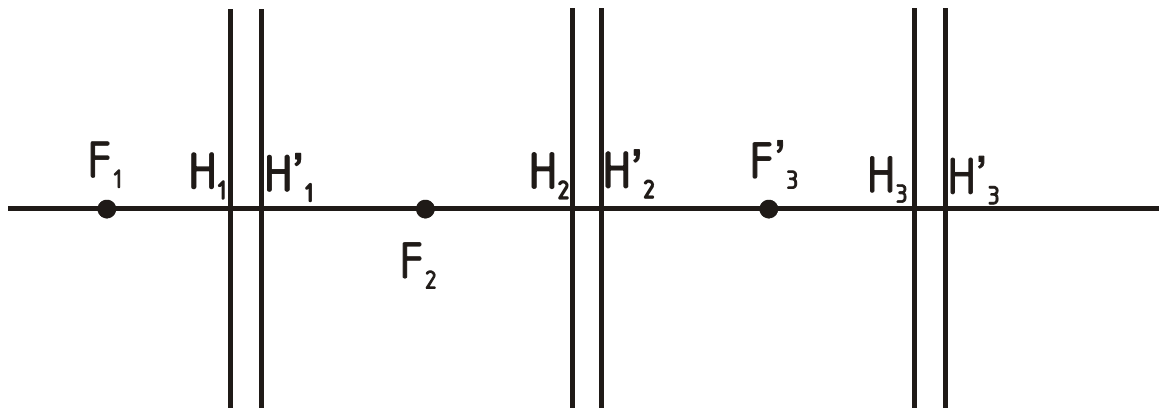
212.

Опред. (•)  $F_{экв}$  -?  $H_{экв}$  -?

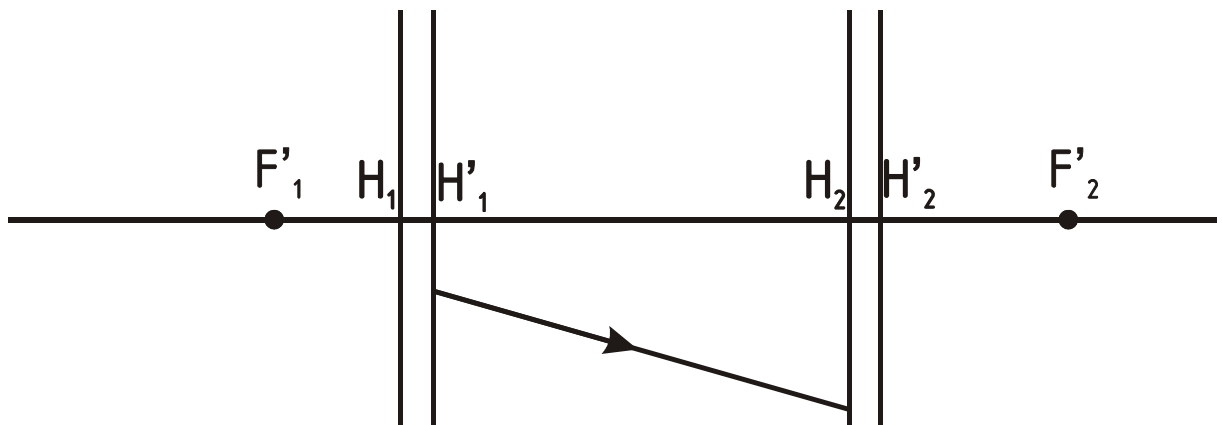


213.

Опред. (•)  $F_{экв}$  -?  $H_{экв}$  -?



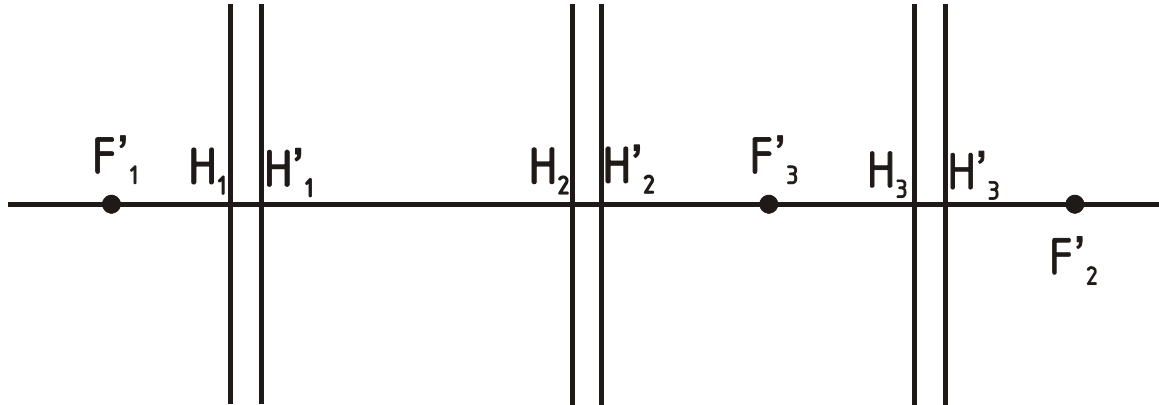
214. Построить луч через всю систему.





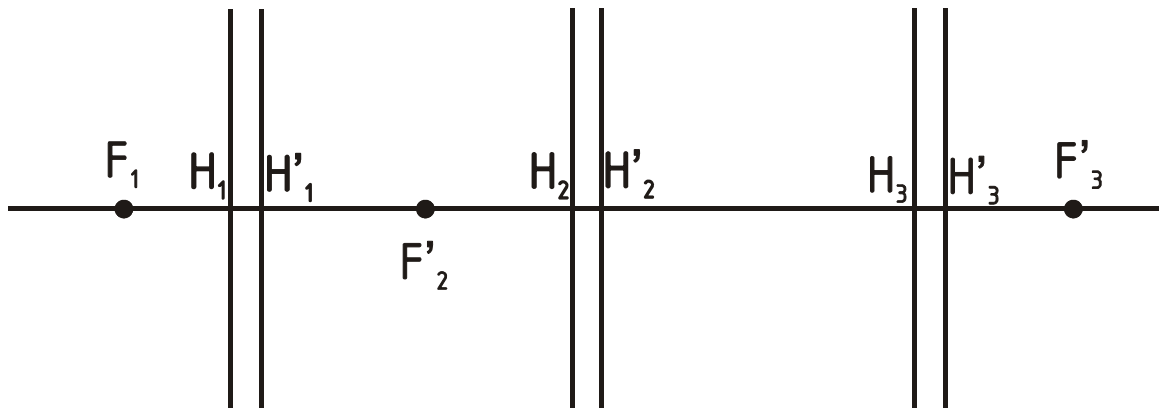
215.

Опред. (•)  $F_{экв}$  -?  $H_{экв}$  -?

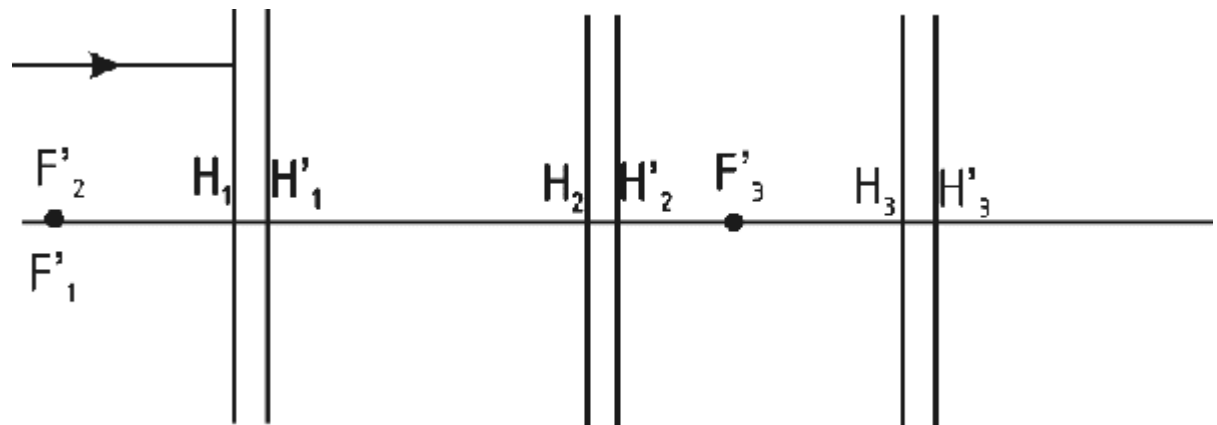


216.

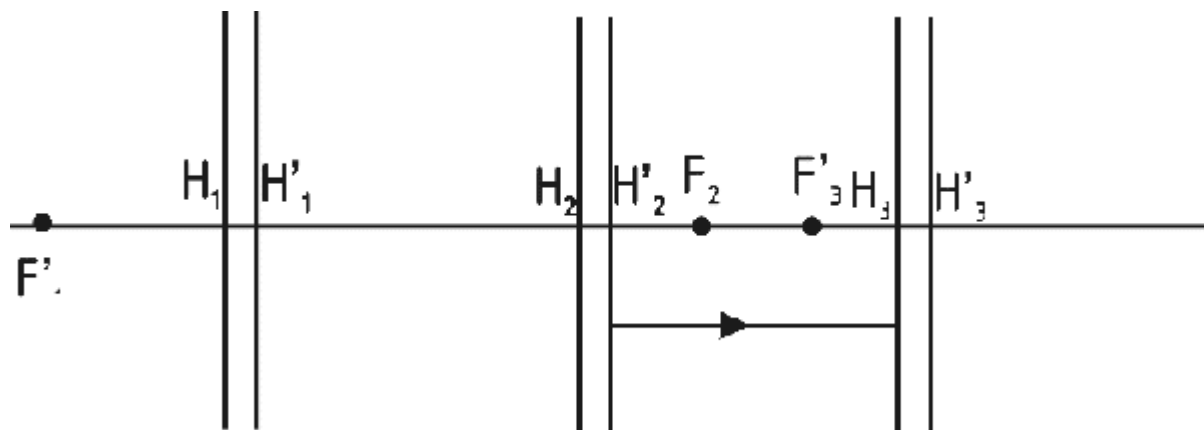
Опред. (•)  $F_{экв}$  -?  $H_{экв}$  -?



217. Построить луч через всю систему.

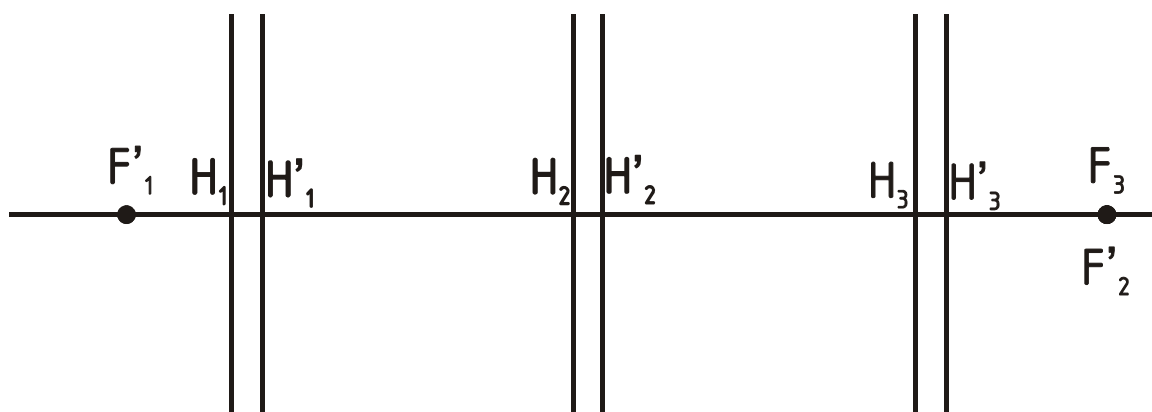


218. Построить луч через всю систему.



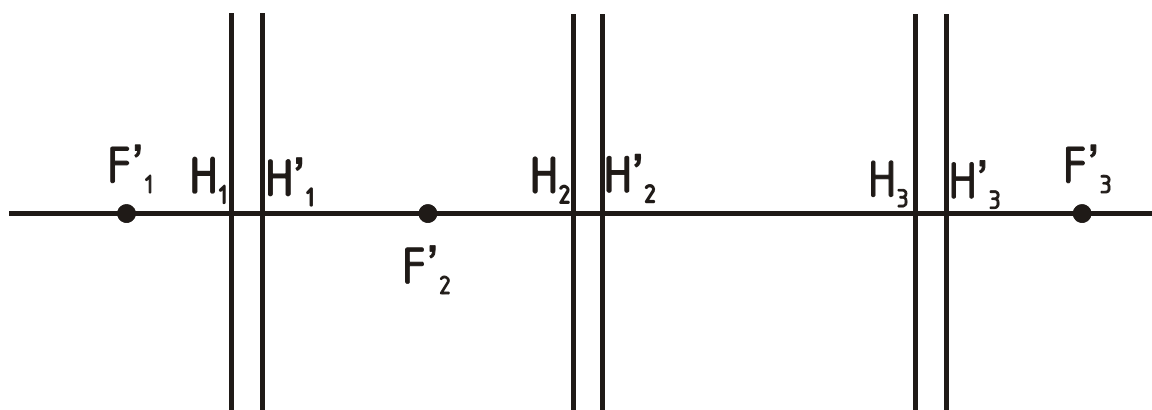
219.

Опред. (•)  $F_{экв}$  - ?  $H_{экв}$  - ?



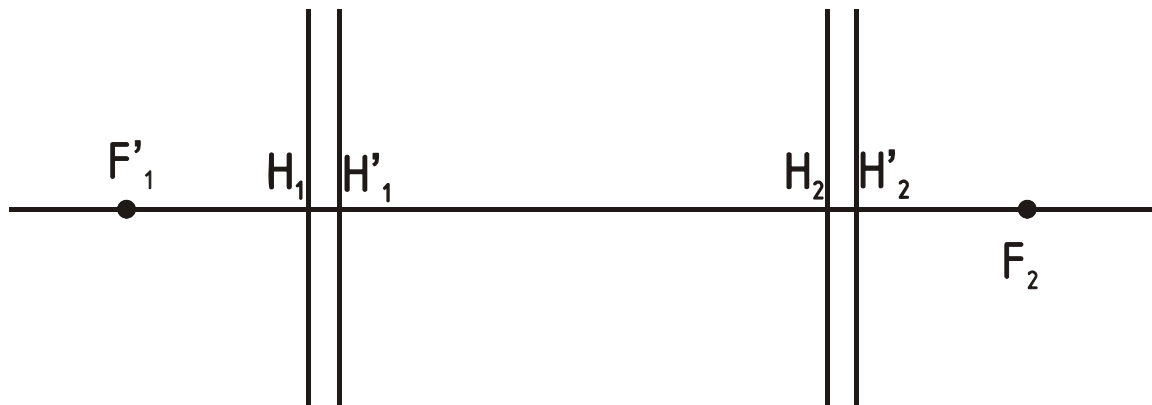
220.

Опред. (•)  $F_{экв}$  - ?  $H_{экв}$  - ?



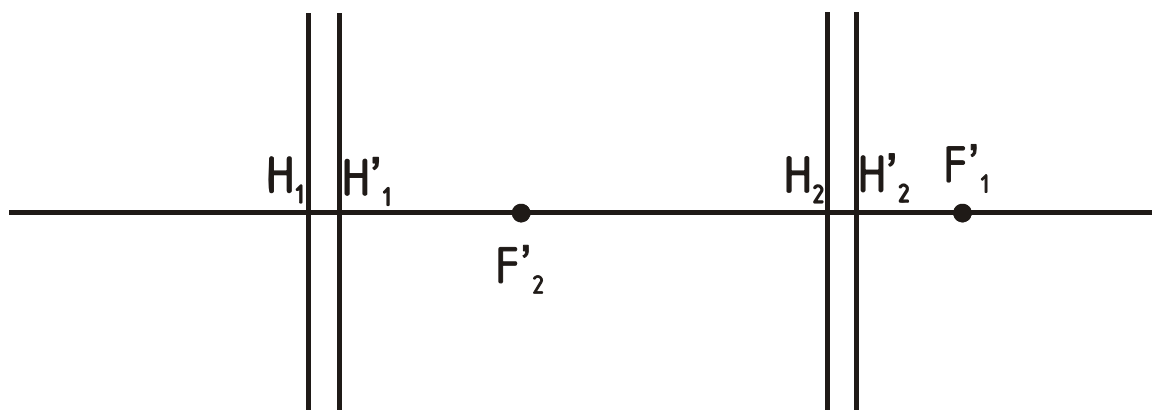
221.

Опред. (•)  $F_{экв}$  -?  $H_{экв}$  -?

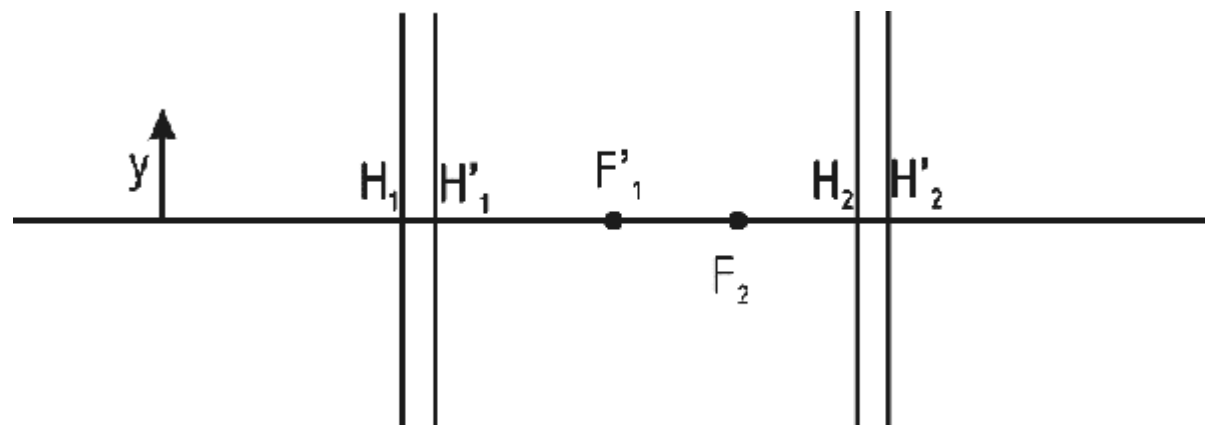


222.

Опред. (•)  $F_{экв}$  -?  $H_{экв}$  -?

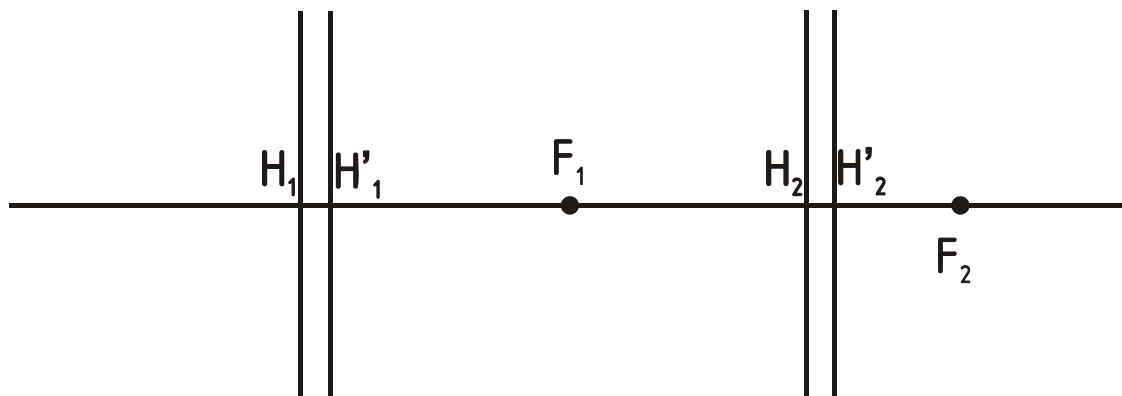


223. Построить изображение  $y'$ .



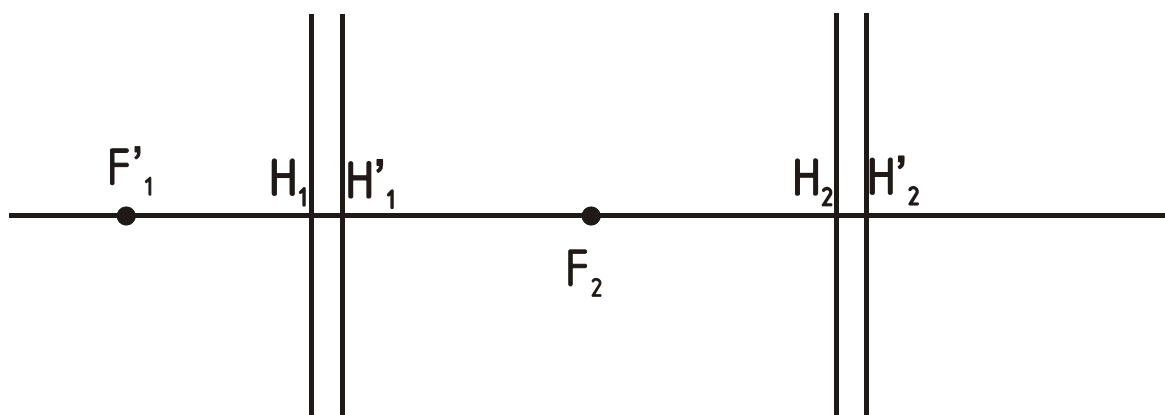
224.

Опред. (•)  $F'_{экв}$  -?  $H'_{экв}$  -?

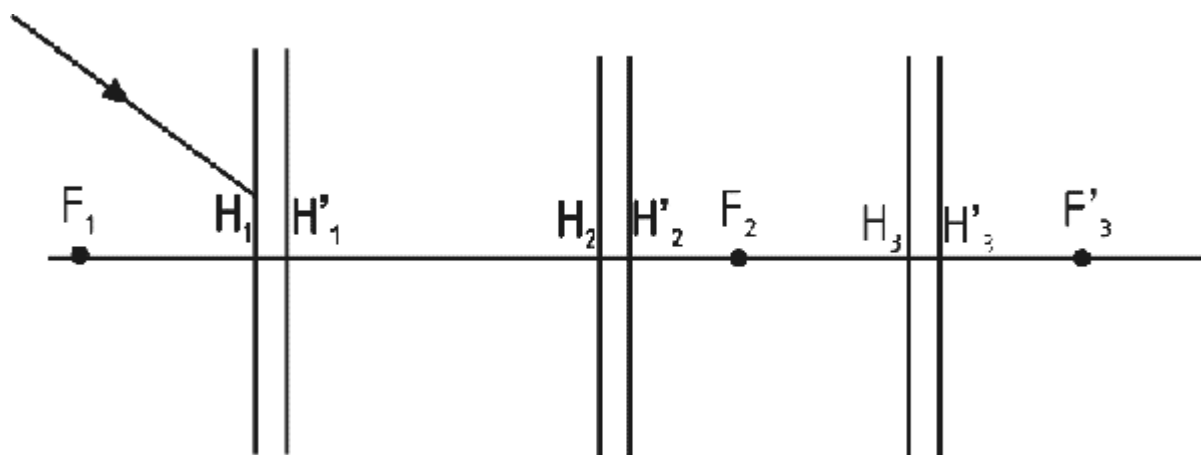


225.

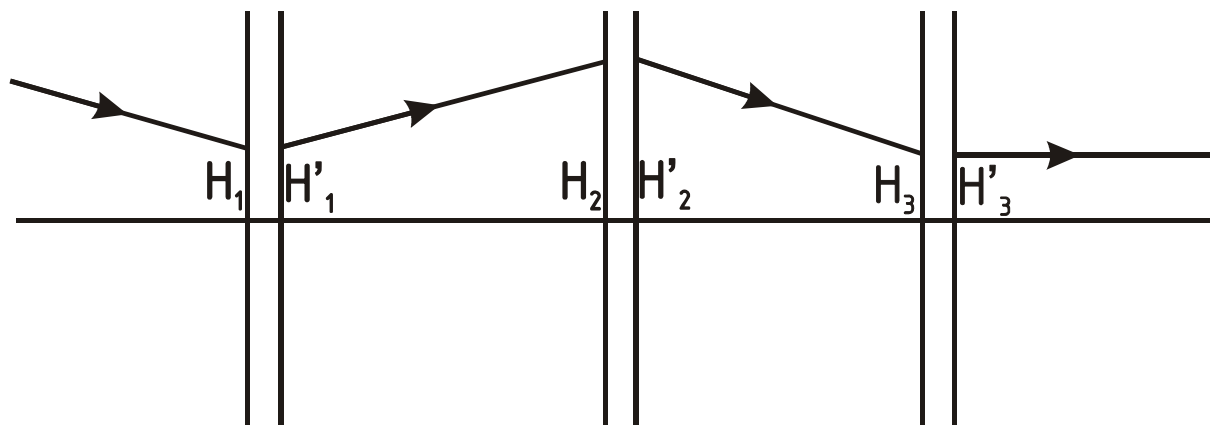
Опред. (•)  $F'_{экв}$  -?  $H'_{экв}$  -?



226. Построить луч через всю систему.

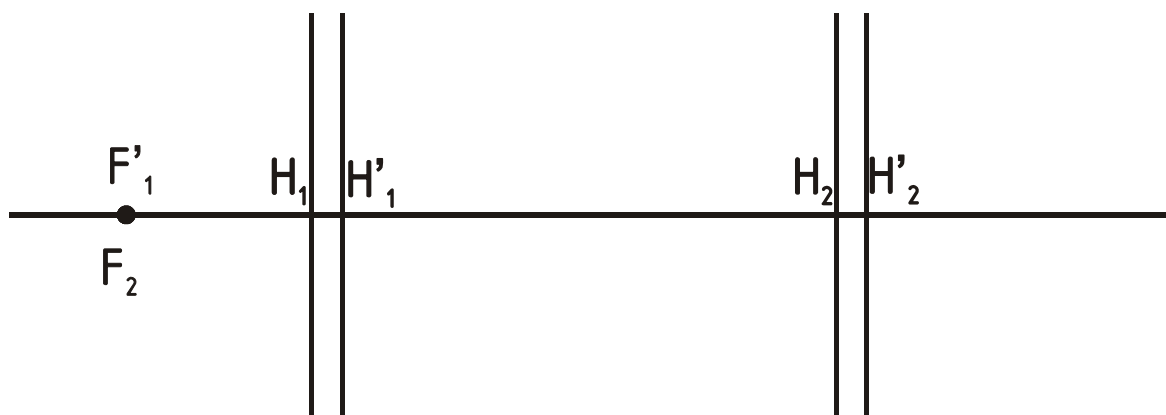


227. Определить положение фокусов каждой линзы.



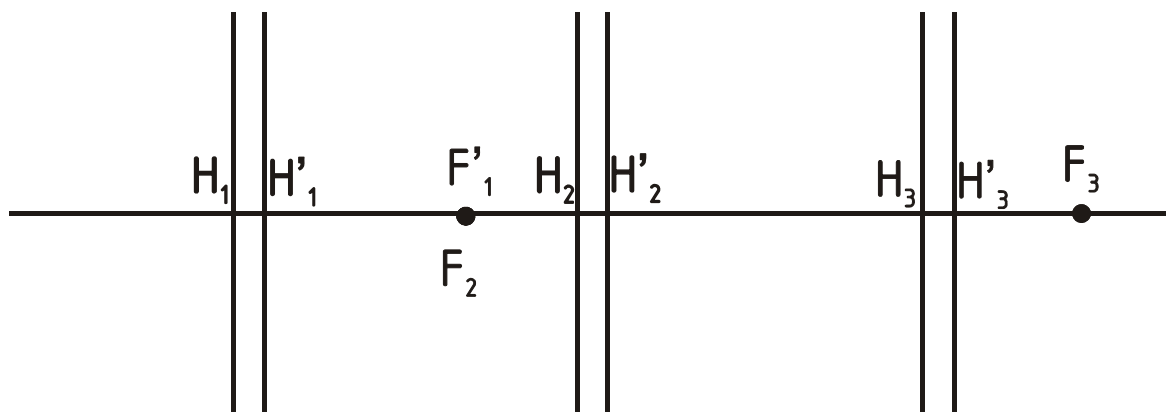
228.

Опред. (•)  $F'_{\text{экв}}$  -?  $H'_{\text{экв}}$  -?



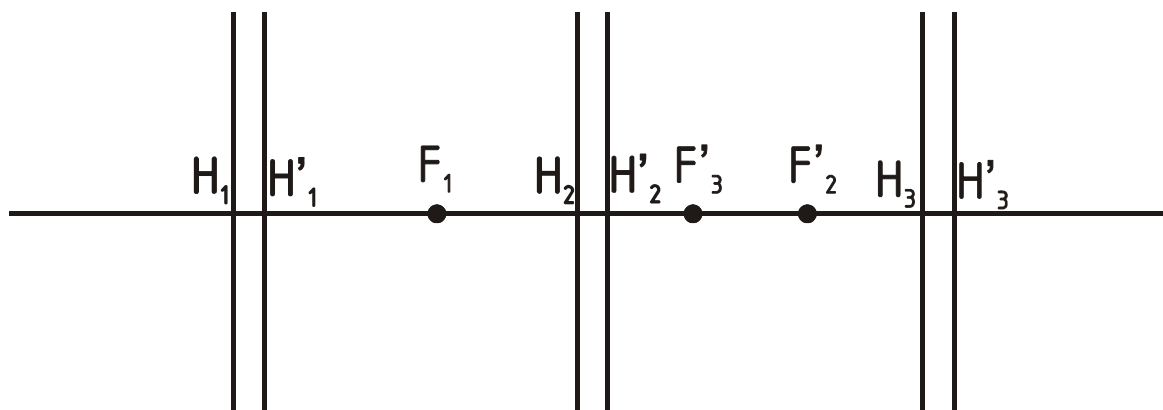
229.

Опред. (•)  $F'_{\text{экв}}$  -?  $H'_{\text{экв}}$  -?



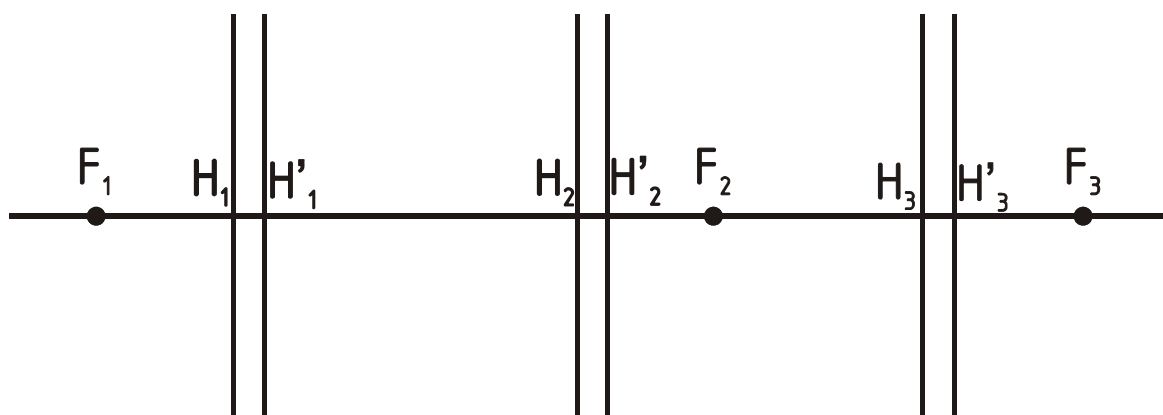
230.

Опред. (•)  $F'_{\text{экв}}$  -?  $H'_{\text{экв}}$  -?

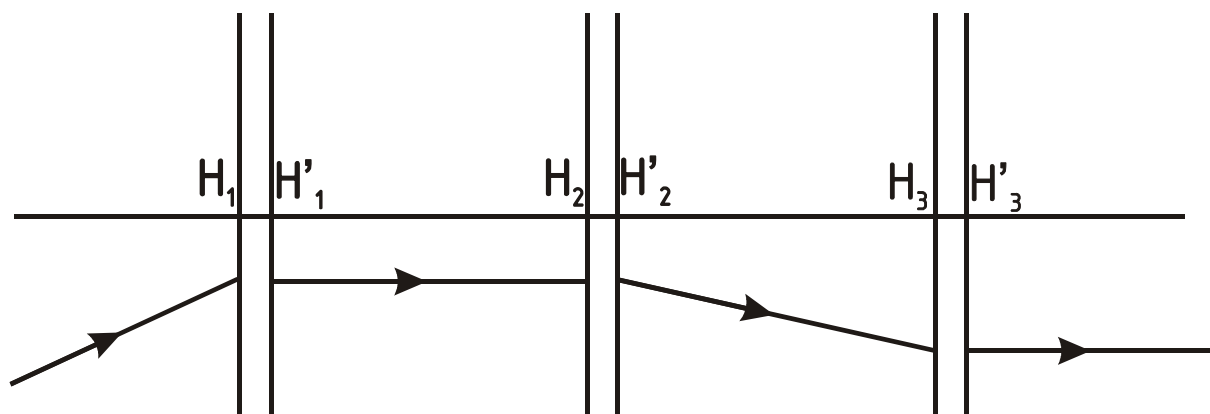


231.

Опред. (•)  $F'_{\text{экв}}$  -?  $H'_{\text{экв}}$  -?

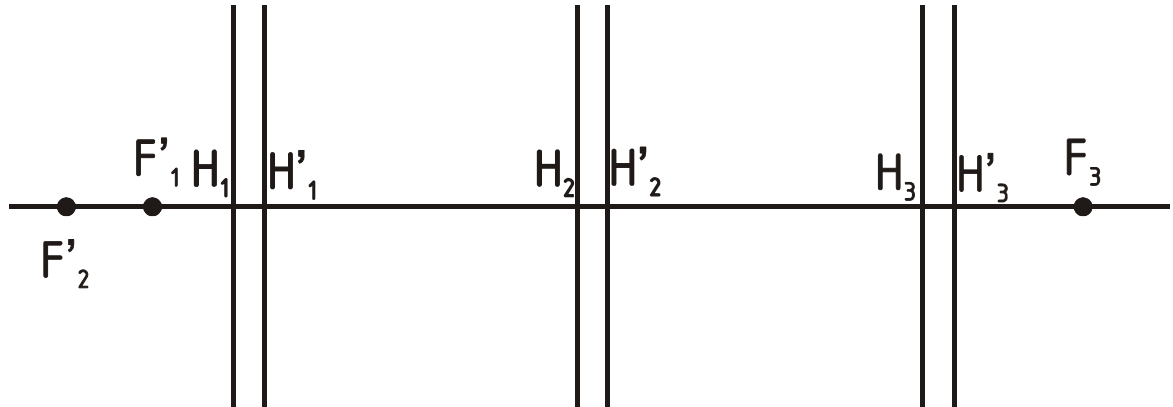


232. Определить положение фокусов каждой линзы.



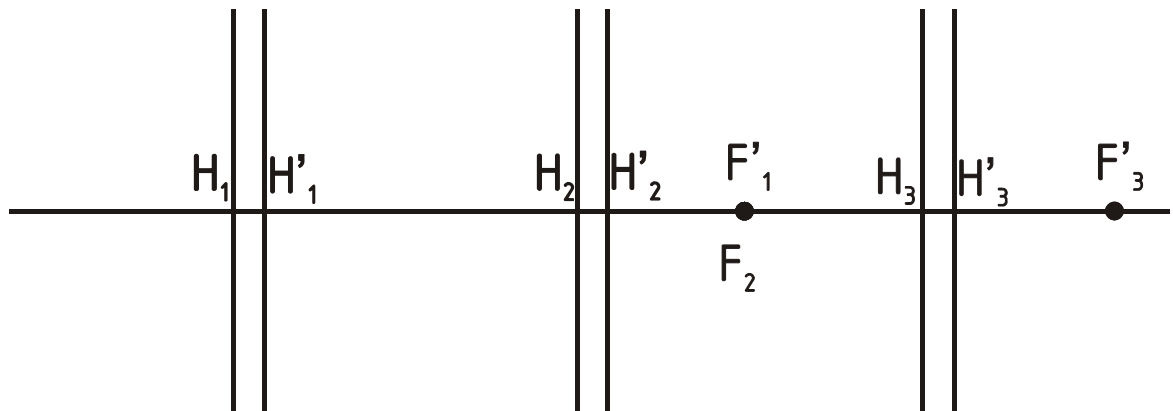
233.

Опред. (•)  $F'_{\text{экв}}$  -?  $H'_{\text{экв}}$  -?

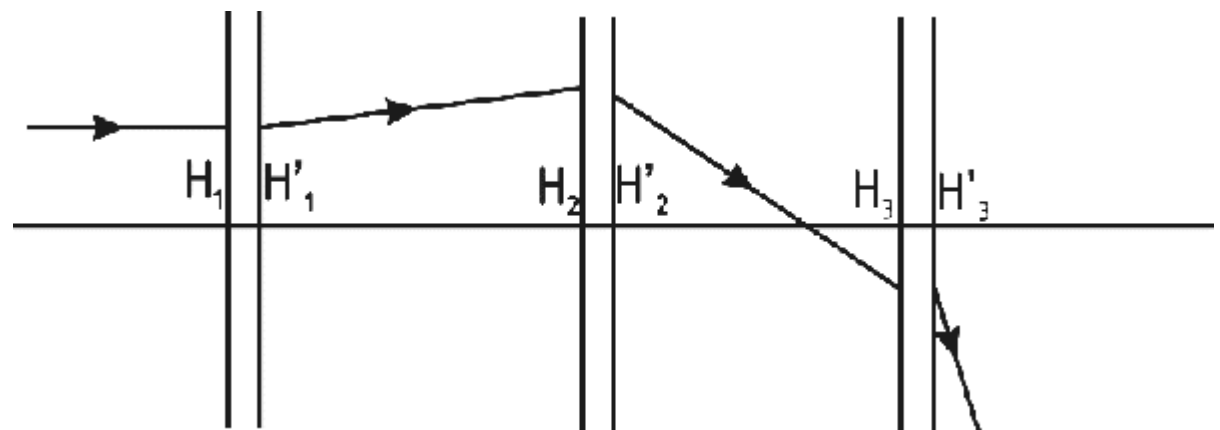


234.

Опред. (•)  $F'_{\text{экв}}$  -?  $H'_{\text{экв}}$  -?

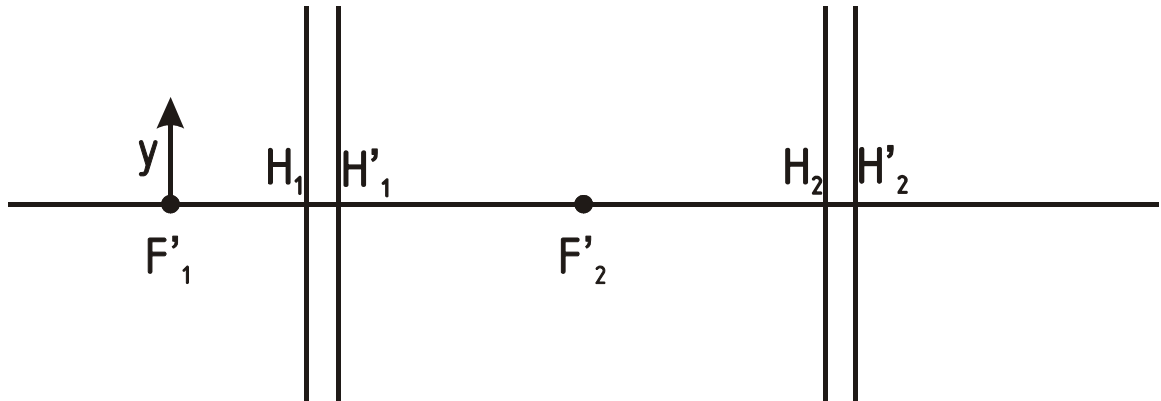


235. Определить положение фокусов каждой линзы.

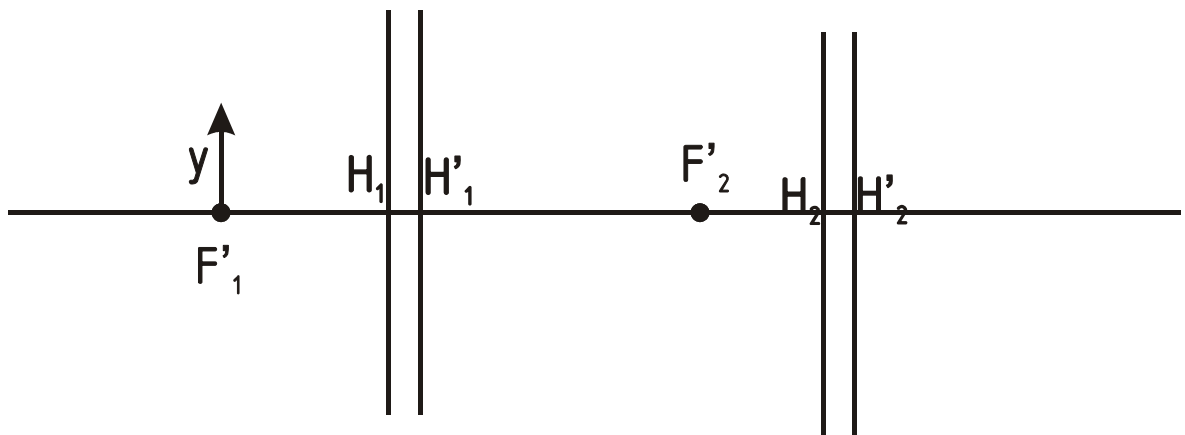


236.

Опред.  $y'$  - ?

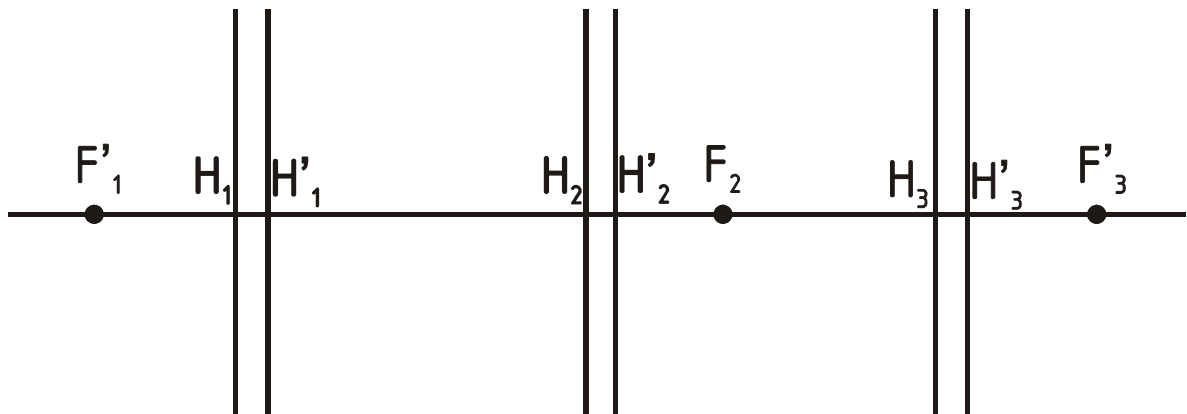


237. Построить изображение заданного предмета



238.

Опред.  $(\bullet)$   $F_{\text{экв}}$  - ?  $H_{\text{экв}}$  - ?





## Практическое занятие №4. Определение параксиальных параметров линз различных типов

Теоретический материал изложен в главе "5. Геометрическая теория оптических изображений. Идеальные оптические системы" [1,2].

### Определение параксиальных характеристик линзы

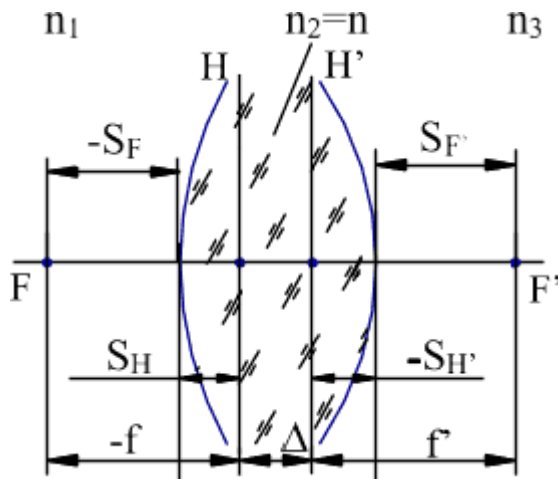


Рис. 1 Линза

Оптическая сила линзы в среде:

$$\Phi = -\frac{n_1}{f} = \frac{n_3}{f'} \quad (1)$$

Если рассматривать линзу в воздухе, то среда - однородная т.е.

$$n_1 = n_3 = 1$$

Сила линзы:

$$\Phi = (n-1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \frac{(n-1)^2 d}{r_1 r_2 n} \quad (2)$$

Выражение для расчета заднего фокусного расстояния линзы:

$$-f = f' = \frac{n \cdot r_1 r_2}{(n-1)[n \cdot (r_2 - r_1) + d(n-1)]} \quad (3)$$

Положение фокальных плоскостей рассчитывается по следующим формулам:

$$S_F = -f' \cdot \left( 1 + \frac{n-1}{n} \cdot \frac{d}{r_2} \right), \quad S'_F = f' \cdot \left( 1 - \frac{n-1}{n} \cdot \frac{d}{r_1} \right) \quad (4)$$

Положение главных плоскостей:

$$S_H = -f' \cdot \frac{n-1}{n} \cdot \frac{d}{r_2}, \quad S'_H = -f' \cdot \frac{n-1}{n} \cdot \frac{d}{r_1} \quad (5)$$

Расстояние между главными плоскостями определяется соотношением:

$$\Delta = \frac{(n-1)^2 d}{n \cdot r_1 r_2} \cdot f'(r_2 - r_1 + d) \quad (6)$$

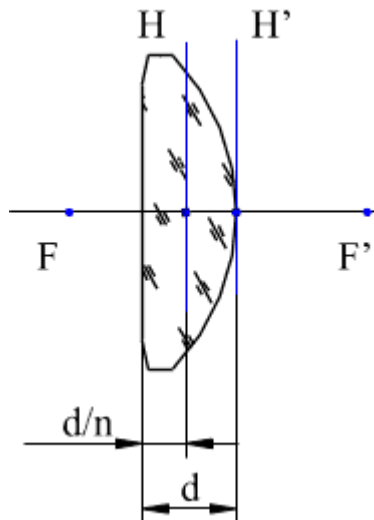
## Определение параксиальных параметров линз с одной плоской поверхностью

Плоско-выпуклая линза

$$\Phi > 0$$

Параксиальные характеристики:

$$\Phi = (n - 1) \cdot \left( -\frac{1}{r_2} \right) \quad S'_F = f' \quad d - \Delta = \frac{d}{n}$$

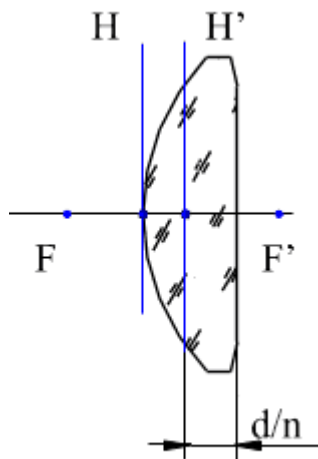


Для линз, у которых одна поверхность плоская, определено одно свойство, вытекающее из соотношений для параксиальных характеристик: через вершину неплоской поверхности проходит главная плоскость.

Другая главная плоскость находится на расстоянии  $d/n$  от плоской поверхности.

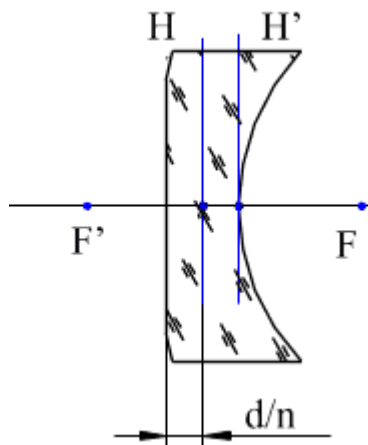
Выпукло-плоская

$$\Phi > 0$$



Плоско-вогнутая

$$\Phi < 0$$



Вогнуто-плоская

$$\Phi < 0$$

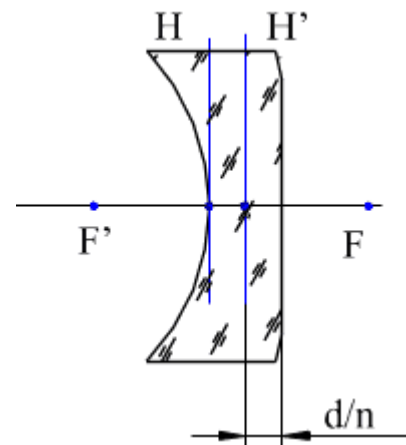
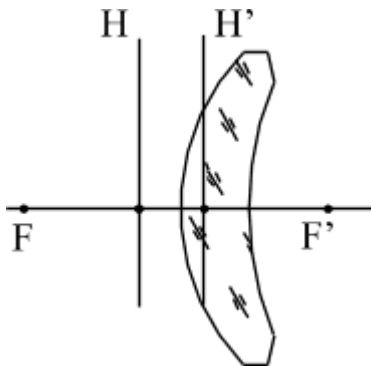


Рис. 2 Линзы с плоской поверхностью

## Определение параксиальных параметров линз-менисков

Выпукло-вогнутый собирающий  
мениск (положительный)

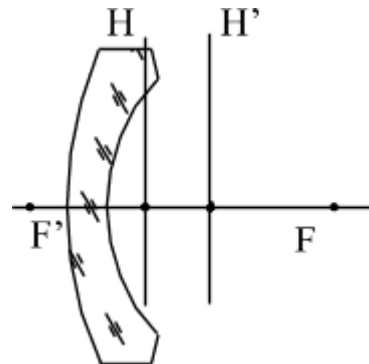
$$\Phi > 0$$



$$|r_1| < |r_2|$$

Выпукло-вогнутый рассеивающий  
мениск (отрицательный)

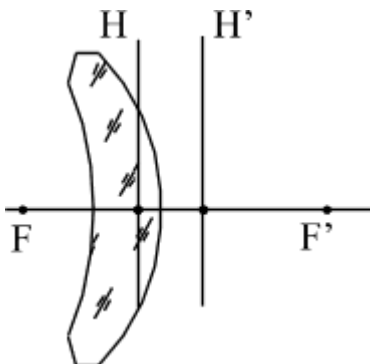
$$\Phi < 0$$



$$|r_1| > |r_2|$$

Вогнуто-выпуклый собирающий  
мениск (положительный)

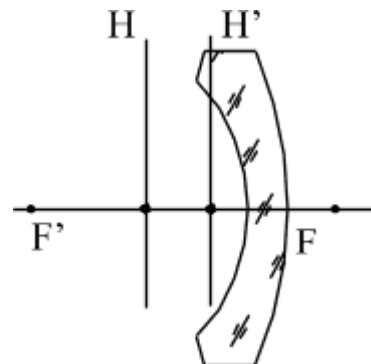
$$\Phi > 0$$



$$|r_1| < |r_2|$$

Вогнуто-выпуклый рассеивающий  
мениск (отрицательный)

$$\Phi < 0$$



$$|r_1| > |r_2|$$

Рис. 3 Линзы-мениски

## Определение параксиальных параметров концентрических линз

Концентрические линзы - это линзы, у которых центры кривизны обеих поверхностей совпадают. Следовательно, толщина линзы рассчитывается по формуле:  $r_1 - r_2 = d$ . При определении параксиальных параметров концентрической линзы, получается совпадение главных плоскостей в центре кривизны обеих поверхностей:

$$\Phi < 0$$

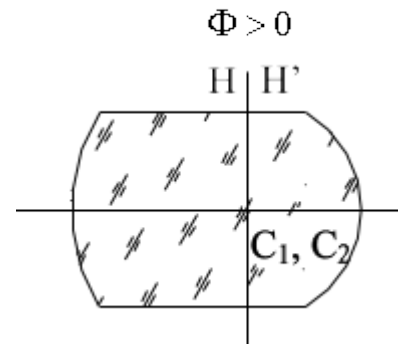
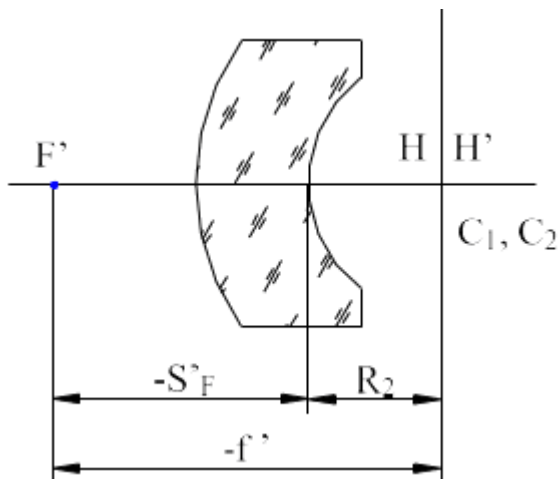


Рис. 4 Концентрические линзы

Оптическая сила:

$$\Phi = \frac{(n-1)}{n} \cdot \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

## Примеры выполнения заданий

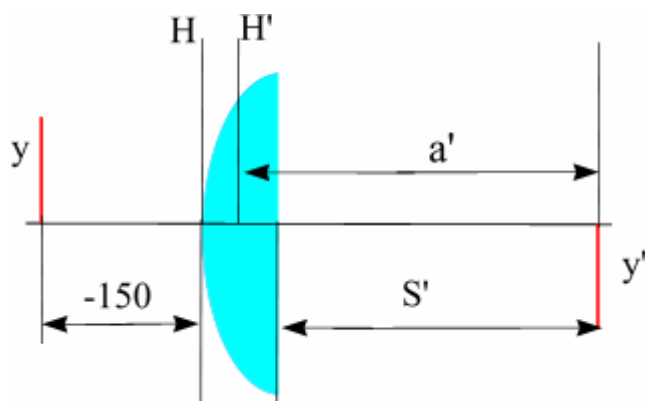
### Задача

Предмет величиной 5 мм находится на расстоянии 150 мм перед выпуклоплоской линзой с радиусом поверхности 50 мм, толщиной 10 мм и показателем преломления 1.5. Определить размер и положение изображения относительно последней поверхности S'.

Решение:

Сначала необходимо определить параксиальные характеристики системы. В соответствии с выше рассмотренными соотношениями, имеем:  $f'=100$ ;  $S_H=0$ ;  $S'_H=-6.67$ .

Это означает, что в нашем примере  $a=s=-150$ .



Определение положения изображения:  $\frac{f'}{a'} + \frac{f}{a} = 1$

$$100/a' = 1 - (-100)/(-150) = 1 - 2/3 = 1/3.$$

$$a' = 300, \text{ значит, } S' = SH' + a' = 293.33 \text{ мм}$$

Определение величины изображения

$$\beta = -f/z, \text{ где } z = S - Sf = S - f = 150 - (-100) = -50 \text{ мм.}$$

$$\beta = -(-100)/(-50) = -2.$$

$$y' = \beta \cdot y = -10 \text{ мм.}$$

**Ответ:  $S' = 293.33$  мм,  $y' = -10$  мм.**

### Задача

Найти показатель преломления плосковыпуклой линзы, если оптическая сила  $\Phi = -12.50$  дптр. Радиус поверхности по абсолютной величине составляет 40 мм.

Решение:

От показателя преломления зависит оптическая сила линзы:

$$\Phi = (n - 1) \cdot \left( -\frac{1}{r_2} \right)$$

$$\text{Преобразуем: } (1 - n) = \Phi \cdot r_2;$$

$$\text{Показатель преломления: } n = 1 - \Phi \cdot r_2 = 1 - (-0.0125 \cdot 40) = 1 + 0.5 = 1.5$$

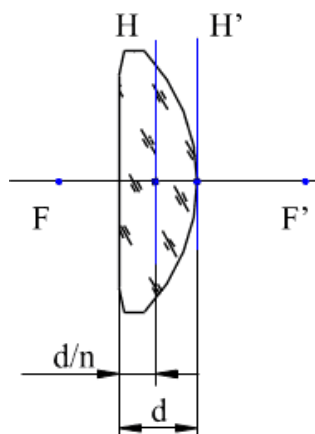
**Ответ:  $n = 1.5$**

### Задача

Определить положение главных плоскостей, фокусное расстояние  $f$  плоско-выпуклой линзы, изготовленной из марки стекла К8, если радиус ее сферической поверхности равен  $r = -160$  мм, а толщина по оси  $d = 10$  мм.

Решение:

Сделаем рисунок плоско-выпуклой линзы:



Преобразуем формулу для силы линзы с учетом того, что  $r_1 = \infty$ ,  $n_D = 1,5163$  для стекла К8.

$$\mathcal{C} = \frac{1}{f'} = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) + \frac{(n-1)^2 d}{n \cdot r_1 \cdot r_2} = -\frac{(n-1)}{r} \rightarrow$$

$$f' = -\frac{r}{n-1} = -\frac{-160}{0,5163} = 310,07$$

$$S'_H = -f' \frac{(n-1)d}{nr_1} = 0; \quad S_H = \frac{d}{n} = \frac{10}{1,5163} = 6,5\text{мм}$$

Ответ:  $S_H = 6,5\text{мм}$ ;  $S'_H = 0$ ;  $f' = 310,07\text{мм}$

### Задача

Определить радиус сферической поверхности плоско-выпуклой линзы, если показатель преломления стекла  $n=1,5$  и задний фокальный отрезок  $S'_F = 150\text{мм}$ .

Запишем формулу для отрезка  $S'_F$ , если  $r_1 = \infty$ :

$$S'_F = f' \left(1 - \frac{(n-1)d}{r_1}\right) = f', \text{ следовательно } f' = 150.$$

Оптическая сила плоско-выпуклой линзы:

$$\mathcal{C} = \frac{1}{f'} = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) + \frac{(n-1)^2 d}{nr_1 r_2} = -\frac{(n-1)}{r};$$

Определить радиус сферической поверхности из предыдущей формулы

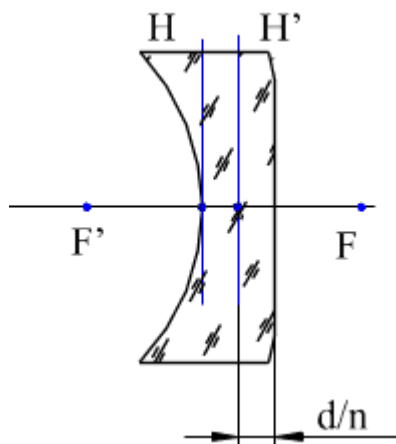
$$r = -f'(n-1) = -150 \cdot 0,5 = -75.$$

Ответ:  $r = -75\text{мм}$ .

### Задача

Предмет находится перед вогнуто-плоской линзой на расстоянии  $S = -60\text{мм}$ , фокусное расстояние линзы  $f' = -50\text{мм}$ ,  $n = 1,5$ ,  $d = 9$ . Определить положение изображения  $S$  от последней поверхности линзы.

Сделаем рисунок линзы:



Главная плоскость вогнуто-плоской линзы проходит через вершину вогнутой поверхности, поэтому:

$$a = S = -60\text{мм}.$$

По формуле отрезков находим положение изображения от задней главной плоскости:

$$\frac{1}{a'} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f'} \rightarrow a' = -27,2\text{мм}$$

Задняя главная плоскость вогнуто-плоской линзы находится на расстоянии  $d/n$  от плоской поверхности:

$$S'_H = -\frac{d}{n} = -\frac{9}{1,5} = -6,0\text{мм}$$

Расстояние изображения от последней поверхности линзы

$$S' = +a' + S'_H = -27,2 - 6,0 = -33,2\text{мм}$$

**Ответ:  $S' = -33,2\text{мм}$**

---

### Задача

Линза имеет следующие характеристики:  $f' = 50\text{мм}$ ,  $S_F = -45\text{мм}$ ,  $S'_F = 47\text{мм}$ . Линейное увеличение  $\beta = -2^x$ . Определить положение предмета  $S$  от первой поверхности линзы и изображение  $S'$  от последней поверхности.

#### Решение

По формулам линейного увеличения  $\beta$  находим отрезки  $Z$  и  $Z'$ :

$$\beta = -\frac{Z'}{f'} = \frac{f'}{Z} \rightarrow Z' = -\beta \cdot f' = 100\text{мм}$$

$$Z = \frac{f'}{\beta} = -25\text{мм},$$

$Z$  – расстояние от переднего фокуса линзы до предмета,  $Z'$  – расстояние от заднего фокуса линзы до изображения.

Определим отрезок  $S$ .  $S = S_F + Z = -45 - 25 = -70\text{мм}$

Определим отрезок  $S'$ .  $S' = S'_F + Z' = 47 + 100 = 147\text{мм}$

Ответ:  $S = -70\text{мм}$ ;  $S' = 147\text{мм}$ .

---

### Задача

Изображение находится на расстоянии  $S' = 40.25$  от вогнуто-выпуклого мениска. Параметры линзы:  $d = 10$ , радиусы : 100 и 15,  $n = 1.5$ . Найти положение предмета ( $s$ ).

#### Решение:

В данном случае сразу же необходимо разобраться со знаками радиусов.  $R_1 = -100$ ,  $R_2 = -15$ .

Параксиальные характеристики системы:  $f' = 33.96$ ;  $S_F = -26.42$ ;  $S'_F = 35.09$

Воспользуемся для расчетов формулой Ньютона:  $f \cdot f' = z \cdot z'$

$s' = z' + S'_F$ , значит,  $z' = s' - S'_F = 40.25 - 35.09 = 5.16$

По формуле Ньютона  $z = f \cdot f' / z' = -223.58$ .

$s = S_F + z = -26.42 - 223.56 = -250\text{ мм}$

Ответ:  $S = -250\text{ мм}$ .

---



## Задача

Фокусное расстояние линзы-шара  $f'=75$  мм. Определить радиус шара, если показатель преломления  $n=1.5$ .

Решение:

Из выражения:

$\Phi=2 \cdot (n-1)/(n \cdot r)$  определим фокусное расстояние линзы-шара:

$$f'=(n \cdot r)/2 \cdot (n-1).$$

Следовательно, радиус:  $r=f' \cdot 2 \cdot (n-1)/n$ .

Расчеты:

$$r=75 \cdot 2 \cdot (1.5-1)/1.5=50 \text{ (мм)}.$$

**Ответ: Радиус линзы-шара 50 мм.**

---

## Задачи для самостоятельной работы

1. Вывести формулы для определения параксиальных характеристик плосковогнутой линзы.
2. Вывести формулы для определения параксиальных характеристик выпуклоплоской линзы.
3. Вывести формулы для определения параксиальных характеристик вогнутоплоской линзы.
4. Вывести формулы для определения параксиальных характеристик концентрической линзы.
5. Найти радиус поверхности вогнутоплоской линзы, если известно, что показатель преломления стекла 1.5, заднее фокусное расстояние  $f'=-80$  мм. Ответ дать в мм.
6. Линейное увеличение  $\beta=0.21$ . Предмет находится на расстоянии  $z=-380$  мм от передней фокальной плоскости вогнутоплоской линзы. Найти заднее фокусное расстояние линзы. Ответ дать в мм.
7. Положение предмета относительно передней главной плоскости  $a=-300$  мм. Фокусное расстояние системы  $f'=-80$  мм. Найти положение изображения относительно задней главной плоскости. Ответ дать в мм.
8. Найти показатель преломления плосковыпуклой линзы, если оптическая сила  $\Phi=25$  дптр. Радиус поверхности по абсолютной величине 20 мм.
9. Найти радиус поверхности плосковыпуклой линзы, если известно, что показатель преломления стекла 1.5, заднее фокусное расстояние 40 мм. Ответ дать в мм.

10. Найти толщину плосковыпуклой линзы, если известно, что  $n=1.5$ , а положение передней главной плоскости  $S_H=4\text{ мм}$ . Ответ дать в мм.

11. Линейное увеличение  $\beta=-0.62$ . Предмет находится на расстоянии  $-64\text{ мм}$  от передней фокальной плоскости плосковыпуклой линзы. Найти заднее фокусное расстояние линзы. Ответ дать в мм.

12. Перед линзой на расстоянии  $100\text{ мм}$  находится предмет. Параметры линзы  $d=6\text{ мм}$ ,  $r_2=-20$ , первая поверхность - плоская,  $n=1.5$ . Найти положение изображения ( $s'$ ). Ответ дать в мм.

13. Изображение находится на расстоянии  $S'=65\text{ мм}$ . Параметры линзы:  $d=6\text{ мм}$ , первая поверхность - плоская,  $r_2=-20\text{ мм}$ ,  $n=1.5$ . Найти положение предмета ( $s$ ). Ответ дать в мм.

14. Положение предмета относительно передней главной плоскости  $a=-104\text{ мм}$ . Фокусное расстояние системы  $f'=40\text{ мм}$ . Найти положение изображения относительно задней главной плоскости. Ответ дать в мм.

15. Линейное увеличение  $\beta=0.5$ . Предмет находится на расстоянии  $z=-30\text{ мм}$  от передней фокальной плоскости вогнутоплоской линзы. Найти заднее фокусное расстояние линзы. Ответ дать в мм.

16. Положение предмета относительно передней главной плоскости  $a=-110\text{ мм}$ . Фокусное расстояние системы  $f'=40\text{ мм}$ . Найти положение изображения относительно задней главной плоскости. Ответ дать в мм.

17. Найти радиус поверхности плосковыпуклой линзы, если известно, что показатель преломления стекла  $1.5$ , заднее фокусное расстояние  $100\text{ мм}$ . Ответ дать в мм.

18. Найти толщину плосковыпуклой линзы, если известно, что  $n=1.6$ , а положение передней главной плоскости  $S_H=6\text{ мм}$ . Ответ дать в мм.

19. Линейное увеличение  $\beta=-2$ . Предмет находится на расстоянии  $z=-190\text{ мм}$  от передней фокальной плоскости плосковыпуклой линзы. Найти заднее фокусное расстояние линзы. Ответ дать в мм.

20. Перед линзой на расстоянии  $161\text{ мм}$  находится предмет. Параметры линзы:  $d=3.4\text{ мм}$ ,  $r_2=-105$ , первая поверхность - плоская,  $n=1.5$ . Найти положение изображения ( $s'$ ). Ответ дать в мм.

21. Линза в воздухе имеет следующие характеристики:  $f'=50\text{ мм}$ ,  $S'_F=47\text{ мм}$ ,  $S_F=-45\text{ мм}$ , линейное увеличение  $\beta=-2^X$ . Определить положение предмета  $-S$  от первой поверхности линзы и изображения  $S'$  от последней поверхности.

22. Линза в воздухе имеет следующие характеристики:  $f'=45\text{ мм}$ ,  $S'_F=42\text{ мм}$ ,  $S_F=-41\text{ мм}$ , линейное увеличение  $\beta=-1.5^X$ . Определить положение предмета  $-S$  от первой поверхности линзы и изображения  $S'$  от последней поверхности.

23. Линза в воздухе имеет следующие характеристики:  $f' = 45$  мм,  $S_F' = 42$  мм,  $S_F = -41$  мм, линейное увеличение  $\beta = -1^{\times}$ . Определить положение предмета  $-S$  от первой поверхности линзы и изображения  $S'$  от последней поверхности.

24. Линза в воздухе имеет следующие характеристики:  $f' = 52$  мм,  $S_F' = 49$  мм,  $S_F = -47$  мм, линейное увеличение  $\beta = -2^{\times}$ . Определить положение предмета  $-S$  от первой поверхности линзы и изображения  $S'$  от последней поверхности.

25. Линза в воздухе имеет следующие характеристики:  $f' = 45$  мм,  $S_F' = 42$  мм,  $S_F = -43$  мм, линейное увеличение  $\beta = -1.7^{\times}$ . Определить положение предмета  $-S$  от первой поверхности линзы и изображения  $S'$  от последней поверхности.

26. Линза в воздухе имеет следующие характеристики:  $f' = 45$  мм,  $S_F' = 42$  мм,  $S_F = -43$  мм, линейное увеличение  $\beta = +1.5^{\times}$ . Определить положение предмета  $-S$  от первой поверхности линзы и изображения  $S'$  от последней поверхности.

27. Линза в воздухе имеет следующие характеристики:  $f' = 45$  мм,  $S_F' = 42$  мм,  $S_F = -41$  мм, линейное увеличение  $\beta = +1.5^{\times}$ . Определить положение предмета  $-S$  от первой поверхности линзы и изображения  $S'$  от последней поверхности.

28. Линза в воздухе имеет следующие характеристики:  $f' = 52$  мм,  $S_F' = 49$  мм,  $S_F = -47$  мм, линейное увеличение  $\beta = +2^{\times}$ . Определить положение предмета  $-S$  от первой поверхности линзы и изображения  $S'$  от последней поверхности.

29. Линза в воздухе имеет следующие характеристики:  $f' = 45$  мм,  $S_F' = 42$  мм,  $S_F = -43$  мм, линейное увеличение  $\beta = +1.7^{\times}$ . Определить положение предмета  $-S$  от первой поверхности линзы и изображения  $S'$  от последней поверхности.

30. Определить расстояние между двумя линзами, если задний фокус первой линзы (.)  $F_1'$  совпадает с передним фокусом второй линзы (.)  $F_2$ . Известно:  $f_1' = 100$  мм,  $f_2' = 50$  мм,  $S_{H1}' = -3.5$  мм,  $S_{H2} = 2.5$  мм

31. Определить фокусные расстояния  $f$  и  $f'$  и положение главных плоскостей  $S'_H$  и  $S_H$  плоско-выпуклой линзы, изготовленной из стекла марки Ф1, если радиус ее сферической поверхности  $r = -160$  мм, а толщина по оси  $d = 10$  мм.

32. Определить фокусные расстояния  $f$  и  $f'$  и положение главных плоскостей  $S'_H$  и  $S_H$  плоско-выпуклой линзы, изготовленной из стекла марки К8, если радиус ее сферической поверхности  $r = -80$  мм, а толщина по оси  $d = 8$  мм.

33. Определить фокусные расстояния  $f$  и  $f'$  и положение главных плоскостей  $S'_H$  и  $S_H$  плоско-выпуклой линзы, изготовленной из стекла марки ТФ1, если радиус ее сферической поверхности  $r = -60$  мм, а толщина по оси  $d = 6$  мм.

34. Определить фокусные расстояния  $f$  и  $f'$  и положение главных плоскостей  $S'_H$  и  $S_H$  плоско-выпуклой линзы, изготовленной из стекла марки ТК16, если радиус ее сферической поверхности  $r = -75$  мм, а толщина по оси  $d = 8$  мм.

35. Определить фокусные расстояния  $f$  и  $f'$  и положение главных плоскостей  $S'_H$  и  $S_H$  плоско-выпуклой линзы, изготовленной из стекла марки Ф10, если радиус ее сферической поверхности  $r = -85$  мм, а толщина по оси  $d = 10$  мм.



49. Определить фокусные расстояния  $f$  и  $f'$  и положение главных плоскостей  $S'_H$  и  $S_H$  вогнуто-плоской линзы, изготовленной из стекла марки БК8, если радиус ее сферической поверхности  $r = -50$  мм, а толщина по оси  $d = 6$  мм.

50. Определить фокусные расстояния  $f$  и  $f'$  и положение главных плоскостей  $S'_H$  и  $S_H$  вогнуто-плоской линзы, изготовленной из стекла марки ЛК4, если радиус ее сферической поверхности  $r = -30$  мм, а толщина по оси  $d = 5$  мм.

51. Линза расположена в воздухе и имеет следующие конструктивные элементы:  $r_1 = 20$ ;  $r_2 = 15$ ;  $d = 5$ ;  $n = 1.5$ . Плоскость предмета проходит через центр кривизны преломляющих поверхностей линзы. Определить линейное увеличение при перемещении линзы на  $-15$  мм.

52. Линза расположена в воздухе и имеет следующие конструктивные элементы:  $r_1 = 20$ ;  $r_2 = 15$ ;  $d = 5$ ;  $n = 1.5$ . Плоскость предмета проходит через центр кривизны преломляющих поверхностей линзы. Определить линейное увеличение при перемещении линзы на  $-30$  мм.

53. Линза расположена в воздухе и имеет следующие конструктивные элементы:  $r_1 = 20$ ;  $r_2 = 15$ ;  $d = 5$ ;  $n = 1.5$ . Плоскость предмета проходит через центр кривизны преломляющих поверхностей линзы. Определить линейное увеличение при перемещении линзы на  $-40$  мм.

54. Линза расположена в воздухе и имеет следующие конструктивные элементы:  $r_1 = 20$ ;  $r_2 = 15$ ;  $d = 5$ ;  $n = 1.5$ . Плоскость предмета проходит через центр кривизны преломляющих поверхностей линзы. Определить линейное увеличение при перемещении линзы на  $-50$  мм.

55. Линза расположена в воздухе и имеет следующие конструктивные элементы:  $r_1 = 20$ ;  $r_2 = 15$ ;  $d = 5$ ;  $n = 1.5$ . Плоскость предмета проходит через центр кривизны преломляющих поверхностей линзы. Определить линейное увеличение при перемещении линзы на  $20$  мм.

56. Линза расположена в воздухе и имеет следующие конструктивные элементы:  $r_1 = 20$ ;  $r_2 = 15$ ;  $d = 5$ ;  $n = 1.5$ . Плоскость предмета проходит через центр кривизны преломляющих поверхностей линзы. Определить линейное увеличение при перемещении линзы на  $30$  мм.

57. Линза расположена в воздухе и имеет следующие конструктивные элементы:  $r_1 = 20$ ;  $r_2 = 15$ ;  $d = 5$ ;  $n = 1.5$ . Плоскость предмета проходит через центр кривизны преломляющих поверхностей линзы. Определить линейное увеличение при перемещении линзы на  $40$  мм.

58. Линза расположена в воздухе и имеет следующие конструктивные элементы:  $r_1 = 20$ ;  $r_2 = 15$ ;  $d = 5$ ;  $n = 1.5$ . Плоскость предмета проходит через центр кривизны преломляющих поверхностей линзы. Определить линейное увеличение при перемещении линзы на  $50$  мм.

59. Линза расположена в воздухе и имеет следующие конструктивные элементы:  $r_1 = 30$ ;  $r_2 = 20$ ;  $d = 10$ ;  $n = 1.5$ . Плоскость предмета проходит через центр

кривизны преломляющих поверхностей линзы. Определить линейное увеличение при перемещении линзы на -25 мм.

60. Линза расположена в воздухе и имеет следующие конструктивные элементы:  $r_1=30$ ;  $r_2=20$ ;  $d=10$ ;  $n=1.5$ . Плоскость предмета проходит через центр кривизны преломляющих поверхностей линзы. Определить линейное увеличение при перемещении линзы на -35 мм.

61. Линза расположена в воздухе и имеет следующие конструктивные элементы:  $r_1=30$ ;  $r_2=20$ ;  $d=10$ ;  $n=1.5$ . Плоскость предмета проходит через центр кривизны преломляющих поверхностей линзы. Определить линейное увеличение при перемещении линзы на -40 мм.

62. Линза расположена в воздухе и имеет следующие конструктивные элементы:  $r_1=30$ ;  $r_2=20$ ;  $d=10$ ;  $n=1.5$ . Плоскость предмета проходит через центр кривизны преломляющих поверхностей линзы. Определить линейное увеличение при перемещении линзы на -45 мм.

63. Линза расположена в воздухе и имеет следующие конструктивные элементы:  $r_1=30$ ;  $r_2=20$ ;  $d=10$ ;  $n=1.5$ . Плоскость предмета проходит через центр кривизны преломляющих поверхностей линзы. Определить линейное увеличение при перемещении линзы на 35 мм.

64. Линза расположена в воздухе и имеет следующие конструктивные элементы:  $r_1=30$ ;  $r_2=20$ ;  $d=10$ ;  $n=1.5$ . Плоскость предмета проходит через центр кривизны преломляющих поверхностей линзы. Определить линейное увеличение при перемещении линзы на 40 мм.

65. Линза расположена в воздухе и имеет следующие конструктивные элементы:  $r_1=30$ ;  $r_2=20$ ;  $d=10$ ;  $n=1.5$ . Плоскость предмета проходит через центр кривизны преломляющих поверхностей линзы. Определить линейное увеличение при перемещении линзы на 50 мм.

66. Линза расположена в воздухе и имеет следующие конструктивные элементы:  $r_1=30$ ;  $r_2=20$ ;  $d=10$ ;  $n=1.5$ . Плоскость предмета проходит через центр кривизны преломляющих поверхностей линзы. Определить линейное увеличение при перемещении линзы на 60 мм.

67. Линза расположена в воздухе, её конструктивные элементы:  $f=100$ ;  $r_2=80$ ;  $d=20$ ;  $n=1.5$ . Определить фокусное расстояние линзы, сделать чертеж, на котором показать положение главных плоскостей.

68. Линза расположена в воздухе, её конструктивные элементы:  $r_1=20$ ;  $r_2=15$ ;  $d=5$ ;  $n=1.5$ . Определить фокусное расстояние линзы, сделать чертеж, на котором показать положение главных плоскостей.

69. Линза расположена в воздухе, её конструктивные элементы:  $r_1=80$ ;  $r_2=60$ ;  $d=20$ ;  $n=1.5$ . Определить фокусное расстояние линзы, сделать чертеж, на котором показать положение главных плоскостей.

70. Линза расположена в воздухе, её конструктивные элементы:  $r_1=40$ ;  $r_2=30$ ;  $d=10$ ;  $n=1.5$ . Определить фокусное расстояние линзы, сделать чертеж, на котором показать положение главных плоскостей.

71. Линза расположена в воздухе, её конструктивные элементы:  $r_1 = -50$ ;  $r_2 = -60$ ;  $d=10$ ;  $n=1.5$ . Определить фокусное расстояние линзы, сделать чертеж, на котором показать положение главных плоскостей.

72. Линза расположена в воздухе, её конструктивные элементы:  $r_1 = -20$ ;  $r_2 = -25$ ;  $d=5$ ;  $n=1.5$ . Определить фокусное расстояние линзы, сделать чертеж, на котором показать положение главных плоскостей.

73. Линза расположена в воздухе, её конструктивные элементы:  $r_1=100$ ;  $r_2=80$ ;  $d=20$ ;  $n=1.5$ . Определить фокусное расстояние линзы, сделать чертеж, на котором показать положение главных плоскостей.

74. Линза расположена в воздухе, её конструктивные элементы:  $r_1 = -16$ ;  $r_2 = -21$ ;  $d=5$ ;  $n=1.5$ . Определить фокусное расстояние линзы, сделать чертеж, на котором показать положение главных плоскостей.

75. Произвольный луч падает на концентрическую линзу по нормали к первой поверхности. Определить угловое увеличение для этого луча.

76. Определить фокусное расстояние  $f$  и  $f'$ , фокальные отрезки  $S'_F$   $S_F$ , положение главных плоскостей  $S'_H$  и  $S_H$  и расстояние между главными плоскостями  $\Delta$  для линзы имеющей следующие конструктивные параметры:  $r_1 = r_2 = 100$ ;  $d=50$ ;  $n=1.5$ .

77. Определить фокусное расстояние  $f$  и  $f'$ , фокальные отрезки  $S'_F$   $S_F$ , положение главных плоскостей  $S'_H$  и  $S_H$  и расстояние между главными плоскостями  $\Delta$  для линзы имеющей следующие конструктивные параметры:  $r_1 = r_2 = 50$ ;  $d=20$ ;  $n=1.5$ .

78. Определить фокусное расстояние  $f$  и  $f'$ , фокальные отрезки  $S'_F$   $S_F$ , положение главных плоскостей  $S'_H$  и  $S_H$  и расстояние между главными плоскостями  $\Delta$  для линзы имеющей следующие конструктивные параметры:  $r_1 = r_2 = 30$ ;  $d=10$ ;  $n=1.5$ .

79. Определить фокусное расстояние  $f$  и  $f'$ , фокальные отрезки  $S'_F$   $S_F$ , положение главных плоскостей  $S'_H$  и  $S_H$  и расстояние между главными плоскостями  $\Delta$  для линзы имеющей следующие конструктивные параметры:  $r_1 = r_2 = 25$ ;  $d=10$ ;  $n=1.5$ .

80. Определить фокусное расстояние  $f$  и  $f'$ , фокальные отрезки  $S'_F$   $S_F$ , положение главных плоскостей  $S'_H$  и  $S_H$  и расстояние между главными плоскостями  $\Delta$  для линзы имеющей следующие конструктивные параметры:  $r_1 = r_2 = 20$ ;  $d=8$ ;  $n=1.5$ .

81. Определить радиус в мм сферической поверхности плоско-выпуклой линзы, если показатель преломления стекла  $n=1.5$  и задний фокальный отрезок  $S'_F=150$  мм.

82. Определить радиус в мм сферической поверхности плоско-вогнутой линзы, если показатель преломления стекла  $n=1.5$  и задний фокальный отрезок  $S'_F=-100$  мм.

83. Определить радиус в мм сферической поверхности плоско-вогнутой линзы, если показатель преломления стекла  $n=1.6$  и задний фокальный отрезок  $S'_F=-60$  мм.

84. Определить радиус в мм сферической поверхности выпукло-плоской линзы, если показатель преломления стекла  $n=1.7$  и передний фокальный отрезок  $S_F=-70$  мм.

85. Определить радиус в мм сферической поверхности вогнуто-плоской линзы, если показатель преломления стекла  $n=1.7$  и передний фокальный отрезок  $S_F=80$  мм.

86. Определить толщину в мм плоско-выпуклой линзы, если показатель преломления стекла  $n=1.5$  а положение передней главной плоскости от плоской поверхности составляет 6 мм.

87. Определить толщину в мм плоско-выпуклой линзы, если показатель преломления стекла  $n=1.6$ , а положение передней главной плоскости от плоской поверхности составляет 7 мм.

88. Определить толщину в мм выпукло-плоской линзы, если показатель преломления стекла  $n=1.5$ , а положение задней главной плоскости  $S'_H=10$  мм.

89. Определить толщину в мм вогнуто-плоской линзы, если показатель преломления стекла  $n=1.7$ , а положение задней главной плоскости  $S'_H=8$  мм.

90. Определить толщину в мм вогнуто-плоской линзы, если показатель преломления стекла  $n=1.6$ , а положение задней главной плоскости от плоской поверхности составляет 8 мм.

91. Предмет находится перед выпукло-плоской линзой на расстоянии  $S=-100$  мм, фокусное расстояние линзы  $f'=50$  мм,  $d=6$  мм,  $n=1.5$ . Определить положение изображения  $S'$  от последней поверхности линзы.

92. Предмет находится перед выпукло-плоской линзой на расстоянии  $S=-80$  мм, фокусное расстояние линзы  $f'=50$  мм,  $d=6$  мм,  $n=1.5$ . Определить положение изображения  $S'$  от последней поверхности линзы.

93. Предмет находится перед выпукло-плоской линзой на расстоянии  $S=-30$  мм, фокусное расстояние линзы  $f'=50$  мм,  $d=6$  мм,  $n=1.5$ . Определить положение изображения  $S'$  от последней поверхности линзы.





107.Изображение находится за плоско-вогнутой линзой на расстоянии  $S' = 100$  мм, фокусное расстояние линзы  $f' = -60$  мм,  $d = 9$  мм,  $n = 1.5$ . Определить положение предмета  $S$  от первой поверхности линзы.

108.Изображение находится за плоско-вогнутой линзой на расстоянии  $S' = 80$  мм, фокусное расстояние линзы  $f' = -60$  мм,  $d = 9$  мм,  $n = 1.5$ . Определить положение предмета  $S$  от первой поверхности линзы.

109.Изображение находится за плоско-вогнутой линзой на расстоянии  $S' = 120$  мм, фокусное расстояние линзы  $f' = -60$  мм,  $d = 9$  мм,  $n = 1.5$ . Определить положение предмета  $S$  от первой поверхности линзы.

110.Изображение находится за плоско-вогнутой линзой на расстоянии  $S' = 180$  мм, фокусное расстояние линзы  $f' = -60$  мм,  $d = 9$  мм,  $n = 1.5$ . Определить положение предмета  $S$  от первой поверхности линзы.

## Практическое занятие № 5. Расчет характеристик оптической системы с использованием матричной оптики

Теоретический материал изложен в главе "6. Матричная теория Гауссовой оптики" [1,2].

### Расчет матрицы Гаусса оптической системы

Значения элементов матрицы Гаусса для сопряженных плоскостей:

**A** носит значение линейного увеличения. Для случая сопряженных опорных плоскостей элемент **B**=0. Элемент **C** не зависит от положения опорных плоскостей и всегда равен оптической силе с обратным знаком. Элемент **D** - величина обратная элементу **A**, и для афокальной системы имеет смысл углового увеличения:

$$D = A^{-1} = \frac{Y'}{Y} = \frac{-n'\alpha'}{-n\alpha} = \frac{n'}{n}W$$

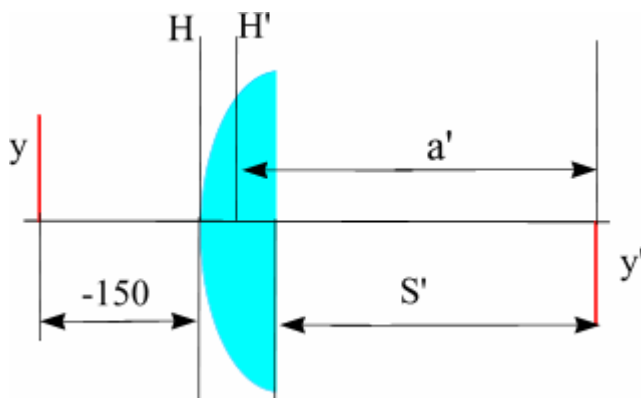
### Примеры решения задач

#### Задача

Предмет величиной 5 мм находится на расстоянии 150 мм перед выпуклоплоской линзой с радиусом поверхности 50 мм, толщиной 10 мм и показателем преломления 1.5. Определить размер и положение изображения относительно последней поверхности S'. Решить задачу с помощью матриц. Осуществить проверку решения.

Решение:

Сначала необходимо определить параксиальные характеристики системы. По соотношениям, приведенным в практической работе 4, получим:  $f'=100$ ;  $S_H=0$ ;  $S'_H=-6.67$ .



Составляем матрицу преобразования лучей системой, опорные плоскости которой расположены в плоскостях предмета и изображения для данной задачи. Очевидно, что преобразований будет три, от предмета до главной плоскости - перенос **T**<sub>0</sub>, на главных плоскостях - преломление **R**<sub>1</sub>, до изображения - перенос **T**<sub>1</sub>.

$$T_0 = \begin{pmatrix} 1 & 150 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} R_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -0.01 & 1 \end{pmatrix} T_1 = \begin{pmatrix} 1 & a' \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Итак, матрицы:

Матрица всей системы  $\mathbf{G} = \mathbf{T}_1 \cdot \mathbf{R}_1 \cdot \mathbf{T}_0$ . Результат произведения матриц даст нам матрицу с одним неизвестным -  $a'$ :

$$\mathbf{G} = \begin{pmatrix} 1 - 0.01 \cdot a' & 150 - 0.5 \cdot a' \\ -0.01 & -0.5 \end{pmatrix}$$

Условие сопряжения опорных плоскостей гласит, что элемент матрицы  $\mathbf{B} = 0$ . Составляем уравнение  $150 - 0.5a' = 0$ , значит,  $a' = 300$ .

$$S' = S'_H + a' = 300 - 6.67 = 293.33 \text{ мм.}$$

Определение величины изображения. Изображение  $y' = y \cdot \beta$

Увеличение системы равно значению элемента  $\mathbf{A}$ .  $\beta = 1 - 3 = -2$ .

$$y' = -2 \cdot 5 = -10.$$

Проверка:

$$\frac{f'}{a'} + \frac{f}{a} = 1;$$

$$100/a' = 1 - (-100)/(-150) = 1 - 2/3 = 1/3;$$

$$a' = 300, \text{ значит, } S' = 293.33 \text{ мм.}$$

$$\beta = \frac{y'}{y} = -\frac{f}{z}, \text{ значит, } \beta = -(-100)/(-50) = -2.$$

Увеличение

**Ответ:**  $S' = 293.33 \text{ мм}$ ,  $y' = -10 \text{ мм}$ .

---

## Задача

Фокусное расстояние линзы  $f' = 100 \text{ мм}$ . Предмет находится на расстоянии  $a = -150 \text{ мм}$  от передней главной плоскости линзы. Изображение формируется на расстоянии  $300 \text{ мм}$  от задней главной плоскости линзы. Найти значения элементов матрицы преобразования лучей при условии, что опорные плоскости совпадают с плоскостями предмета и изображения.

Решение:

Все элементы матрицы имеют свое назначение. Элементы  $\mathbf{A}$  и  $\mathbf{D}$  зависят от линейного увеличения системы.

$$\beta = -f/z = -(-100)/(a-f) = 100/(-150+100) = -2.$$

$$\text{Тогда } \mathbf{A} = -2; \mathbf{D} = 1/\mathbf{A} = -0.5.$$

Необходимо определить силу линзы  $\Phi = 1/f' = 0.01$ , значит  $\mathbf{C} = -0.01$ .

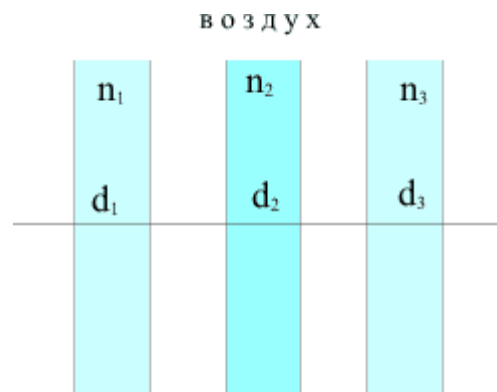
Элемент **B** для сопряженных плоскостей равен 0.

Ответ: Матрица преобразования лучей данной системой:

$$\begin{pmatrix} -2 & 0 \\ -0.01 & -0.5 \end{pmatrix}.$$

### Задача

Пакет плоскопараллельных слоев состоит из трех пластин в воздухе, находящихся на расстоянии 11.00 и 5.00 мм соответственно. Толщины пластин  $d_1=10.5$  ;  $d_2=9.00$  и  $d_3=3.4$  мм. Показатели преломления  $n_1=2.1$  ;  $n_2=1.5$  и  $n_3=1.7$ . Найти матрицу преобразования лучей данной системы.



Решение:

Матрица пакета слоев будет иметь

вид: 
$$T = \begin{pmatrix} 1 & t \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Необходимо определить приведенные толщины слоев  $t$ :  $t_1=10.5/2.1=5$ ;  $t_2=9/1.5=6$ ;  $t_3=2$ . И общая толщина всего пакета слоев равна сумме приведенных толщин и воздушных промежутков:  
 $t=5+11+6+5+2=29$  мм.

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 29 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Ответ: Матрица преобразования пакета:

### Задача

Компонент из трех тонких линз (с нулевыми расстояниями между ними) находится в воздухе. Определить значение элемента **C** матрицы преобразования лучей. Известно, что фокусные расстояния имеют следующие значения:  $f'_1=10$ ,  $f'_2=-20$  и  $f'_3=5$  мм.

Решение

Общая оптическая сила этой системы будет равна сумме отдельных оптических сил. Необходимо определить приведенные силы линз  $\Phi$ :  $\Phi_1=0.1$ ,  $\Phi_2=-0.05$  и  $\Phi_3=0.2$ . Общая суммарная сила системы:  $\Phi=0.3-0.05=0.25$  [1/мм=кдптр].

Элемент матрицы **C**  $=-\Phi=-0.25$ .

Ответ: Элемент матрицы **C**  $=-0.25$ .

### Задача

Оптические силы первого и второго компонентов двухкомпонентной оптической системы равны 10 и 1 дптр соответственно, расстояние между компонентами равно 50 мм. Чему равна оптическая сила системы?

Решение:

Общая оптическая сила этой системы будет равна :  
 $\Phi = 1 + 10 \cdot 1 \cdot 10 \cdot 0.05 = 11 - 0.5 = 10.5$  (дптр).

Ответ: Оптическая сила  $\Phi = 10.5$  дптр.

---

### Задача

Дана афокальная система из двух линз:  $f_1 = 20$  мм,  $f_2 = -40$  мм. Найти угловое увеличение системы.

Решение:

Для афокальных систем угловое увеличение - величина, обратная линейному увеличению.

По соотношениям, известным для линейного увеличения системы, имеем:  $\beta = 40/20 = 2$ .

Соответственно,  $W = 0.5$ .

$$G = \begin{pmatrix} \beta = \frac{y'}{y} = \frac{f_2}{f_1'} & 0 \\ 0 & W = \frac{f_1'}{f_2} \end{pmatrix}$$

Ответ: Линейное увеличение  $\beta = 2$ ; угловое  $W = 0.5$ .

---

### Задача

Перед стеклянным стержнем с выпуклой поверхностью радиусом 20 мм на расстоянии 100 мм расположен предмет. Величина предмета  $u = 10$  мм. Определить величину и положение изображения внутри стеклянного стержня, если показатель преломления среды стержня  $n = 1.5$ .

Решение:

Сначала необходимо определить этапы построения изображения этой системой. Этапов получается три: перенос от предмета до преломляющей поверхности -  $T_0$ , преломление -  $R$ , перенос до изображения -  $T_1$ .

$$T_0 = \begin{pmatrix} 1 & 100 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad T_1 = \begin{pmatrix} 1 & \frac{x}{1.5} \\ 0 & 1 \end{pmatrix};$$

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\Phi & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{(n-1)}{r} & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{(1.5-1)}{20} & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{0.5}{20} & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -0.025 & 1 \end{pmatrix}$$

Произведение матриц даст нам матрицу G преобразования лучей этой системой.

$$\begin{aligned} T_1 \cdot R \cdot T_0 &= T_1 \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -0.025 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 100 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = T_1 \cdot \begin{pmatrix} 1 & 100 \\ -0.025 & -0.025 \cdot 100 + 1 \end{pmatrix} = \\ &= T_1 \cdot \begin{pmatrix} 1 & 100 \\ -0.025 & -1.5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & x \\ 0 & 1.5 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 100 \\ -0.025 & -1.5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - 0.025x/1.5 & 100 - x \\ -0.025 & -1.5 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Положение изображения. Для сопряжения ОП и ОП' условие  $B=0$ .  $100-x=0$ .

Значит,  $x=100$ . Изображение находится на расстоянии 100 мм от края стержня.

Размер изображения:

Величина  $A$  - линейное увеличение, а величина  $D$  - обратная ей.

Значит,  $\beta = 1/-1.5 = -0.66$ . Величина изображения

$y' = \beta \cdot y = -0.66 \cdot 10 = -6.6$  мм.

Изображение будет перевернутым.

**Ответ:** Перевернутое изображение величиной 6.6 мм будет находиться внутри стержня на расстоянии 100 мм от края.

---

### Задача

Оптическая система состоит из двух компонентов, расположенных на расстоянии  $d=100$  мм, фокусное расстояние первого компонента  $f'_1 = -50$  мм, второго компонента  $f'_{2'} = 50$  мм. Определить фокусное расстояние всей системы.

#### Решение

Определим эквивалентную силу оптической системы, состоящей из двух компонентов, по формуле:

$$\Pi = \frac{1}{f'} = \Pi_1 - \Pi_2 - \Pi_1 \Pi_2 d;$$

$$\Pi = -\frac{1}{50} + \frac{1}{50} - \left(-\frac{1}{50}\right)\left(\frac{1}{50}\right) \cdot 100 = \frac{100}{2500} = \frac{1}{25}.$$

Отсюда фокусное расстояние  $f' = 25$  мм.

**Ответ :**  $f' = 25$  мм.

---

## Задачи для самостоятельной работы

1. Афокальная система из двух линз имеет угловое увеличение 0.125. Найти фокусное расстояние второго компонента ( $f'_2$ ), если известно, что фокусное расстояние первого  $f'_1=25$  мм. Ответ дать в мм.
2. Дана афокальная система из двух линз:  $f'_1=25$  мм,  $f'_2=-200$  мм. Найти линейное увеличение системы.
3. Афокальная система из двух линз имеет линейное увеличение 0.250. Найти фокусное расстояние первого компонента, если известно, что фокусное расстояние второго  $f'_2=-6.50$  мм. Ответ дать в мм.
4. Дана афокальная система из двух линз:  $f'_1=26$  мм,  $f'_2=-6.50$  мм. Найти угловое увеличение системы.
5. Афокальная система из двух линз имеет линейное увеличение -0.50. Найти фокусное расстояние первого компонента, если известно, что фокусное расстояние второго  $f'_2=15$  мм. Ответ дать в мм.
6. Дана афокальная система из двух линз:  $f'_1=30$  мм,  $f'_2=15$  мм. Найти угловое увеличение системы.
7. Афокальная система из двух линз имеет угловое увеличение 1.250. Найти фокусное расстояние второго компонента ( $f'_2$ ), если известно, что фокусное расстояние первого  $f'_1=25$  мм. Ответ дать в мм.
8. Дана афокальная система из двух линз:  $f'_1=25$  мм,  $f'_2=-20$  мм. Найти линейное увеличение системы.
9. Пакет плоскопараллельных слоев состоит из трех пластин в воздухе, находящихся на расстоянии 2 и 2 мм соответственно. Толщины пластин  $d_1=15$ ;  $d_2=8$  и  $d_3=3.40$  мм. Показатели преломления  $n_1=1.5$ ;  $n_2=1.6$  и  $n_3=1.7$ . Найти значение элемента матрицы преобразования лучей **B** для данной системы.

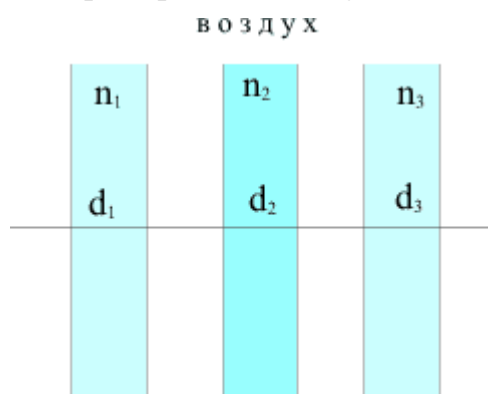


Рис. 5 Пакет плоскопараллельных слоев

10. Пакет плоскопараллельных слоев состоит из трех пластин. Толщины пластин  $d_1=5$ ;  $d_2=8$  и  $d_3=3$  мм. Показатели преломления пластин:  $n_1=4.5$  и  $n_2=1.6$ .



Найти показатель преломления третьей пластинки, если известно, что приведенная толщина пакета слоев=17.

11.Фокусное расстояние линзы  $f'=80$  мм. Предмет находится на расстоянии  $a=-36.67$  мм от передней главной плоскости линзы. Найти значение элемента **A** матрицы преобразования лучей при условии, что опорные плоскости совпадают с плоскостями предмета и изображения.

12.Фокусное расстояние линзы  $f'=80$  мм. Предмет находится на расстоянии  $a=-36.67$  мм от передней главной плоскости линзы. Найти значение элемента **C** матрицы преобразования лучей при условии, что опорные плоскости совпадают с плоскостями предмета и изображения.

13.Фокусное расстояние линзы  $f'=40$  мм. Изображение формируется на расстоянии  $a'=50$  мм от задней главной плоскости линзы. Найти значение элемента **A** матрицы преобразования лучей при условии, что опорные плоскости совпадают с плоскостями предмета и изображения.

14.Фокусное расстояние линзы  $f'=-200$  мм. Найти значение элемента **C** матрицы преобразования лучей при условии, что опорные плоскости совпадают с плоскостями предмета и изображения.

15.Фокусное расстояние линзы  $f'=-200$  мм. Изображение формируется на расстоянии  $a'=-32$  мм от задней главной плоскости линзы. Найти значение элемента **D** матрицы преобразования лучей при условии, что опорные плоскости совпадают с плоскостями предмета и изображения.

16.Пакет плоскопараллельных слоев состоит из трех пластин в воздухе, находящихся на расстоянии 4 и 2 мм соответственно. Толщины пластин  $d_1=3$ ;  $d_2=4$  и  $d_3=3.40$  мм. Показатели преломления  $n_1=1.5$ ;  $n_2=1.6$  и  $n_3=1.7$ . Найти значение элемента матрицы преобразования лучей **B** для данной системы.

17.Дана афокальная система из двух линз:  $f'_1=45$  мм,  $f'_2=-10$  мм. Найти линейное увеличение системы.

18.Фокусное расстояние линзы  $f'=40$  мм. Предмет находится на расстоянии  $a=-100$  мм от передней главной плоскости линзы. Найти значение элемента **A** матрицы преобразования лучей при условии, что опорные плоскости совпадают с плоскостями предмета и изображения.

19.Фокусное расстояние линзы  $f'=280$  мм. Предмет находится на расстоянии  $a=-536$  мм от передней главной плоскости линзы. Найти значение элемента **C** матрицы преобразования лучей при условии, что опорные плоскости совпадают с плоскостями предмета и изображения.

20.Фокусное расстояние линзы  $f'=42$  мм. Изображение формируется на расстоянии  $a'=109$  мм от задней главной плоскости линзы. Найти значение

элемента **D** матрицы преобразования лучей при условии, что опорные плоскости совпадают с плоскостями предмета и изображения.

21. Определить расстояние между двумя линзами, если задний фокус первой линзы ( $F_1'$ ) совпадает с передним фокусом второй линзы ( $F_2$ ). Известно:  $f_1' = 90$  мм,  $f_2' = 30$  мм,  $S_{H1}' = -4.2$  мм,  $S_{H2} = 2.7$  мм

22. Определить расстояние между двумя линзами, если задний фокус первой линзы ( $F_1'$ ) совпадает с передним фокусом второй линзы ( $F_2$ ). Известно:  $f_1' = 120$  мм,  $f_2' = 30$  мм,  $S_{H1}' = -4.3$  мм,  $S_{H2} = 3.2$  мм

23. Определить расстояние между двумя линзами, если задний фокус первой линзы ( $F_1'$ ) совпадает с передним фокусом второй линзы ( $F_2$ ). Известно:  $f_1' = 150$  мм,  $f_2' = 30$  мм,  $S_{H1}' = -3.5$  мм,  $S_{H2} = 3.0$  мм

24. Определить расстояние между двумя линзами, если задний фокус первой линзы ( $F_1'$ ) совпадает с передним фокусом второй линзы ( $F_2$ ). Известно:  $f_1' = 140$  мм,  $f_2' = 20$  мм,  $S_{H1}' = -4.5$  мм,  $S_{H2} = 2.7$  мм

25. Определить расстояние между двумя линзами, если задний фокус первой линзы ( $F_1'$ ) совпадает с передним фокусом второй линзы ( $F_2$ ). Известно:  $f_1' = 90$  мм,  $f_2' = 45$  мм,  $S_{H1}' = -4.0$  мм,  $S_{H2} = 2.2$  мм

26. Определить расстояние между двумя линзами, если задний фокус первой линзы ( $F_1'$ ) совпадает с передним фокусом второй линзы ( $F_2$ ). Известно:  $f_1' = 160$  мм,  $f_2' = 40$  мм,  $S_{H1}' = -5.0$  мм,  $S_{H2} = 2.0$  мм

27. Определить расстояние между двумя линзами, если задний фокус первой линзы ( $F_1'$ ) совпадает с передним фокусом второй линзы ( $F_2$ ). Известно:  $f_1' = 180$  мм,  $f_2' = 30$  мм,  $S_{H1}' = -4.5$  мм,  $S_{H2} = 2.3$  мм

28. Определить расстояние между двумя линзами, если задний фокус первой линзы ( $F_1'$ ) совпадает с передним фокусом второй линзы ( $F_2$ ). Известно:  $f_1' = 180$  мм,  $f_2' = 60$  мм,  $S_{H1}' = -4.7$  мм,  $S_{H2} = 3.3$  мм

29. Определить расстояние между двумя линзами, если задний фокус первой линзы ( $F_1'$ ) совпадает с передним фокусом второй линзы ( $F_2$ ). Известно:  $f_1' = 180$  мм,  $f_2' = 45$  мм,  $S_{H1}' = -5.2$  мм,  $S_{H2} = 3.5$  мм

30. Определить расстояние между двумя линзами, если задний фокус первой линзы ( $F_1'$ ) совпадает с передним фокусом второй линзы ( $F_2$ ). Известно:  $f_1' = 200$  мм,  $f_2' = 40$  мм,  $S_{H1}' = -4.8$  мм,  $S_{H2} = 3.7$  мм

31. Определить расстояние между последней поверхностью первой линзы и первой поверхностью второй линзы, если задний фокус первой линзы ( $F_1'$ ) совпадает с передним фокусом второй линзы ( $F_2$ ). Известно:  $f_1' = 100$  мм,  $f_2' = -50$  мм,  $S_{H1}' = -3.5$  мм,  $S_{H2} = 2.5$  мм

32. Определить расстояние между последней поверхностью первой линзы и первой поверхностью второй линзы, если задний фокус первой линзы ( $F_1'$ )

совпадает с передним фокусом второй линзы (  $\cdot$  )  $F_2$  . Известно:  $f_1'=100$  мм,  $f_2'=-25$  мм,  $S_{H1}'=-4.0$  мм,  $S_{H2}=2.2$  мм

33.Определить расстояние между последней поверхностью первой линзы и первой поверхностью второй линзы, если задний фокус первой линзы  $\times F_1'$  совпадает с передним фокусом второй линзы (  $\cdot$  )  $F_2$  . Известно:  $f_1'=120$  мм,  $f_2'=-60$  мм,  $S_{H1}'=-3.5$  мм,  $S_{H2}=2.6$  мм

34.Определить расстояние между последней поверхностью первой линзы и первой поверхностью второй линзы, если задний фокус первой линзы  $\times F_1'$  совпадает с передним фокусом второй линзы (  $\cdot$  )  $F_2$  . Известно:  $f_1'=140$  мм,  $f_2'=-70$  мм,  $S_{H1}'=-3.0$  мм,  $S_{H2}=2.2$  мм

35.Определить расстояние между последней поверхностью первой линзы и первой поверхностью второй линзы, если задний фокус первой линзы  $\times F_1'$  совпадает с передним фокусом второй линзы (  $\cdot$  )  $F_2$  . Известно:  $f_1'=150$  мм,  $f_2'=-50$  мм,  $S_{H1}'=-4.5$  мм,  $S_{H2}=3.0$  мм

36.Определить расстояние между последней поверхностью первой линзы и первой поверхностью второй линзы, если задний фокус первой линзы  $\times F_1'$  совпадает с передним фокусом второй линзы (  $\cdot$  )  $F_2$  . Известно:  $f_1'=150$  мм,  $f_2'=-75$  мм,  $S_{H1}'=-5.3$  мм,  $S_{H2}=3.5$  мм

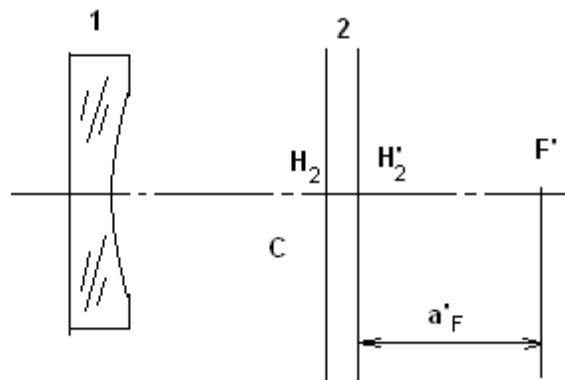
37.Определить расстояние между последней поверхностью первой линзы и первой поверхностью второй линзы, если задний фокус первой линзы  $\times F_1'$  совпадает с передним фокусом второй линзы (  $\cdot$  )  $F_2$  . Известно:  $f_1'=160$  мм,  $f_2'=-80$  мм,  $S_{H1}'=-4.8$  мм,  $S_{H2}=3.0$  мм

38.Определить расстояние между последней поверхностью первой линзы и первой поверхностью второй линзы, если задний фокус первой линзы  $\times F_1'$  совпадает с передним фокусом второй линзы (  $\cdot$  )  $F_2$  . Известно:  $f_1'=160$  мм,  $f_2'=-40$  мм,  $S_{H1}'=-5.0$  мм,  $S_{H2}=3.2$  мм

39.Определить расстояние между последней поверхностью первой линзы и первой поверхностью второй линзы, если задний фокус первой линзы  $\times F_1'$  совпадает с передним фокусом второй линзы (  $\cdot$  )  $F_2$  . Известно:  $f_1'=180$  мм,  $f_2'=-50$  мм,  $S_{H1}'=-6.0$  мм,  $S_{H2}=3.5$  мм

40.Определить расстояние между последней поверхностью первой линзы и первой поверхностью второй линзы, если задний фокус первой линзы  $\times F_1'$  совпадает с передним фокусом второй линзы (  $\cdot$  )  $F_2$  . Известно:  $f_1'=180$  мм,  $f_2'=-60$  мм,  $S_{H1}'=-5.5$  мм,  $S_{H2}=3.0$  мм

41.Перед объективом с оптической силой  $\Phi_2$  поставлена плоско-вогнутая линза. Центр кривизны ее вогнутой поверхности совпадает с главной точкой Н объектива. Определить силу  $\Phi_1$ , радиус  $r_2$  линзы и задний фокальный отрезок  $a'_F$  всей системы, состоящей из линзы и объектива, если известно, что сила  $\Phi_{\text{экв}}$  всей системы равна  $\Phi_2$ .



**Рис. 6 Система из двух компонентов**

42. Оптическая система состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d=100$  мм, фокусное расстояние первого компонента  $f'_1=-50$  мм, второго компонента  $f'_2=50$  мм, определить фокусное расстояние всей системы.

43. Оптическая система состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d=100$  мм, фокусное расстояние первого компонента  $f'_1=-50$  мм, второго компонента  $f'_2=50$  мм, определить задний фокальный отрезок  $a'_F$  всей системы.

44. Оптическая система состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d=100$  мм, фокусное расстояние первого компонента  $f'_1=-50$  мм, второго компонента  $f'_2=50$  мм, определить передний фокальный отрезок  $a_F$  всей системы.

45. Оптическая система состоит из двух тонких компонентов, фокусное расстояние первого компонента  $f'_1=-50$  мм, второго компонента  $f'_2=50$  мм, общее фокусное расстояние системы  $f'=25$  мм, определить расстояние между компонентами

46. Оптическая система состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d=100$  мм, фокусное расстояние первого компонента  $f'_1=-60$  мм, второго компонента  $f'_2=60$  мм, определить фокусное расстояние всей системы.

47. Оптическая система состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d=100$  мм, фокусное расстояние первого компонента  $f'_1=-60$  мм, второго компонента  $f'_2=60$  мм, определить задний фокальный отрезок  $a'_F$  всей системы.

48. Оптическая система состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d=100$  мм, фокусное расстояние первого компонента  $f'_1=-60$  мм, второго компонента  $f'_2=60$  мм, определить передний фокальный отрезок  $a_F$  всей системы.

49. Оптическая система состоит из двух тонких компонентов, фокусное расстояние первого компонента  $f'_1 = -60$  мм, второго компонента  $f'_2 = 60$  мм, общее фокусное расстояние системы  $f' = 36$  мм, определить расстояние между компонентами.

50. Оптическая система состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d = 25$  мм, фокусное расстояние первого компонента  $f'_1 = 50$  мм, второго компонента  $f'_2 = -50$  мм, определить фокусное расстояние всей системы.

51. Оптическая система состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d = 25$  мм, фокусное расстояние первого компонента  $f'_1 = 50$  мм, второго компонента  $f'_2 = -50$  мм, определить задний фокальный отрезок  $a'_F$  всей системы.

52. Оптическая система состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d = 100$  мм, фокусное расстояние первого компонента  $f'_1 = 50$  мм, второго компонента  $f'_2 = -50$  мм, определить передний фокальный отрезок  $a_F$  всей системы.

53. Оптическая система состоит из двух расположенных в воздухе компонентов с фокусными расстояниями: первого компонента  $f'_1 = 100$  мм, второго компонента  $f'_2 = -50$  мм. Изображение бесконечно удаленного объекта должно получиться на расстоянии 200 мм от задней главной плоскости второго компонента. Определить фокусное расстояние всей системы и расстояние между компонентами.

54. Оптическая система состоит из двух расположенных в воздухе компонентов с фокусными расстояниями: первого компонента  $f'_1 = 50$  мм, второго компонента  $f'_2 = -25$  мм. Изображение бесконечно удаленного объекта должно получиться на расстоянии 40 мм от задней главной плоскости второго компонента. Определить фокусное расстояние всей системы и расстояние между компонентами.

55. Оптическая система состоит из двух расположенных в воздухе компонентов с фокусными расстояниями: первого компонента  $f'_1 = 80$  мм, второго компонента  $f'_2 = -40$  мм. Изображение бесконечно удаленного объекта должно получиться на расстоянии 45 мм от задней главной плоскости второго компонента. Определить фокусное расстояние всей системы и расстояние между компонентами.

56. Оптическая система состоит из двух расположенных в воздухе компонентов с фокусными расстояниями: первого компонента  $f'_1 = 50$  мм, второго компонента  $f'_2 = -50$  мм. Изображение бесконечно удаленного объекта должно получиться на расстоянии 12.5 мм от задней главной плоскости второго компонента. Определить фокусное расстояние всей системы и расстояние между компонентами.

57.Объектив состоит из двух одинаковых выпукло-плоских линз. Толщина каждой линзы  $d=6$  мм, показатель преломления  $n=1.5$ . Фокусное расстояние объектива  $f'_{об}=100$  мм,  $a'_F=50$  мм. Определить фокусное расстояние линзы и расстояние между линзами.

58.Объектив состоит из двух одинаковых выпукло-плоских линз. Толщина каждой линзы  $d=7.5$  мм, показатель преломления  $n=1.5$ . Фокусное расстояние объектива  $f'_{об}=100$  мм,  $a'_F=50$  мм. Определить фокусное расстояние линзы и расстояние между линзами.

59.Оптическая система состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d=50$  мм, фокусное расстояние первого компонента  $f'_1=50$  мм, второго компонента  $f'_2=-50$  мм, определить фокусное расстояние всей системы.

60.Оптическая система состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d=10$  мм, фокусное расстояние первого компонента  $f'_1=50$  мм, второго компонента  $f'_2=-50$  мм, определить фокусное расстояние всей системы.

61.Оптическая система состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d=50$  мм, фокусное расстояние первого компонента  $f'_1=50$  мм, второго компонента  $f'_2=-50$  мм, определить задний фокальный отрезок  $a'_F$  всей системы.

62.Объектив состоит из двух одинаковых выпукло-плоских линз. Толщина каждой линзы  $d=50$  мм, показатель преломления  $n=1.5$ . Фокусное расстояние объектива  $f'_{об}=100$  мм,  $a'_F=50$  мм, определить передний фокальный отрезок  $a_F$  всей системы.

## Список литературы

### Основная литература

1. Савельев И.В. Курс физики: учеб. пособие для вузов: в 3 т./И.В. Савельев. – СПб: М.: Краснодар: Лань, 2008. – Т. 2: Электричество. Колебания и волны. Волновая оптика. – 4-е изд., стер., 2008. – 468 с.
2. Погорельский С.Л. Прикладная оптика : учеб.пособие для вузов. Ч.І / С.Л. Погорельский;ТулГУ; Фак. механики и систем управления; Каф."Приборы управления" .— Тула : Гриф и К, 2005 .— 186с.
3. Ландсберг Г.С. Оптика: учебное пособие для вузов/ Г.С. Лансдберг. – 6-е изд., стер. – М.: Физматлит, 2006. – 848 с.

### Дополнительная литература

1. Бондарев Б.В. Курс общей физики: учебное пособие для втузов/ Б.В. Бондарев, Н.П. Калашников, Г.Г. Спирин. – Кн. 2: Электромагнетизм. Оптика. Квантовая физика – 2-е изд., стер. – М.: Высш. Шк. – 2005 – 438 с.
2. Иродов И.Е. Волновые процессы: Основные законы: Учеб. пособие для вузов/ И.Е. Иродов. – 2-е изд., доп. – М.: Лаборатория Базовых Знаний: Юнимедиастайл, 2002. – 264 с.
3. Терешин В.А. Оптика: Учебное пособие / В.А. Терешин: ТулГУ. – Тула, 2000. – 72 с.