

**Н.Д. ТОЛСТОБА, А.О. ВОЗНЕСЕНСКАЯ**

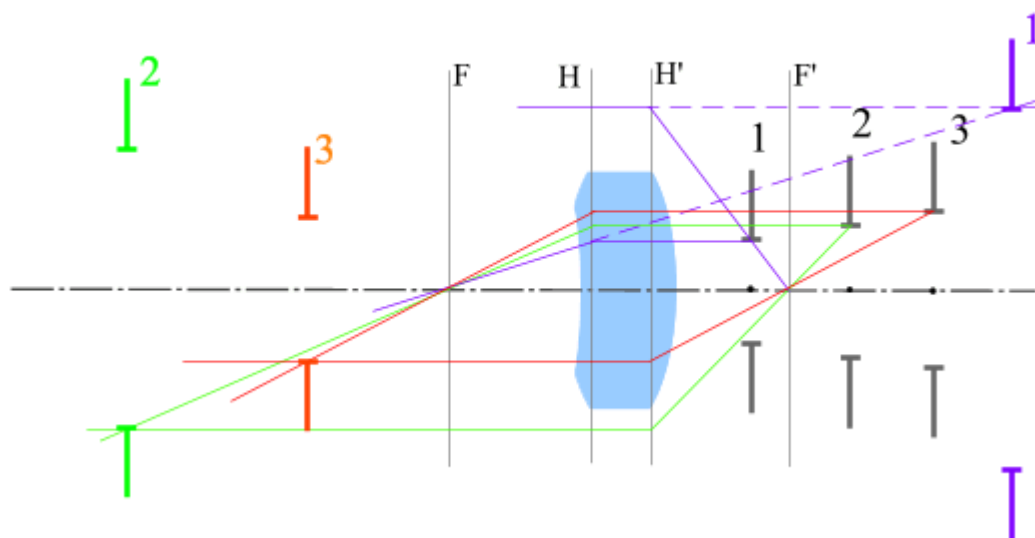
**О.В. БАГДАСАРОВА, А.В. БАХОЛДИН**

**Г.В. КАРПОВА**

# **ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

ЧАСТЬ 2



Санкт-Петербург

2020

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Н.Д. Толстоба, А.О. Вознесенская  
О.В. Багдасарова, А.В. Бахолдин  
Г.В. Карпова

## **ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ  
ЧАСТЬ 2

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО по направлениям подготовки бакалавриата и специалитета 12.03.02 «Оптотехника», 12.03.03 «Фотоника и оптоинформатика», 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии», 12.03.05 «Лазерная техника и лазерные технологии», 16.03.01. «Техническая физика», 12.05.01 «Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения» в качестве учебно-методического пособия для реализации основных образовательных программ высшего образования.



Санкт-Петербург  
2020

Н.Д. Толстоба, А.О. Вознесенская, О.В. Багдасарова, А.В. Бахолдин, Г.В. Карпова **Геометрическая оптика. Учебно-методическое пособие. Часть 2.** - СПб: Университет ИТМО, 2020. – 94 с.

Рецензент: д.т.н., профессор Губанова Л.А., профессор факультета ФиОИ Университета ИТМО

Учебно-методическое пособие предназначено для преподавателей, ведущих практические занятия и лабораторные работы по дисциплине «Геометрическая оптика», и для обучающихся по данной дисциплине. Задания, размещенные в учебно-методическом пособии, направлены на выработку практического опыта решения задач по тематике дисциплины.

Учебно-методическое пособие предназначено для обучающихся по направлениям подготовки бакалавриата и специалитета 12.03.02 «ОпTOTехника», 12.03.03 «Фотоника и оптоинформатика», 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии», 12.03.05 «Лазерная техника и лазерные технологии», 16.03.01. «Техническая физика», 12.05.01 «Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения» в качестве учебно-методического пособия для реализации основных профессиональных образовательных программ высшего образования.

Рекомендовано федеральным учебно-методическим объединением высшего образования по укрупненной группе специальностей и направлений подготовки 12.00.00 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии для реализации образовательных программ высшего образования бакалавриата и специалитета по направлениям подготовки 12.03.02 «ОпTOTехника», 12.03.03 «Фотоника и оптоинформатика», 12.03.05 «Лазерная техника и лазерные технологии», 12.05.01 «Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения». (Протокол № 5 от 15 декабря 2020).



**Университет ИТМО** – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2020

© Н.Д. Толстоба, А.В. Вознесенская, О.В. Багдасарова,  
А.В. Бахолдин, Г.В. Карпова, 2020

# Содержание

<u>Введение</u>	<b>4</b>
<u>Практическое занятие №4. Определение параксиальных параметров линз различных типов</u>	<b>6</b>
<u>Примеры выполнения заданий</u>	9
<u>Задачи для самостоятельной работы</u>	14
<u>Практическое занятие № 5. Расчет характеристик оптической системы с использованием матричной оптики</u>	<b>23</b>
<u>Примеры решения задач</u>	23
<u>Задачи для самостоятельной работы</u>	28
<u>Расчетно-графическая работа «Расчет системы из двух компонентов, находящихся в воздухе»</u>	35
<u>Пример выполнения РГР «Расчёт оптической системы из двух компонентов, находящейся в воздухе»</u>	36
<u>Задания для самостоятельной работы</u>	41
<u>Практическое занятие № 6. Ограничение пучков лучей в оптических системах</u>	<b>54</b>
<u>Примеры решений</u>	54
<u>Задачи для самостоятельной работы</u>	61
<u>Заключение</u>	<b>92</b>
<u>Литература</u>	<b>93</b>

## **Введение**

Дисциплина «Геометрическая оптика» относится к фундаментальному модулю дисциплин и направлена на формирование результатов обучения (умений, навыков), которые являются основой для последующих дисциплин программ бакалавриата и специалитета по ОГНП «Фотоника» и развития общепрофессиональных компетенций: ОПК-1 Способность применять математические, естественнонаучные и общепрофессиональные знания для понимания окружающего мира и для решения задач профессиональной деятельности; ОПК-4 Способность к теоретическим и экспериментальным исследованиям в области профессиональной деятельности, включая постановку эксперимента, верификацию результатов, анализ и интерпретацию данных. Учебно-методическое пособие предназначено для организации и проведения контактной и самостоятельной работы обучающихся, а также оценивания результатов обучения (домашние задания, контрольные работы) по дисциплине «Геометрическая оптика» в соответствии с ее рабочей программой.

Данное учебно-методическое пособие является переработанным, дополненным и обновленным пособием [14].

Обучающиеся совместно с преподавателем изучают разделы в соответствии с рабочей программой дисциплины. Часть материала может быть предоставлена на самостоятельное изучение.

По завершении изучения раздела на домашнюю проработку каждому обучающемуся выдается индивидуальный комплект задач. После изучения темы на домашнюю проработку каждому обучающемуся выдается индивидуальный комплект задач. В данном пособии представлены типовые задачи и показаны способы решения типовых задач по всем подлежащим изучению темам. Самостоятельная работа студента организуется, в том числе, и путем работы с учебно-методическим комплексом, изучения студентами необходимого материала в данном пособии, в конспекте лекций, в электронном учебнике.

### **Модуль 1**

В первом модуле предусматривается три практических занятия и контрольная работа, проводимая на четвертом занятии.

В течение модуля обучающимися под руководством преподавателя и в сотрудничестве с ним должны быть изучены темы «Энергетика световых волн», «Основные законы распространения света», «Построение хода лучей в оптической системе. Основные соотношения параксиальной оптики».

На самостоятельную проработку можно дать тематику «Энергетика световых волн», она хорошо усваивается обучающимися. Проверку полученных знаний необходимо проводить в режиме домашних заданий и контрольных работ. Для работы у доски можно выбрать темы, связанные с

энергетикой световых волн, построение хода лучей в оптической системе, а также решение задач на основные законы распространения света.

Задачи для домашнего задания необходимо выдавать комплектом по 2-3 задачи на разные аспекты изученной тематики.

Для контрольной работы можно отобрать 5 задач по количеству баллов, отводимых на рубежную аттестационную контрольную работу.

## Модуль 2

Во втором модуле так же предусматривается три практических занятия и контрольная работа. В течение модуля изучаются три темы «Определение параксиальных параметров линз различных типов», «Расчет характеристик системы с использованием матричной оптики», «Ограничение пучков лучей в оптических системах».

На самостоятельную проработку можно дать тематику «Расчет характеристик системы с использованием матричной оптики». Для аудиторной работы можно выбрать темы, связанные с ограничением пучков лучей в оптических системах.

В данном модуле запланировано два домашних задания первое – по теме «Определение параксиальных параметров линз различных типов», выдается на 1-2 неделе модуля. Второе – расчетно-графическое задание по тематике «Расчет характеристик системы с использованием матричной оптики», предусматривающее большую расчетно-графическую работу, на которую отведено больше времени СРС. Это задание студенты делают до конца модуля. Таким образом, тема «Ограничение пучков лучей в оптических системах» изучается в аудитории, а также при подготовке к контрольной работе. Домашнее задание по данной тематике не предусмотрено.

Для контрольной работы можно отобрать 5 задач по количеству баллов, отводимых на рубежную аттестационную контрольную работу.

Задачи из данного пособия могут быть использованы в качестве экзаменационных заданий.

## 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

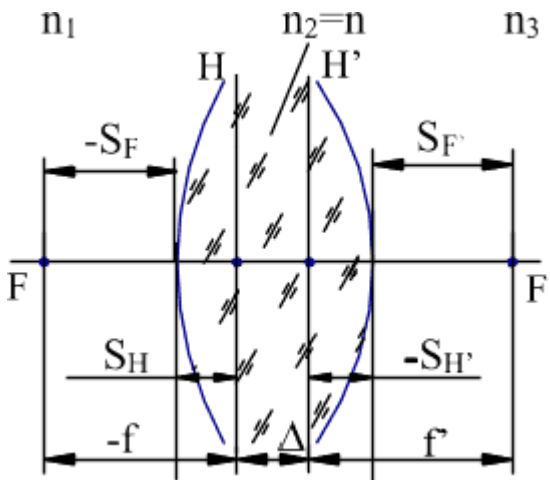


Рис. 1 Линза

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:

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

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:

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

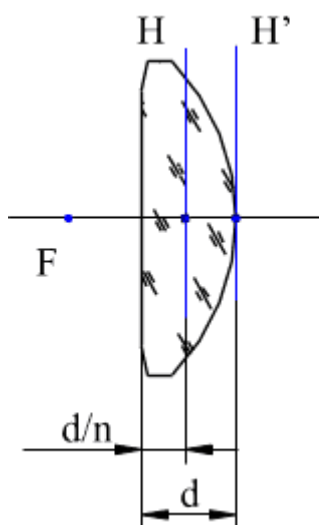
## Определение параксиальных параметров линз с одной плоской поверхностью

Плоско-выпуклая линза

$$\Phi > 0$$

Параксиальные характеристики:

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

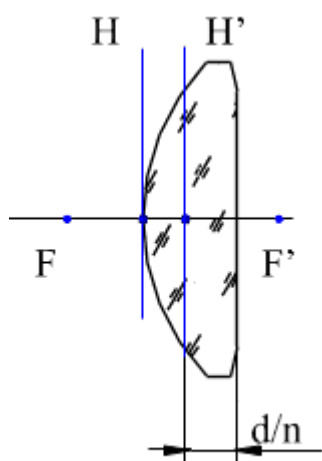


Для линз, у которых одна поверхность плоская, определено одно свойство, вытекающее из соотношений для параксиальных характеристик: через вершину неплоской поверхности проходит главная плоскость.

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

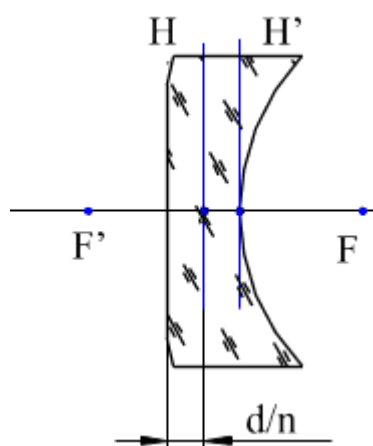
Выпукло-плоская

$$\Phi > 0$$



Плоско-вогнутая

$$\Phi < 0$$



Вогнуто-плоская

$$\Phi < 0$$

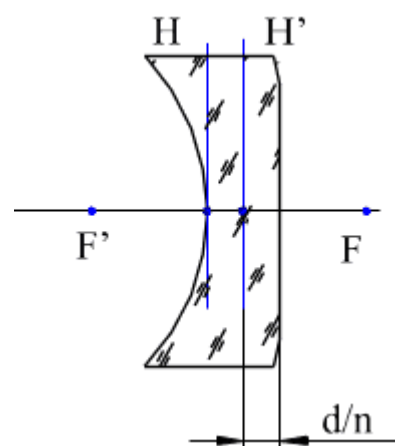


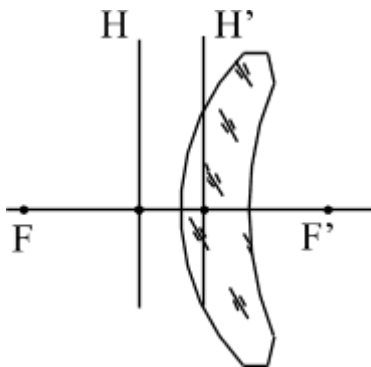
Рис. 2 Линзы с плоской поверхностью



## Определение параксиальных параметров линз-менисков

Выпукло-вогнутый собирающий  
мениск (положительный)

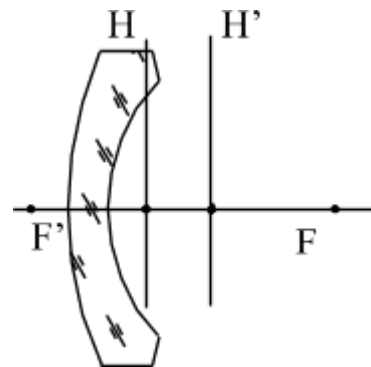
$$\Phi > 0$$



$$|r_1| < |r_2|$$

Выпукло-вогнутый рассеивающий  
мениск (отрицательный)

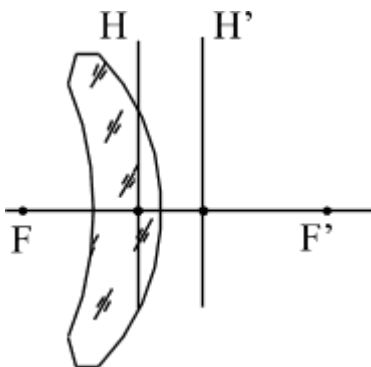
$$\Phi < 0$$



$$|r_1| > |r_2|$$

Вогнуто-выпуклый собирающий  
мениск (положительный)

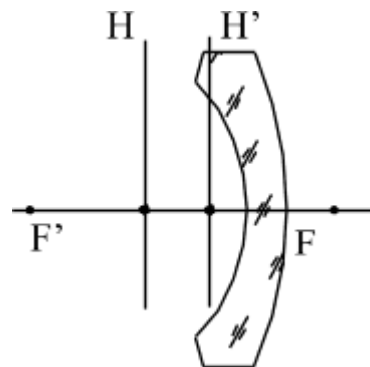
$$\Phi > 0$$



$$|r_1| > |r_2|$$

Вогнуто-выпуклый рассеивающий  
мениск (отрицательный)

$$\Phi < 0$$



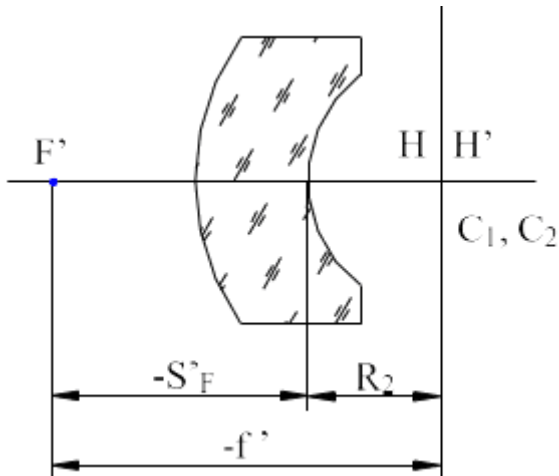
$$|r_1| < |r_2|$$

Рис. 3 Линзы-мениски

## Определение параксиальных параметров concentрических линз

Concentрические 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 concentрической линзы, получается совпадение главных плоскостей в центре кривизны обеих поверхностей:

$$\Phi < 0$$



$$\Phi > 0$$

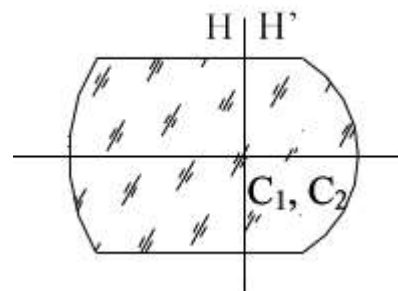


Рис. 4 Concentрические линзы

Оптическая сила:

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

## Примеры выполнения заданий

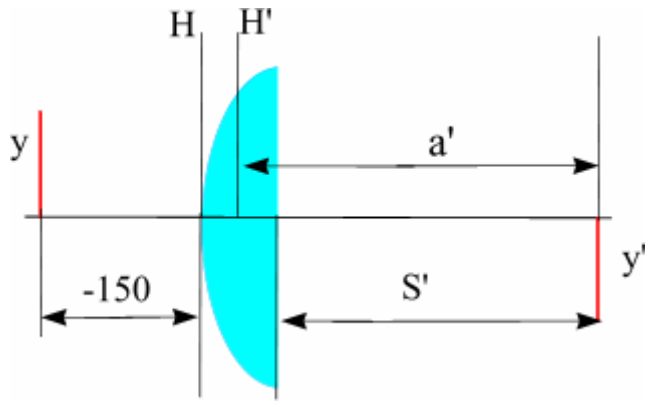
### Задача

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  $a=s=-150$ .



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

Определение положения изображения:

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

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

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

### 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:

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

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

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

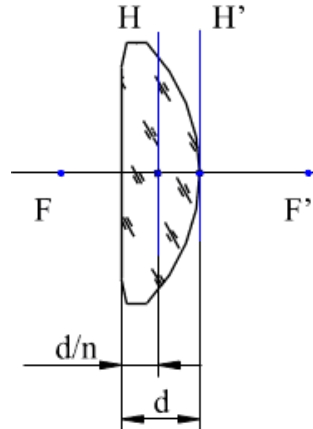
**Ответ:**  $n = 1.5$

### 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.

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

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

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

**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  $r_1 = \infty$ :

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

Оптическая сила плоско-выпуклой линзы:

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

Определить радиус сферической поверхности из предыдущей формулы

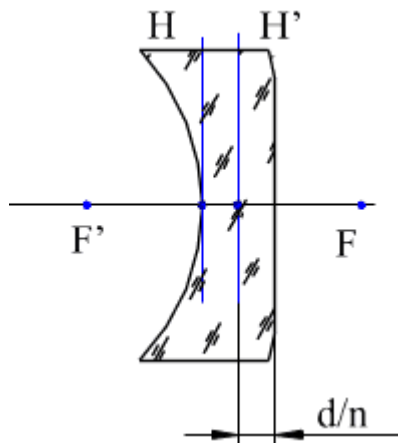
$$r = -f'(n-1) = -150 \cdot 0,5 = -75.$$

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 40мм. Ответ дать в мм.
10. Найти толщину плосковыпуклой линзы, если известно, что  $n=1.5$ , а положение передней главной плоскости  $S_H=4$ мм. Ответ дать в мм.

11. Линейное увеличение  $\beta = -0.62$ . Предмет находится на расстоянии  $-64$  мм от передней фокальной плоскости плосковыпуклой линзы. Найти заднее фокусное расстояние линзы. Ответ дать в мм.
12. Перед линзой на расстоянии  $100$  мм находится предмет. Параметры линзы:  $d = 6$  мм,  $r_2 = -20$ , первая поверхность - плоская,  $n = 1.5$ . Найти положение изображения ( $s'$ ). Ответ дать в мм.
13. Изображение находится на расстоянии  $S' = 65$  мм. Параметры линзы:  $d = 6$  мм, первая поверхность - плоская,  $r_2 = -20$  мм,  $n = 1.5$ . Найти положение предмета ( $s$ ). Ответ дать в мм.
14. Линейное увеличение  $\beta = 0.5$ . Предмет находится на расстоянии  $z = -30$  мм от передней фокальной плоскости вогнутоплоской линзы. Найти заднее фокусное расстояние линзы. Ответ дать в мм.
15. Найти радиус поверхности плосковыпуклой линзы, если известно, что показатель преломления стекла  $1.5$ , заднее фокусное расстояние  $100$  мм. Ответ дать в мм.
16. Найти толщину плосковыпуклой линзы, если известно, что  $n = 1.6$ , а положение передней главной плоскости  $S_H = 6$  мм. Ответ дать в мм.
17. Линейное увеличение  $\beta = -2$ . Предмет находится на расстоянии  $z = -190$  мм от передней фокальной плоскости плосковыпуклой линзы. Найти заднее фокусное расстояние линзы. Ответ дать в мм.
18. Перед линзой на расстоянии  $161$  мм находится предмет. Параметры линзы:  $d = 3.4$  мм,  $r_2 = -105$ , первая поверхность - плоская,  $n = 1.5$ . Найти положение изображения ( $s'$ ). Ответ дать в мм.
19. Линза в воздухе имеет следующие характеристики:  $f'' = 50$  мм,  $S'_F = 47$  мм,  $S_F = -45$  мм, линейное увеличение  $\beta = -2^X$ . Определить положение предмета  $-S$  от первой поверхности линзы и изображения  $S'$  от последней поверхности.
20. Линза в воздухе имеет следующие характеристики:  $f'' = 45$  мм,  $S'_F = 42$  мм,  $S_F = -41$  мм, линейное увеличение  $\beta = -1.5^X$ . Определить положение предмета  $-S$  от первой поверхности линзы и изображения  $S'$  от последней поверхности.
21. Линза в воздухе имеет следующие характеристики:  $f'' = 45$  мм,  $S'_F = 42$  мм,  $S_F = -41$  мм, линейное увеличение  $\beta = -1^X$ . Определить положение предмета  $-S$  от первой поверхности линзы и изображения  $S'$  от последней поверхности.
22. Линза в воздухе имеет следующие характеристики:  $f'' = 52$  мм,  $S'_F = 49$  мм,  $S_F = -47$  мм, линейное увеличение  $\beta = -2^X$ . 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,  $S_F = -43$  мм, линейное увеличение  $\beta = -1.7^X$ . Определить положение предмета  $-S$  от первой поверхности линзы и изображения  $S'$  от последней поверхности.



24. Линза в воздухе имеет следующие характеристики:  $f''=45$  мм,  $S'_F=42$  мм,  $S_F=-43$  мм, линейное увеличение  $\beta=+1.5^X$ . 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,  $S_F=-41$  мм, линейное увеличение  $\beta=+1.5^X$ . Определить положение предмета  $-S$  от первой поверхности линзы и изображения  $S'$  от последней поверхности.
26. Линза в воздухе имеет следующие характеристики:  $f''=52$  мм,  $S'_F=49$  мм,  $S_F=-47$  мм, линейное увеличение  $\beta=+2^X$ . 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,  $S_F=-43$  мм, линейное увеличение  $\beta=+1.7^X$ . Определить положение предмета  $-S$  от первой поверхности линзы и изображения  $S'$  от последней поверхности.
28. 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
29. 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.
30. 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.
31. 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.
32. 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.
33. 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.
34. Определить фокусные расстояния  $f$  и  $f''$  и положение главных плоскостей  $S'_H$  и  $S_H$  плоско-вогнутой линзы, изготовленной из стекла марки Ф1, если радиус ее сферической поверхности  $r=100$  мм, а толщина по оси  $d=10$  мм.
35. Определить фокусные расстояния  $f$  и  $f''$  и положение главных плоскостей  $S'_H$  и  $S_H$  плоско-выпуклой линзы, изготовленной из стекла марки СТК9, если радиус ее сферической поверхности  $r=100$  мм, а толщина по оси  $d=7$  мм.
36. Определить фокусные расстояния  $f$  и  $f''$  и положение главных плоскостей  $S'_H$  и  $S_H$  плоско-выпуклой линзы, изготовленной из стекла марки БК8, если радиус ее сферической поверхности  $r=90$  мм, а толщина по оси  $d=7$  мм.

37. 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  $r = 65$  мм, а толщина по оси  $d = 6$  мм.
38. Определить фокусные расстояния  $f$  и  $f'$  и положение главных плоскостей  $S'_H$  и  $S_H$  плоско-выпуклой линзы, изготовленной из стекла марки БК8, если радиус ее сферической поверхности  $r = 60$  мм, а толщина по оси  $d = 7$  мм.
39. Определить фокусные расстояния  $f$  и  $f'$  и положение главных плоскостей  $S'_H$  и  $S_H$  выпукло-плоской линзы, изготовленной из стекла марки К8, если радиус ее сферической поверхности  $r = 200$  мм, а толщина по оси  $d = 10$  мм.
40. Определить фокусные расстояния  $f$  и  $f'$  и положение главных плоскостей  $S'_H$  и  $S_H$  выпукло-плоской линзы, изготовленной из стекла марки СТК9, если радиус ее сферической поверхности  $r = 140$  мм, а толщина по оси  $d = 9$  мм.
41. Определить фокусные расстояния  $f$  и  $f'$  и положение главных плоскостей  $S'_H$  и  $S_H$  выпукло-плоской линзы, изготовленной из стекла марки БК8, если радиус ее сферической поверхности  $r = 30$  мм, а толщина по оси  $d = 5$  мм.
42. Определить фокусные расстояния  $f$  и  $f'$  и положение главных плоскостей  $S'_H$  и  $S_H$  выпукло-плоской линзы, изготовленной из стекла марки Ф1, если радиус ее сферической поверхности  $r = 45$  мм, а толщина по оси  $d = 6$  мм.
43. Определить фокусные расстояния  $f$  и  $f'$  и положение главных плоскостей  $S'_H$  и  $S_H$  выпукло-плоской линзы, изготовленной из стекла марки ТК16, если радиус ее сферической поверхности  $r = 120$  мм, а толщина по оси  $d = 10$  мм.
44. Определить фокусные расстояния  $f$  и  $f'$  и положение главных плоскостей  $S'_H$  и  $S_H$  вогнуто-плоской линзы, изготовленной из стекла марки ТФ1, если радиус ее сферической поверхности  $r = -70$  мм, а толщина по оси  $d = 8$  мм.
45. Определить фокусные расстояния  $f$  и  $f'$  и положение главных плоскостей  $S'_H$  и  $S_H$  вогнуто-плоской линзы, изготовленной из стекла марки СТК9, если радиус ее сферической поверхности  $r = -40$  мм, а толщина по оси  $d = 9$  мм.
46. Определить фокусные расстояния  $f$  и  $f'$  и положение главных плоскостей  $S'_H$  и  $S_H$  вогнуто-плоской линзы, изготовленной из стекла марки К8, если радиус ее сферической поверхности  $r = -90$  мм, а толщина по оси  $d = 8$  мм.
47. 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.
48. 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.
49. 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.



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  $-45$  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  $35$  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  $40$  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  $50$  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  $60$  мм.
65. 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.
66. 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.
67. 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.
68. 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.
69. 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.
70. 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.

71. 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.
72. 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.
73. Произвольный луч падает на concentрическую линзу по нормали к первой поверхности. Определить угловое увеличение для этого луча.
74. 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:  $r_1=r_2=100$ ;  $d=50$ ;  $n=1.5$ .
75. 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:  $r_1=r_2=50$ ;  $d=20$ ;  $n=1.5$ .
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:  $r_1=r_2=30$ ;  $d=10$ ;  $n=1.5$ .
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:  $r_1=r_2=25$ ;  $d=10$ ;  $n=1.5$ .
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:  $r_1=r_2=20$ ;  $d=8$ ;  $n=1.5$ .
79. Определить радиус в мм сферической поверхности плоско-выпуклой линзы, если показатель преломления стекла  $n=1.5$  и задний фокальный отрезок  $S'_F=150$  мм.
80. Определить радиус в мм сферической поверхности плоско-вогнутой линзы, если показатель преломления стекла  $n=1.5$  и задний фокальный отрезок  $S'_F=-100$  мм.
81. Определить радиус в мм сферической поверхности плоско-вогнутой линзы, если показатель преломления стекла  $n=1.6$  и задний фокальный отрезок  $S'_F=-60$  мм.
82. Определить радиус в мм сферической поверхности выпукло-плоской линзы, если показатель преломления стекла  $n=1.7$  и передний фокальный

отрезок

$S_F = -70$  мм.

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

84. 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.

85. 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.

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

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

88. 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.

89. 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.

90. 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.

91. 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.

92. Предмет находится перед выпукло-плоской линзой на расстоянии  $S = -20$  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 вогнуто-плоской линзой на расстоянии  $S = -60$  мм, фокусное расстояние линзы  $f' = -50$  мм,  $d = 9$  мм,  $n = 1.5$ . Определить положение изображения  $S'$  от последней поверхности линзы.

94. Предмет находится перед вогнуто-плоской линзой на расстоянии  $S = -80$  мм, фокусное расстояние линзы  $f' = -50$  мм,  $d = 9$  мм,  $n = 1.5$ . Определить положение изображения  $S'$  от последней поверхности линзы.

95. Предмет находится перед вогнуто-плоской линзой на расстоянии  $S = -100$  мм, фокусное расстояние линзы  $f' = -50$  мм,  $d = 9$  мм,  $n = 1.5$ . Определить положение изображения  $S'$  от последней 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:

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

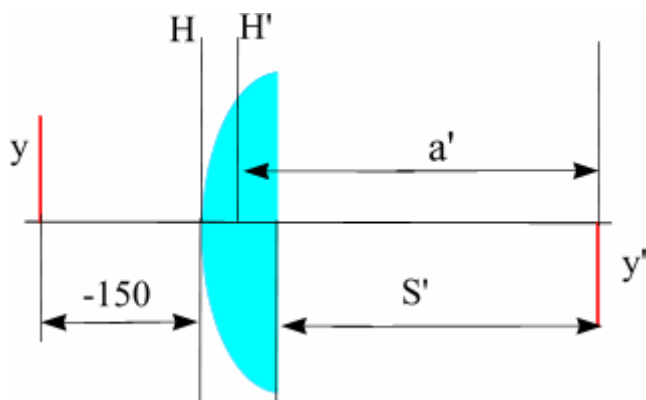
### Примеры решения задач

#### 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  $T_0$ , на главных плоскостях - преломление  $R_1$ , до изображения - перенос  $T_1$ .



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

Итак, матрицы:

Матрица всей системы  $G = T_1 \cdot R_1 \cdot T_0$ . Результат произведения матриц даст нам матрицу с одним неизвестным -  $a'$ :

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

Условие сопряжения опорных плоскостей гласит, что элемент матрицы  $B=0$ . 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  $A$ .  $\beta = 1 - 3 = -2$ .

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

Проверка:

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

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

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

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

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

### Задача

Фокусное расстояние линзы  $f = 100$  мм. Предмет находится на расстоянии  $a = -150$  мм от передней главной плоскости линзы. Изображение формируется на расстоянии 300 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  $A$  и  $D$  зависят от линейного увеличения системы.

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

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

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

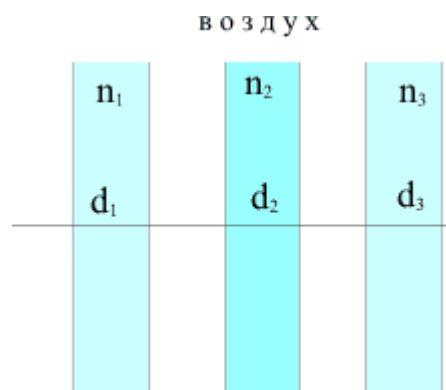
Элемент  $B$  для сопряженных плоскостей равен 0.

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

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

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 :  
 $\Phi = 1 + 10 - 1 \cdot 10 \cdot 0.05 = 11 - 0.5 = 10.5$  (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,  $W = 0.5$ .

$$G = \begin{pmatrix} \beta = \frac{y'}{y} = \frac{f_2}{f_1} & 0 \\ 0 & W = \frac{1}{\beta} \end{pmatrix}$$

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  $y = 10$  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 -  $T_1$ .

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

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

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:

$$\Phi = \frac{1}{f'} = \Phi_1 - \Phi_2 - \Phi_1 \Phi_2 d;$$

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

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.

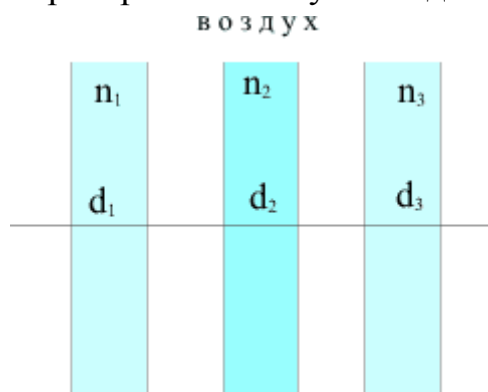


Рис. 5 Пакет плоскопараллельных слоев

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.



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 ( $\cdot$ )  $F_1'$  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 ( $\cdot$ )  $F_1'$  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 ( $\cdot$ )  $F_1'$  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 ( $\cdot$ )  $F_1'$  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 ( $\cdot$ )  $F_1'$  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 ( $\cdot$ )  $F_1'$  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 ( $\cdot$ )  $F_1'$  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  $H_2$  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  $\Phi_2$ .



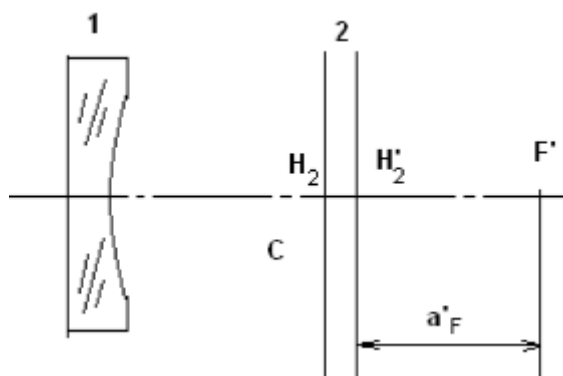


Рис. 6 Система из двух компонентов

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.

## **Расчетно-графическая работа «Расчет системы из двух компонентов, находящихся в воздухе»**

Цель задания: приобретение практических навыков в расчете простейших линзовых систем.

### **Содержание и объем задания**

После получения задания студент обязан выполнить следующие работы:

- 1) Определить конструктивные данные линз, если они не все известны;
- 2) Определить фокусные расстояния линз  $f$  и  $f'$ ; фокальные отрезки  $S'_F S_F$ ; положение главных плоскостей отдельных линз  $S'_H$  и  $S_H$ , расстояние между главными плоскостями  $\Delta$ ;
- 3) Найти аналитически и графически положение и размер промежуточного и окончательного изображений;
- 4) вычислить эквивалентное фокусное расстояние системы  $f'_{\text{экв}}$ , передний и задний фокальные отрезки  $a'_F$  и  $a_F$ ;
- 5) Графически определить положение эквивалентных фокусов и эквивалентных главных плоскостей.

### **Оформление работы**

Выполненное задание представляется в виде пояснительной записки и графических материалов.

### **Содержание пояснительной записки**

- 1) Исходные данные.
- 2) Определение конструктивных параметров отдельных линз, если они не все известны.
- 3) Определение фокусных расстояний отдельных линз  $f$  и  $f'$ ; фокальных отрезков  $S'_F S_F$ ; положения главных плоскостей отдельных линз  $S'_H$  и  $S_H$ , расстояния между главными плоскостями  $\Delta$ .
- 4) Определение положения и размеров промежуточного и окончательного изображений.
- 5) Определение эквивалентного фокусного расстояния системы  $f'_{\text{экв}}$ , фокальных отрезков  $a'_F$  и  $a_F$ .

### **Графические материалы**

- 1) Чертежи линз с указанием положения главных плоскостей и численных значений всех отрезков.
- 2) Чертеж системы из двух компонентов с указанием графического определения положения промежуточного и окончательного изображений.

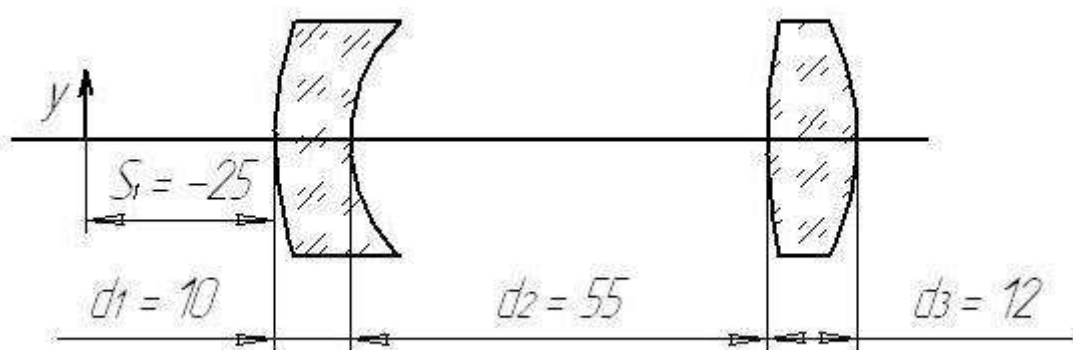
3) Чертеж системы из двух компонентов с указанием графического определения положения эквивалентных фокусов и эквивалентных главных плоскостей.

**Пример выполнения РГР «Расчёт оптической системы из двух компонентов, находящейся в воздухе»**

**Задание**

		1
$r_1 = 50,12$	$d_1 = 10$	1.5163
$r_2 = 21,78$	$d_2 = 55$	1
$r_3 = 72,75$	$d_3 = 12$	1.5163
$r_4 = -32,90$		1
$S_1 = -25\text{мм}$		

**Решение**



*Рис. 7 Система. М 1:1*

1) Расчёт первой линзы

$$\Phi_1 = (n_1 - 1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \frac{(n_1 - 1)^2 d_1}{nr_1 r_2} =$$

$$(1,5163 - 1) \left( \frac{1}{50,12 \text{ мм}} - \frac{1}{21,78 \text{ мм}} \right) + \frac{(1,5163 - 1)^2 \cdot 10 \text{ мм}}{1,5163 \cdot 50,12 \text{ мм} \cdot 21,78 \text{ мм}} =$$

$$= -0,012 \cdot 10^3 \text{ дптр} = -12 \text{ дптр}$$

$$f'_1 = \frac{1}{\Phi_1} = \frac{1}{-12 \text{ дптр}} = -0,083 \text{ м} = -83 \text{ мм}$$

$$S'_{F1} = f'_1 \left( 1 - \frac{(n_1 - 1)d_1}{n_1 r_1} \right) = -83 \text{ мм} \left( 1 - \frac{(1,5163 - 1)10 \text{ мм}}{1,5163 \cdot 50,12 \text{ мм}} \right) = -77,36 \text{ мм}$$

$$S_{F1} = -f'_1 \left( 1 + \frac{(n_1 - 1)d_1}{n_1 r_2} \right) = 83 \text{ мм} \left( 1 + \frac{(1,5163 - 1)10 \text{ мм}}{1,5163 \cdot 21,78 \text{ мм}} \right) = 95,98 \text{ мм}$$

$$S'_{H1} = S'_{F1} - f'_1 = -77,36 \text{ мм} + 83 \text{ мм} = 5,64 \text{ мм}$$

$$S_{H1} = S_{F1} - f_1 = 95,98 \text{ мм} - 83 \text{ мм} = 12,98 \text{ мм}$$

$$\Delta_1 = \frac{(n_1 - 1)d_1}{n_1} = \frac{(1,5163 - 1)10 \text{ мм}}{1,5163} = 3,4 \text{ мм}$$

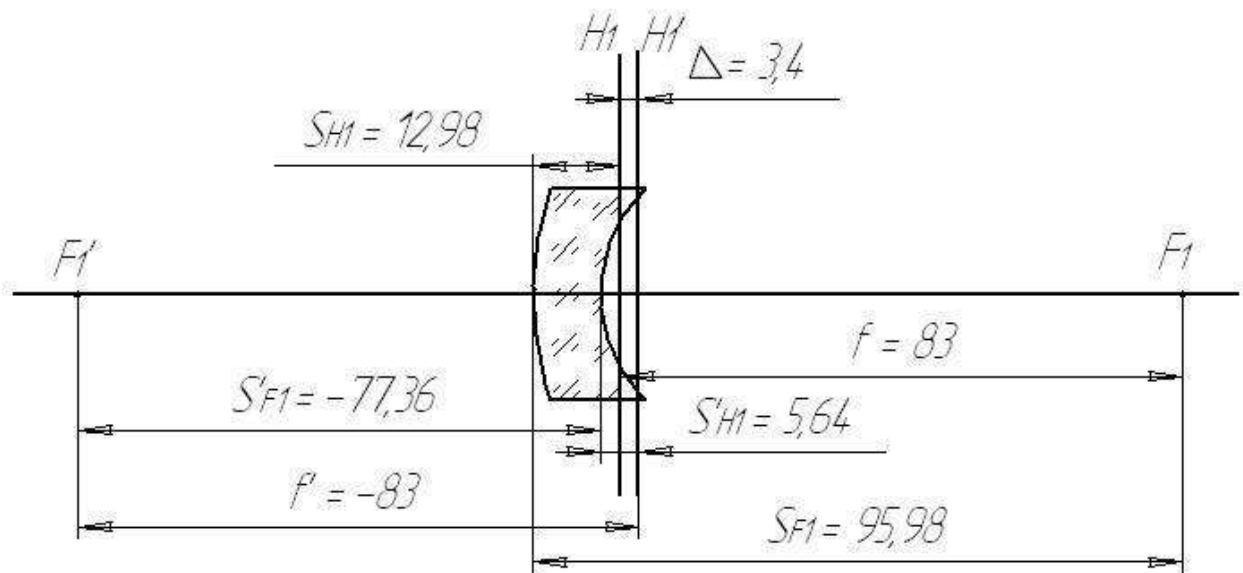


Рис. 8 Первая линза. М 1:1

2) Расчёт второй линзы

$$\Phi_2 = (n_2 - 1) \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) + \frac{(n_2 - 1)^2 d_3}{n_2 r_3 r_4} =$$

$$= (1,5163 - 1) \left( \frac{1}{72,75} - \frac{1}{-32,90 \text{ мм}} \right) + \frac{(1,5163 - 1)^2 \cdot 12 \text{ мм}}{1,5163 \cdot 72,75 \text{ мм} \cdot (-32,90) \text{ мм}} =$$

$$= 0,022 \cdot 10^3 \text{ дптр} = 22 \text{ дптр}$$

$$f'_2 = \frac{1}{\Phi_2} = \frac{1}{22 \text{ дптр}} = 0,045 \text{ м} = 45 \text{ мм}$$

$$S'_{F2} = f'_2 \left( 1 - \frac{(n_2 - 1) d_3}{n_2 r_3} \right) = 45 \text{ мм} \left( 1 - \frac{(1,5163 - 1) 12 \text{ мм}}{1,5163 \cdot 72,75 \text{ мм}} \right) = 42,48 \text{ мм}$$

$$S_{F2} = -f'_2 \left( 1 + \frac{(n_2 - 1) d_3}{n_2 r_4} \right) = -45 \text{ мм} \left( 1 + \frac{(1,5163 - 1) 12 \text{ мм}}{1,5163 \cdot (-32,9) \text{ мм}} \right) = -39,41 \text{ мм}$$

$$S'_{H2} = S'_{F2} - f'_2 = 42,48 \text{ мм} - 45 \text{ мм} = -2,52 \text{ мм}$$

$$S_{H2} = S_{F2} - f_2 = -39,41 \text{ мм} + 45 \text{ мм} = 5,59 \text{ мм}$$

$$\Delta_2 = \frac{(n_2 - 1) d_3}{n_2} = \frac{(1,5163 - 1) 12 \text{ мм}}{1,5163} = 4,09 \text{ мм}$$

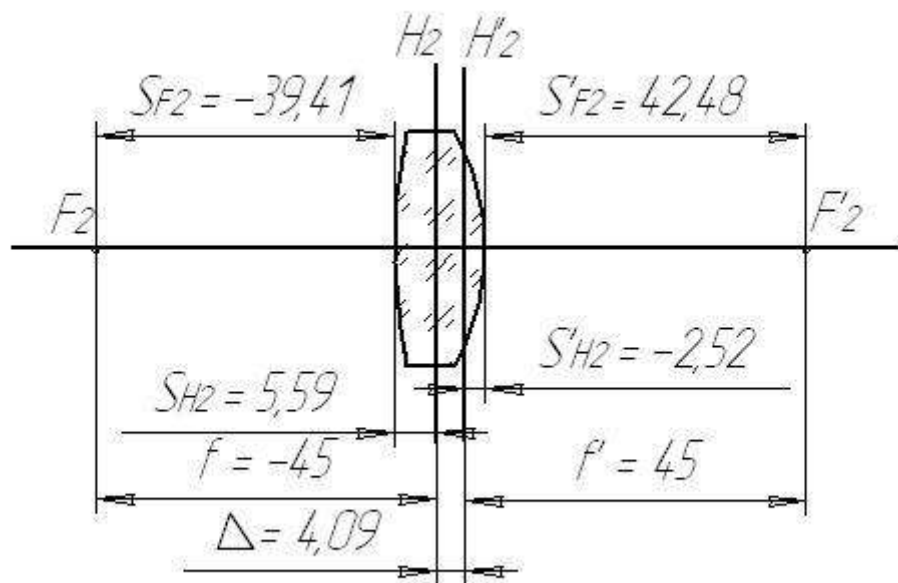


Рис. 9 Вторая линза. М 1:1.

3) Расчёт промежуточного и окончательного изображения

$$a_1 = S_1 - S_{H1} = -25\text{MM} - 12,98\text{MM} = -37,98\text{MM}$$

$$d = d_2 - S'_{H1} + S_{H2} = 55\text{MM} - 5,64\text{MM} + 5,59\text{MM} = 54,95\text{MM}$$

$$\frac{1}{a'_1} = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{a_1} = \frac{1}{-83\text{MM}} + \frac{1}{-37,98\text{MM}} = -0,038 \frac{1}{\text{MM}} \Rightarrow a'_1 = \frac{1}{-0,038} \text{MM} = -26,32\text{MM}$$

$$\beta_1 = \frac{a'_1}{a_1} = \frac{-26,32\text{MM}}{-37,98\text{MM}} = 0,7^x$$

$$y'_1 = \beta_1 \cdot y = 0,7 \cdot 10\text{MM} = 7\text{MM}$$

$$a_2 = a'_1 - d = -26,32 - 54,95\text{MM} = -81,27\text{MM}$$

$$\frac{1}{a'_2} = \frac{1}{f'_2} + \frac{1}{a_2} = \frac{1}{45\text{MM}} + \frac{1}{-81,27\text{MM}} = 0,01 \frac{1}{\text{MM}} \Rightarrow a'_2 = \frac{1}{0,01} \text{MM} = 100\text{MM}$$

$$\beta_2 = \frac{a'_2}{a_2} = \frac{100\text{MM}}{-81,27\text{MM}} = -1,23^x$$

$$y' = y'_2 = \beta_2 \cdot y_2 = \beta_2 \cdot y'_1 = -1,23 \cdot 7\text{MM} = -8,61\text{MM}$$

$$\beta = \beta_1 \cdot \beta_2 = 0,7 \cdot (-1,23) = -0,86^x$$

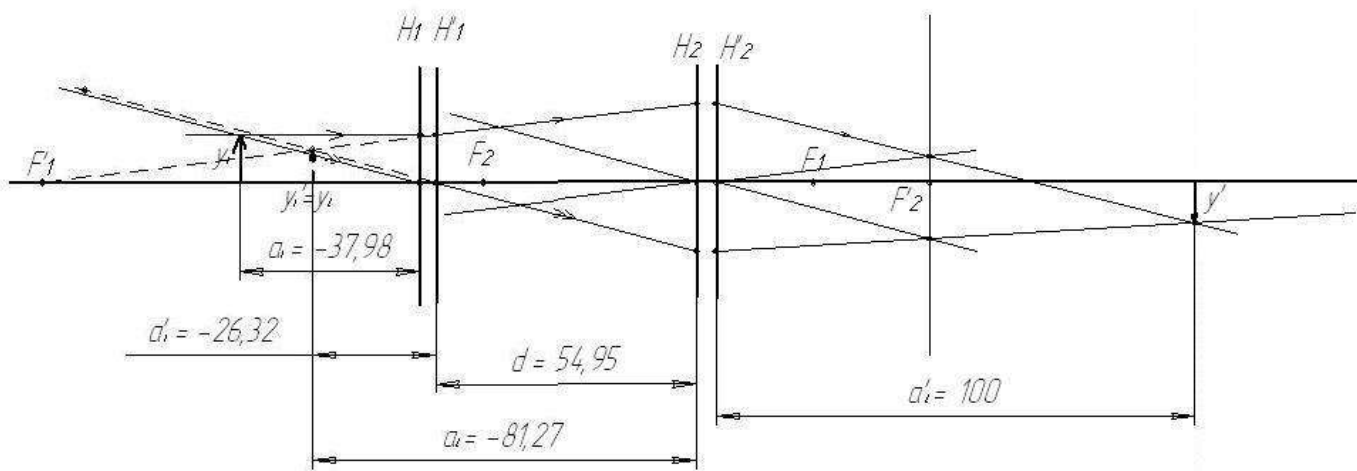


Рис. 10 M 1:2.

4) Определение эквивалентных фокусов и главных плоскостей

$$\Phi_{\text{ЭКВ}} = \frac{1}{f'_{\text{ЭКВ}}} = \Phi_1 + \Phi_2 - d \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2 ; \quad a'_F = \frac{1 - \Phi_1 \cdot d}{\Phi_{\text{ЭКВ}}} ; \quad a_F = -\frac{1 - \Phi_2 \cdot d}{\Phi_{\text{ЭКВ}}}$$



$$\Phi_{\text{ЭKB}} = \frac{1}{f'_{\text{ЭKB}}} = \Phi_1 + \Phi_2 - d \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2 =$$

$$= -0,012 + 0,022 - 54,95 \cdot (-0,012) \cdot 0,022 = 0,025 \Rightarrow f'_{\text{ЭKB}} = \frac{1}{0,025} = 40\text{MM}$$

$$a'_F = \frac{1 - \Phi_1 \cdot d}{\Phi_{\text{ЭKB}}} = \frac{1 - (-0,012) \cdot 54,95}{0,025} = 66,38\text{MM}$$

$$a_F = -\frac{1 - \Phi_2 \cdot d}{\Phi_{\text{ЭKB}}} = -\frac{1 - 0,022 \cdot 54,95}{0,025} = 8,36\text{MM}$$

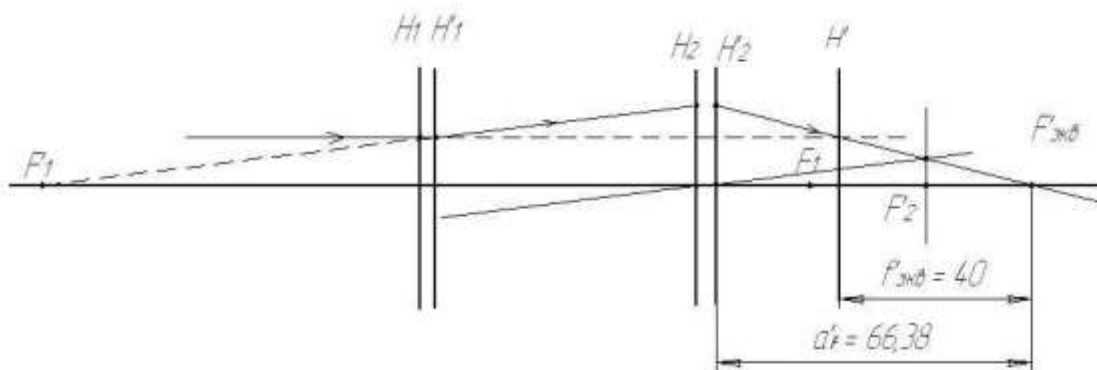


Рис. 11 M 1:2.

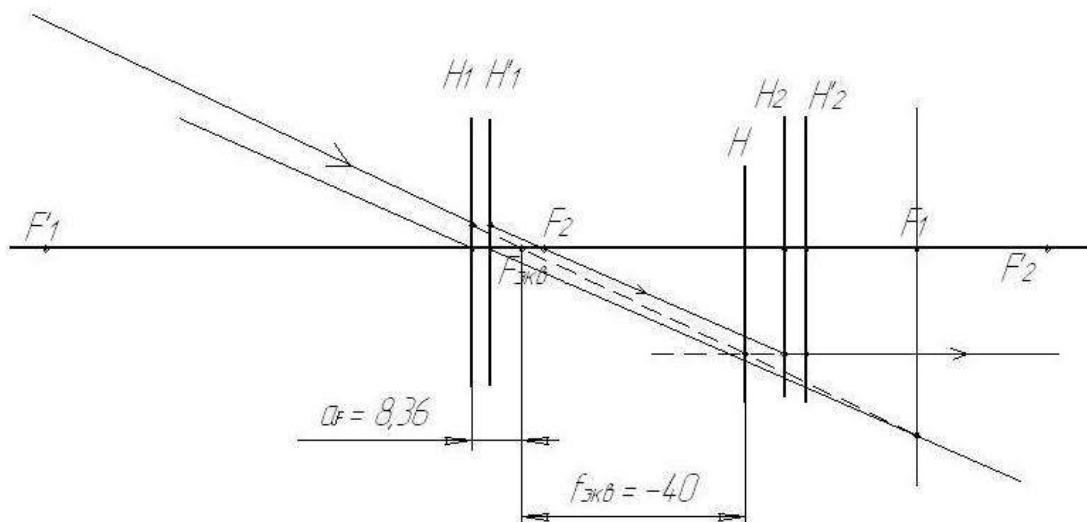


Рис. 12 M 1:2.

## Задания для самостоятельной работы

63. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = \infty$	$d_1 = 8$	1,755
$r_2 = 41,12$	$d_2 = 40$	1
$r_3 = -107,41$	$d_3 = 10$	1,755
$r_4 = -52,12$		1
$S_1 = -10$		

67. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = -100,3$	$d_1 = 10$	1,755
$r_2 = -62,45$	$d_2 = 42$	1
$r_3 = -28,9$	$d_3 = 10$	1,755
$r_4 = -95,45$		1
$S_1 = -20$		

64. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = -92,12$	$d_1 = 10$	1,511
$r_2 = 18,11$	$d_2 = 39$	1
$r_3 = -70$	$d_3 = 10$	1,5163
$r_4 = -33,31$		1
$S_1 = -19$		

68. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = 66,4$	$d_1 = 10$	1,5163
$r_2 = -40,32$	$d_2 = 70$	1
$r_3 = -20,1$	$d_3 = 12$	1,6479
$r_4 = -60,08$		1
$S_1 = -90$		

65. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = 52,3$	$d_1 = 10$	1,5724
$r_2 = -25,39$	$d_2 = 109$	1
$r_3 = -25,39$	$d_3 = 10$	1,6164
$r_4 = -170,38$		1
$S_1 = -37,6$		

69. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = 66,65$	$d_1 = 15$	1,5163
$r_2 = -48,25$	$d_2 = 76$	1
$r_3 = -18,5$	$d_3 = 15$	1,5163
$r_4 = -58,01$		1
$S_1 = -100$		

66. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = -40,5$	$d_1 = 9$	1,6126
$r_2 = -80,4$	$d_2 = 45$	1
$r_3 = 105,3$	$d_3 = 10$	1,6126
$r_4 = -62,4$		1
$S_1 = -35$		

70. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = -22,59$	$d_1 = 10$	1,6475
$r_2 = -135,85$	$d_2 = 85$	1
$r_3 = 60,7$	$d_3 = 8$	1,5399
$r_4 = -67,24$		1
$S_1 = -30$		

71. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = 90,26$	$d_1 = 18$	1,5163
$r_2 = -67,13$	$d_2 = 131$	1
$r_3 = 87,57$	$d_3 = 11$	1.5688
$r_4 = -35,95$		1
$S_1 = -95$		

75. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = 85,51$	$d_1 = 10$	1,5163
$r_2 = -50,35$	$d_2 = 86$	1
$r_3 = -41,88$	$d_3 = 10$	1.5163
$r_4 = \infty$		1
$S_1 = -116$		

72. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = -90,13$	$d_1 = 10$	1,511
$r_2 = 18,11$	$d_2 = 39$	1
$r_3 = 44,62$	$d_3 = 8$	1.5163
$r_4 = -33,31$		1
$S_1 = -19$		

76. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = -56,01$	$d_1 = 10$	1,6475
$r_2 = -179,69$	$d_2 = 97$	1
$r_3 = 30$	$d_3 = 10$	1.5163
$r_4 = \infty$		1
$S_1 = -41$		

73. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = -91,82$	$d_1 = 10$	1,511
$r_2 = 18,11$	$d_2 = 27$	1
$r_3 = 52,97$	$d_3 = 8$	1.5724
$r_4 = -25,29$		1
$S_1 = -14$		

77. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = 66,68$	$d_1 = 15$	1,5163
$r_2 = -48,31$	$d_2 = 76$	1
$r_3 = -17,9$	$d_3 = 15$	1.6479
$r_4 = -57,08$		1
$S_1 = -114$		

74. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = 105,18$	$d_1 = 11$	1,5163
$r_2 = -39,15$	$d_2 = 96$	1
$r_3 = 49,3$	$d_3 = 10$	1.5467
$r_4 = -76,35$		1
$S_1 = -10$		

78. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = 52,97$	$d_1 = 10$	1,5724
$r_2 = -25,29$	$d_2 = 66,3$	1
$r_3 = -46,6$	$d_3 = 10$	1.5163
$r_4 = -33,04$		1
$S_1 = -20$		

79. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = 64,27$	$d_1 = 14$	1,5891
$r_2 = \infty$	$d_2 = 50$	1
$r_3 = -94,19$	$d_3 = 10$	1.6242
$r_4 = 59,7$		1
$S_1 = -15$		

83. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = 21,56$	$d_1 = 6$	1,5688
$r_2 = -8,41$	$d_2 = 10$	1
$r_3 = 21,56$	$d_3 = 6$	1.5688
$r_4 = -8,41$		1
$S_1 = -6$		

80. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = 31,05$	$d_1 = 10$	1,5163
$r_2 = -22,59$	$d_2 = 152,5$	1
$r_3 = 24,89$	$d_3 = 10$	1.6479
$r_4 = -248,3$		1
$S_1 = -33$		

84. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = -22,95$	$d_1 = 15$	1,6475
$r_2 = -135,83$	$d_2 = 85$	1
$r_3 = 59,7$	$d_3 = 12$	1.5399
$r_4 = -66,24$		1
$S_1 = -30,18$		

81. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = 17$	$d_1 = 10$	1,5163
$r_2 = \infty$	$d_2 = 17,56$	1
$r_3 = -56,01$	$d_3 = 10$	1.5163
$r_4 = -179,69$		1
$S_1 = -60$		

85. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = 40,71$	$d_1 = 10$	1,5163
$r_2 = 22,23$	$d_2 = 50$	1
$r_3 = 32,90$	$d_3 = 12$	1.5163
$r_4 = 105,45$		1
$S_1 = -30$		

82. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = 19,06$	$d_1 = 5$	1,5163
$r_2 = -7,53$	$d_2 = 89$	1
$r_3 = -41,92$	$d_3 = 5$	1.5163
$r_4 = \infty$	1	
$S_1 = -10$		

86. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = 32,79$	$d_1 = 10$	1,5163
$r_2 = 21,40$	$d_2 = 47$	1
$r_3 = 39,72$	$d_3 = 10$	1.5163
$r_4 = 92,70$		1
$S_1 = -33$		

87. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = 18,3$	$d_1 = 10$	1,5163
$r_2 = 40,39$	$d_2 = 109$	1
$r_3 = -35,40$	$d_3 = 10$	1,5163
$r_4 = \infty$		1
$S_1 = -20$		

91. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = 50,12$	$d_1 = 10$	1,5163
$r_2 = 21,78$	$d_2 = 55$	1
$r_3 = 72,75$	$d_3 = 12$	1,5163
$r_4 = -32,90$		1
$S_1 = -25$		

88. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = -40,17$	$d_1 = 12$	1,5163
$r_2 = -25,30$	$d_2 = 75$	1
$r_3 = -42,20$	$d_3 = 10$	1,5163
$r_4 = 62,40$		1
$S_1 = -25$		

92. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = -70,18$	$d_1 = 10$	1,5163
$r_2 = 32,40$	$d_2 = 30$	1
$r_3 = -62,00$	$d_3 = 10$	1,5163
$r_4 = \infty$		1
$S_1 = -52$		

89. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = -37$	$d_1 = 10$	1,5163
$r_2 = 62,40$	$d_2 = 42$	1
$r_3 = -70,95$	$d_3 = 12$	1,5163
$r_4 = -27,20$		1
$S_1 = -47$		

93. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = -72,20$	$d_1 = 10$	1,5163
$r_2 = 60,40$	$d_2 = 60$	1
$r_3 = 29,72$	$d_3 = 10$	1,5163
$r_4 = -50,75$		1
$S_1 = -35$		

90. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = 42,30$	$d_1 = 10$	1,5163
$r_2 = 17,52$	$d_2 = 70$	1
$r_3 = -32,50$	$d_3 = 12$	1,5163
$r_4 = 127,05$		1
$S_1 = -35$		

94. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = \infty$	$d_1 = 8$	1,5163
$r_2 = 39,10$	$d_2 = 40$	1
$r_3 = -32,40$	$d_3 = 8$	1,5163
$r_4 = 50,72$		1
$S_1 = -29$		

95. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = 50,42$	$d_1 = 10$	1,5163
$r_2 = 21,50$	$d_2 = 27$	1
$r_3 = -45,50$	$d_3 = 8$	1.5163
$r_4 = 121,10$		1
$S_1 = -45$		

96. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = 47,40$	$d_1 = 10$	1,5163
$r_2 = 22,30$	$d_2 = 70$	1
$r_3 = -32,90$	$d_3 = 12$	1.5163
$r_4 = 93,45$		1
$S_1 = -52$		

97. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = 52,10$	$d_1 = 10$	1,5163
$r_2 = 19,30$	$d_2 = 50$	1
$r_3 = 92,70$	$d_3 = 10$	1.5163
$r_4 = -37,40$		1
$S_1 = -19$		

98. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = \infty$	$d_1 = 8$	1,5163
$r_2 = 41,70$	$d_2 = 38$	1
$r_3 = -31,22$	$d_3 = 8$	1.5163
$r_4 = 49,70$		1
$S_1 = -38$		

99. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = -45,72$	$d_1 = 10$	1,5163
$r_2 = 63,79$	$d_2 = 50$	1
$r_3 = -51,40$	$d_3 = 12$	1.5163
$r_4 = -20,00$		1
$S_1 = -40$		

100. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = -42,30$	$d_1 = 10$	1,5163
$r_2 = -17,52$	$d_2 = 50$	1
$r_3 = -35,72$	$d_3 = 10$	1.5163
$r_4 = 79,90$		1
$S_1 = -20$		

101. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = -35,40$	$d_1 = 10$	1,5163
$r_2 = -20,17$	$d_2 = 100$	1
$r_3 = -70,92$	$d_3 = 12$	1.5163
$r_4 = 35,40$		1
$S_1 = -50$		

102. =====

		$n_D$
		1
$r_1 = 32,24$	$d_1 = 15$	1,5163
$r_2 = 14,13$	$d_2 = 103$	1
$r_3 = -35,48$	$d_3 = 12$	1.5163
$r_4 = -121,05$		1
$S_1 = -17$		

103. =====

	$n_D$
	1
$r_1 = 100,3 \quad d_1 = 10$	1,5163
$r_2 = - 60,3 \quad d_2 = 50$	1
$r_3 = - 27,71 \quad d_3 = 7$	1,5163
$r_4 = -110,10$	1
$S_1 = - 40$	

104. =====

	$n_D$
	1
$r_1 = 100,0 \quad d_1 = 9$	1,755
$r_2 = 41,12 \quad d_2 = 45$	1
$r_3 = - 107,72 \quad d_3 = 10$	1,755
$r_4 = - 60,12$	1
$S_1 = - 30$	

105. =====

	$n_D$
	1
$r_1 = 37,42 \quad d_1 = 10$	1,5163
$r_2 = - 70,41 \quad d_2 = 90$	1
$r_3 = 100,32 \quad d_3 = 10$	1,5163
$r_4 = -60,45$	1
$S_1 = - 5$	

106. =====

	$n_D$
	1
$r_1 = 100,3 \quad d_1 = 10$	1,755
$r_2 = - 62,45 \quad d_2 = 40$	1
$r_3 = - 28,92 \quad d_3 = 7$	1,755
$r_4 = -95,45$	1
$S_1 = - 25$	

107. =====

	$n_D$
	1
$r_1 = - 64,27 \quad d_1 = 14$	1,805
$r_2 = \infty \quad d_2 = 50 \quad 1$	
$r_3 = - 94,14 \quad d_3 = 10$	1,805
$r_4 = - 59,7$	1
$S_1 = - 15$	

108. =====

	$n_D$
	1
$r_1 = 90,15 \quad d_1 = 10$	1,5163
$r_2 = - 60,35 \quad d_2 = 25$	1
$r_3 = -30,12 \quad d_3 = 10$	1,5163
$r_4 = -100,15$	1
$S_1 = - 10$	

109. =====

	$n_D$
	1
$r_1 = - 95,83 \quad d_1 = 8$	1,5163
$r_2 = 20,11 \quad d_2 = 44$	1
$r_3 = - 52,30 \quad d_3 = 8$	1,5163
$r_4 = - 32,30$	1
$S_1 = - 18$	

110. =====

	$n_D$
	1
$r_1 = 32,30 \quad d_1 = 10$	1,5163
$r_2 = 15,00 \quad d_2 = 100$	1
$r_3 = - 35,50 \quad d_3 = 12$	1,5163
$r_4 = 121,05$	1
$S_1 = -$	

17

## Практическое занятие № 6. Ограничение пучков лучей в оптических системах

Теоретический материал изложен в главе "7. Реальные оптические системы. Ограничения пучков" [1,2].

### Примеры решений

Тематика «Ограничение поперечных размеров оптических деталей. Диафрагмы»

#### Задача

Телеобъектив состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d=100\text{мм}$ ,  $f'_1 = -50\text{мм}$ ,  $f'_2 = 50\text{мм}$ . Апертурной диафрагмой является оправа второго компонента. Найти диаметр этой оправы, если относительное отверстие объектив  $\frac{D_p}{f'} = 1:2$ .

Решение:

Определим эквивалентное фокусное расстояние телеобъектива:

$$\Phi = \frac{1}{f'} = \Phi_1 + \Phi_2 - \Phi_1 \Phi_2 d$$

$$\frac{1}{f'} = -\frac{1}{50} + \frac{1}{50} - \left(-\frac{1}{50}\right) \cdot \frac{1}{50} \cdot 100 = \frac{1}{25} \rightarrow$$

$$f' = 25\text{мм}$$

Находим диаметр входного зрачка, т.к. дано относительное отверстие:

$$\frac{D_p}{f'} = 1:2 \rightarrow D_p = 12,5\text{мм}$$

Находим изображение апертурной диафрагмы в пространстве предметов, т.е. положение входного зрачка. Для этого применим формулу отрезков для первой линзы:

$$\frac{1}{a_1} - \frac{1}{a_{p1}} = \frac{1}{f'_1}, \quad a_1 = d = 100\text{мм}$$

где  $f'_1 = -50\text{мм}$  ;

$$\frac{1}{a_{p1}} = \frac{1}{a_1} - \frac{1}{f'_1} = \frac{1}{100} + \frac{1}{50} = \frac{3}{100} \rightarrow$$

$$a_{p1} = 33,3\text{мм}$$

$$\beta_{p1} = \frac{a'_{1p}}{a_{1p}} = \frac{D_{AD}}{D_p}$$

Определим линейное увеличение в зрачках:



Затем – диаметр апертурной диафрагмы:

$$D_{AD} = \frac{a'_{1p} \cdot D_p}{a_{1p}} = \frac{100 \cdot 12,5}{33,3} = 37,5 \text{ мм}$$

Ответ: Диаметр оправы второй линзы, которая является апертурной диафрагмой, составляет  $D_{AD} = 37,5 \text{ мм}$ .

---

### Задача

Тонкая линза имеет фокусное расстояние  $f' = 50 \text{ мм}$ . Позади линзы на расстоянии  $20 \text{ мм}$  установлена апертурная диафрагма диаметром  $10 \text{ мм}$ . Найти размеры и положения входного и выходного зрачков.

#### Решение

По определению, апертурная диафрагма, расположенная в пространстве изображений, называется выходным зрачком.

Следовательно, выходной зрачок расположен на расстоянии

$$a'_p = 20 \text{ мм}, \text{ диаметр зрачка } D'_p = 10 \text{ мм}.$$

Определим по формуле отрезков изображение апертурной диафрагмы в пространстве предметов. Это изображение называется входным зрачком.

Определим линейное увеличение в зрачках и размер входного зрачка.

$$\frac{1}{20} - \frac{1}{50} = \frac{1}{a'_p}$$

$$\frac{5-2}{100} = \frac{1}{a'_p} \Rightarrow a'_p = 33,3 \text{ мм}$$

Линейное увеличение в зрачках

$$\beta_p = \frac{a'_p}{a_p} = \frac{D'_p}{D_p}$$

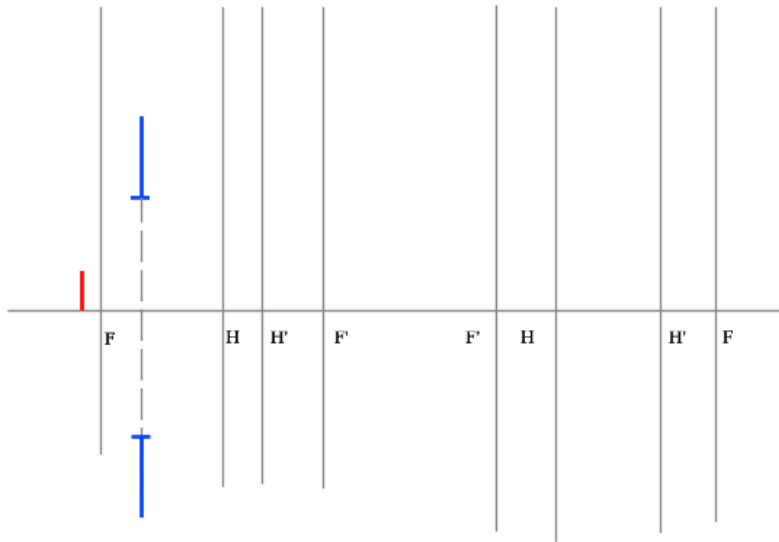
$$D_p = \frac{a_p \cdot D'_p}{a'_p} = \frac{33,3 \cdot 10}{20} = 16,65 \text{ мм}$$

Ответ:  $a_p = 33,3 \text{ мм}$ ;  $D_p = 16,65 \text{ мм}$ ,  $a'_p = 20 \text{ мм}$ ;  $D'_p = 10 \text{ мм}$ .

---

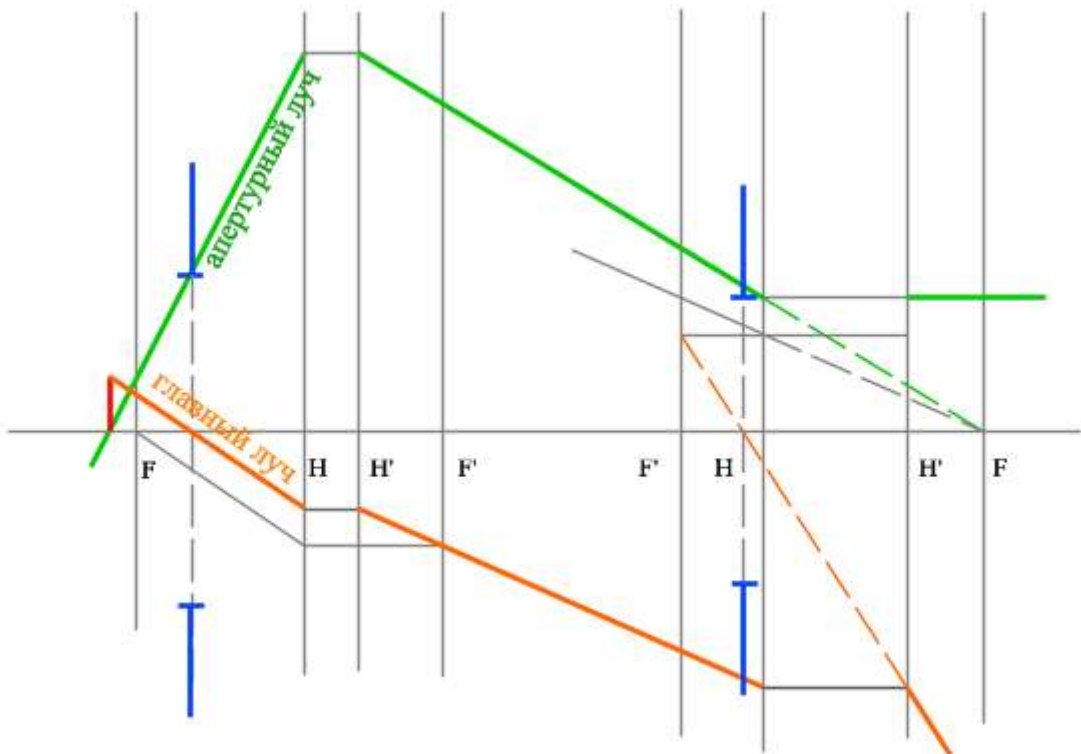
## Задача

Построить апертурный и главный лучи в системе и определить положение и размер выходного зрачка.



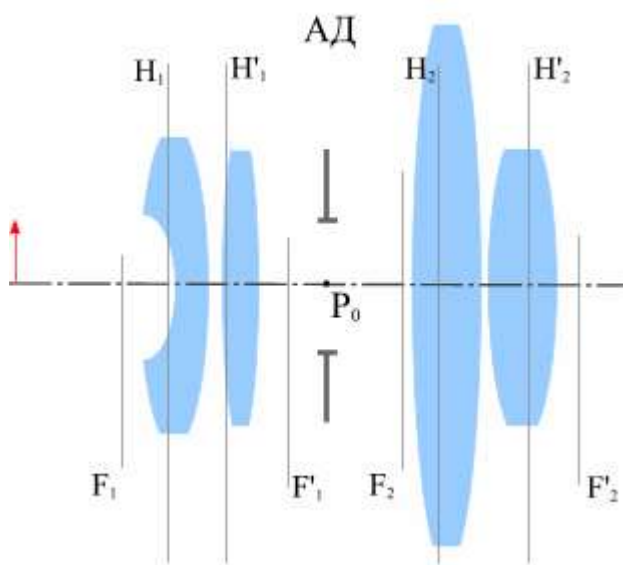
## Решение

Пересечение главного луча с осью в пространстве изображений даст нам расположение выходного зрачка. Пересечение апертурного луча в пространстве изображений с плоскостью выходного зрачка даст нам точку на краю зрачка, что и определит его диаметр.



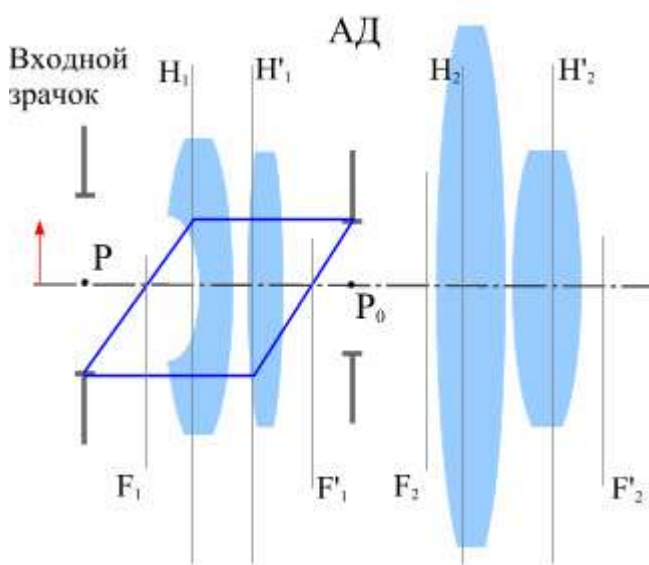
### Определение положения и размера зрачков. Задача

Задана система, задано положение апертурной диафрагмы внутри системы. Требуется найти положение и размер входного и выходного зрачков. Решить задачу с помощью построения.

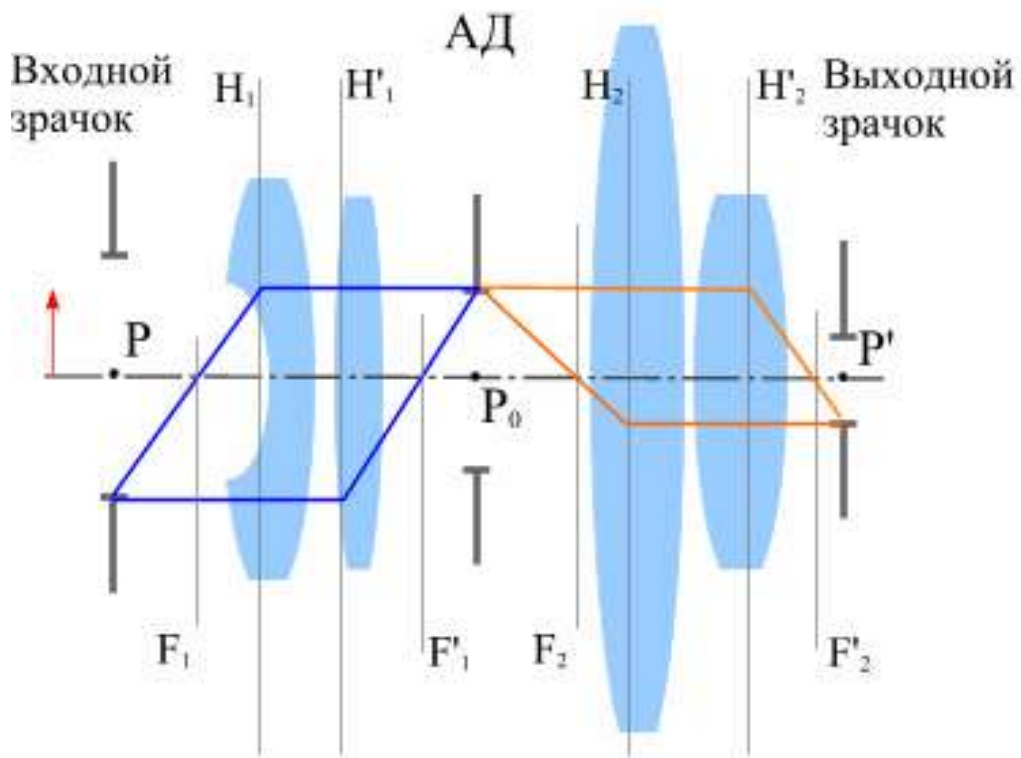


### Решение

Сначала в обратном ходе лучей строим входной зрачок, который сопряжен с АД и расположен в пространстве предметов.



Затем строим в прямом ходе лучей изображение АД через вторую часть системы, то есть выходной зрачок:



### Задача

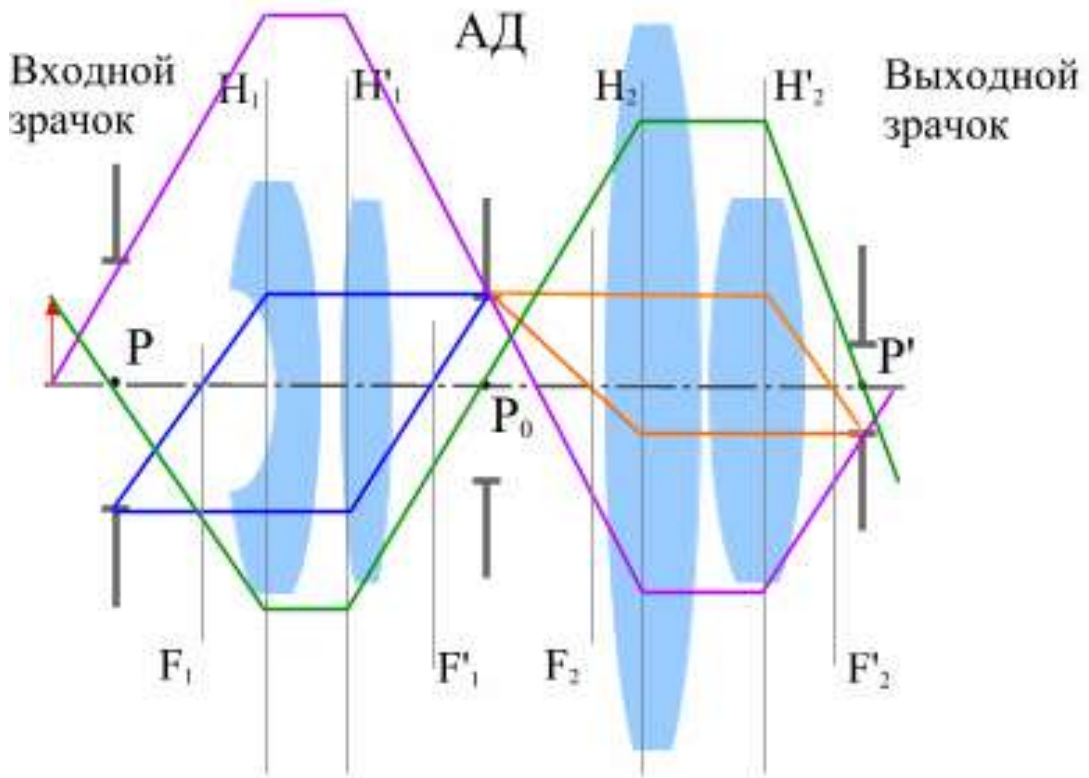
Задана система, задано положение апертурной диафрагмы внутри системы. Требуется построить ход главного и апертурного лучей и определить положение и размер изображения. Решить задачу с помощью построения.

### Решение

Построение изображения в данном случае можно осуществить через апертурный и главный лучи, одновременно удовлетворяя всем условиям задачи (построение лучей и построение изображения).

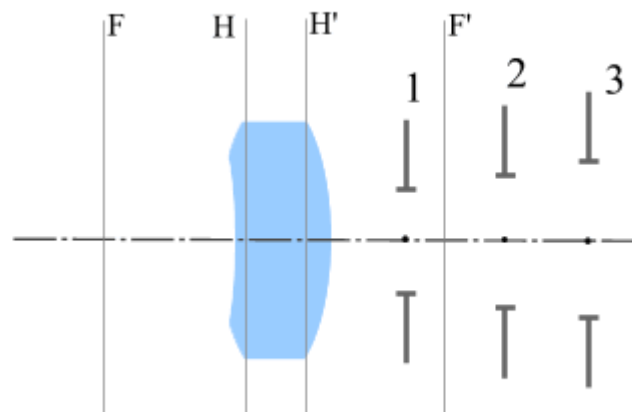
Апертурный луч идет из осевой точки предмета в край входного зрачка. Тем самым, его построение через систему в итоге даст нам осевую точку изображения.

Главный луч идет из края предмета в центр входного зрачка. Построив главный луч через систему, получаем искомое изображение предмета.



### Определение апертурной диафрагмы. Задача

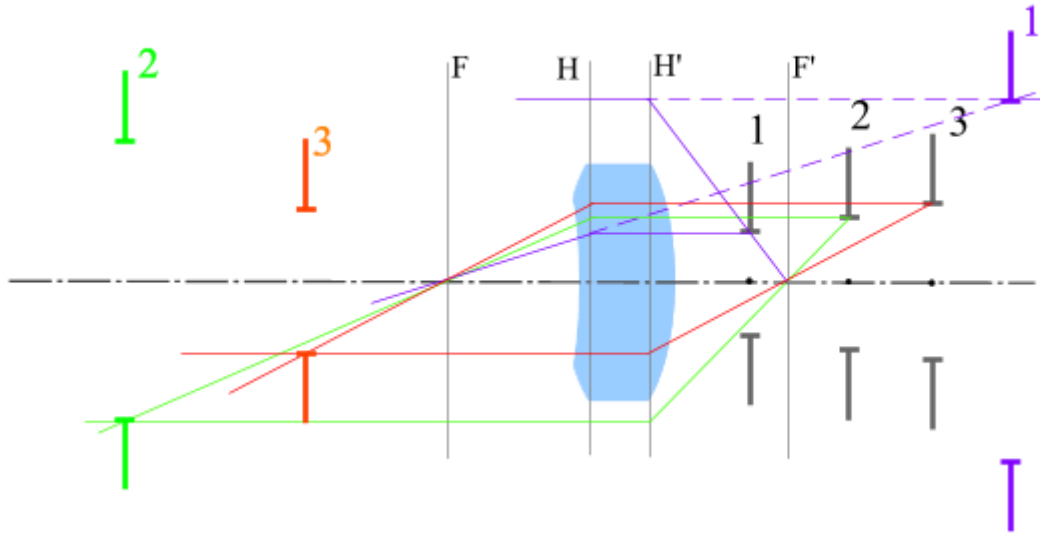
Дано несколько диафрагм в пространстве изображений. Определить, какая из них является апертурной.



### Решение

Необходимо выяснить, какая из них наиболее сильно ограничивает пучок, исходящий из осевой точки предмета.

Для этого необходимо все диафрагмы перенести в пространство предметов - найти сопряженные с заданными диафрагмы в пространстве изображений. Перенос производится по правилам построения хода лучей:



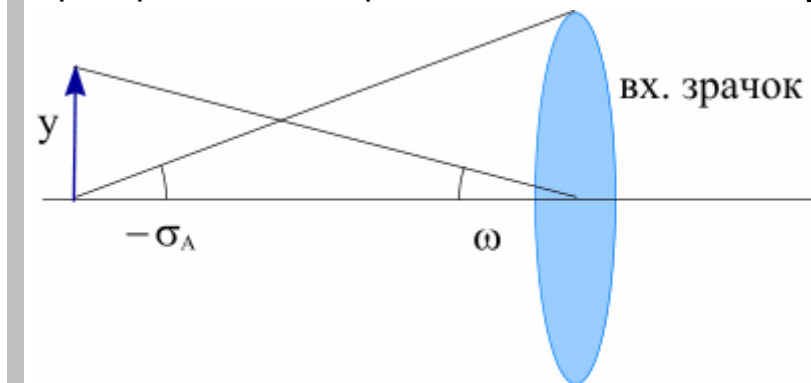
После этого необходимо выяснить тип предмета, от которого зависит выбор диафрагмы. Мы рассмотрим два случая.

Для ближнего типа выбираем тот "зрачок", край которого виден под наименьшим углом из осевой точки предмета.

Для предмета дальнего типа апертурной будет та диафрагма, диаметр которой в пространстве предметов будет наименьшим.

### Определение углового и линейного поля. Задача

Величина предмета  $y=10$  мм. Определить линейное поле в пространстве изображений, если линейное увеличение  $\beta=-3$ .



### Решение

Линейное поле в пространстве изображений  $2y'$  зависит от величины предмета и линейного увеличения:

$$y' = \beta \cdot y = -3 \cdot 10 = -30 \text{ (мм)}.$$

$$2y' = 60 \text{ (мм)}.$$

**Ответ:** линейное поле в пространстве изображений  $2y'=60$  мм.

### Задача

Величина изображения  $y'=10$  мм. Определить диаметр полевой диафрагмы в плоскости предмета, если угловое увеличение системы  $W=-0.5$ .

#### Решение

Размер полевой диафрагмы соответствует размеру поля. Линейное поле в пространстве предметов  $2y$  зависит от величины изображения и линейного увеличения:  
 $y=y'/\beta$ .

Линейное увеличение - величина, обратная угловому:  
 $\beta=1/W=1/(-0.5)=-2$ .

$$D_{\text{ПД}}=2 \cdot y=2 \cdot y'/\beta=2 \cdot 10/2=10 \text{ (мм)}$$

**Ответ: Диаметр полевой диафрагмы 10 мм.**

---

### Задача

Чему равен коэффициент виньетирования сверху, если диаметр апертурной диафрагмы 20 мм, а высота верхнего луча внеосевого пучка на апертурной диафрагме 5 мм?

#### Решение:

Высота пучка показывает нам зарезание пучка лучей. Оно соответствует величине:

$$a_{\text{в}}=D_{\text{АД}}/2-h_{\text{в}}=10-5=5$$

$$K_{\text{в}}=2 \cdot a/D=2 \cdot 5/20=0.5$$

**Ответ: Коэффициент виньетирования  $K=0.5$**

---

### Задача

Диаметр апертурной диафрагмы составляет 20 мм. Определить коэффициент виньетирования, если снизу из-за виньетирующей диафрагмы срезается 2 мм.

#### Решение

$$K=2 \cdot a/D=2 \cdot 2/20=0.2$$

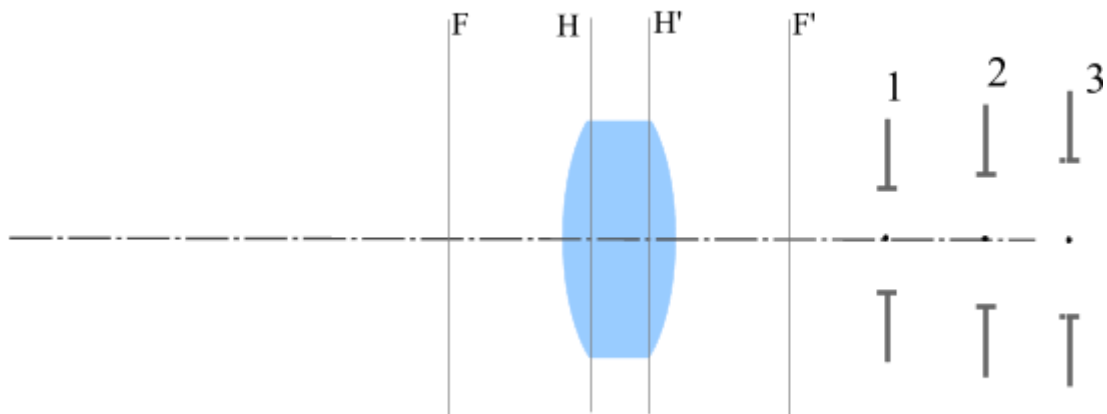
**Ответ: Коэффициент виньетирования  $K=0.2$**

---

### **Задачи для самостоятельной работы**

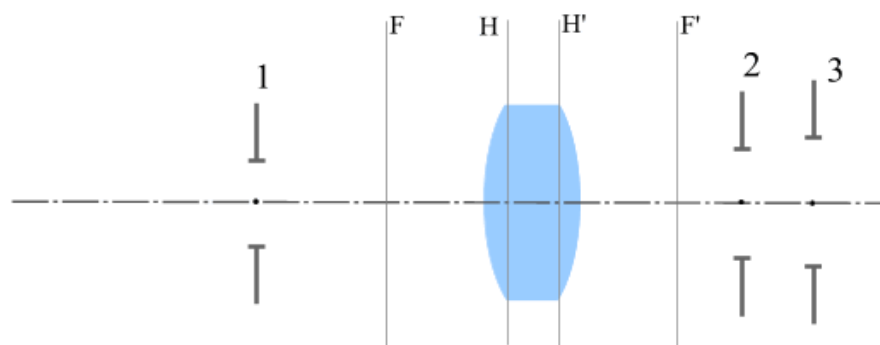
1. Относительное отверстие объектива 1:4. Фокусное расстояние 40 мм. Апертурная диафрагма находится перед объективом на расстоянии  $a=-200$  мм. Определить диаметр выходного зрачка.
2. Линейное увеличение  $\beta=-0.62$ . Относительное отверстие объектива 1:2. Фокусное расстояние 50 мм. Определить диаметр выходного зрачка.
3. В пространстве предметов - телецентрический ход главного луча. Параметры линзы:  $d=9$  мм,  $r_2=-40$  мм первая поверхность - плоская,  $n=1.5$ . Найти положение выходного зрачка. Ответ дать в мм.

4. В пространстве изображений - телецентрический ход главного луча. Параметры линзы:  $d=6$  мм,  $r_2=-50$ , первая поверхность - плоская,  $n=1.5$ . Найти положение входного зрачка. Ответ дать в мм.
5. Апертурная диафрагма находится на расстоянии 65 мм от последней поверхности линзы. Параметры линзы:  $d=9$  мм, вторая поверхность - плоская,  $r_1=20$  мм,  $n=1.5$ . Найти положение входного зрачка относительно первой поверхности линзы. Ответ дать в мм.
6. Апертурная диафрагма находится за тонкой линзой на расстоянии 50 мм. Фокусное расстояние линзы 10 мм. Найти положение входного зрачка. Ответ дать в мм.
7. Угловое поле в пространстве предметов  $30^\circ$ . Линейное увеличение системы  $-0.4$ . Определить угловое поле в пространстве изображений.
8. Диаметр апертурной диафрагмы составляет 45 мм. Определить коэффициент виньетирования, если снизу из-за виньетирующей диафрагмы срезается 4 мм.
9. Определить, какая из заданных диафрагм является апертурной

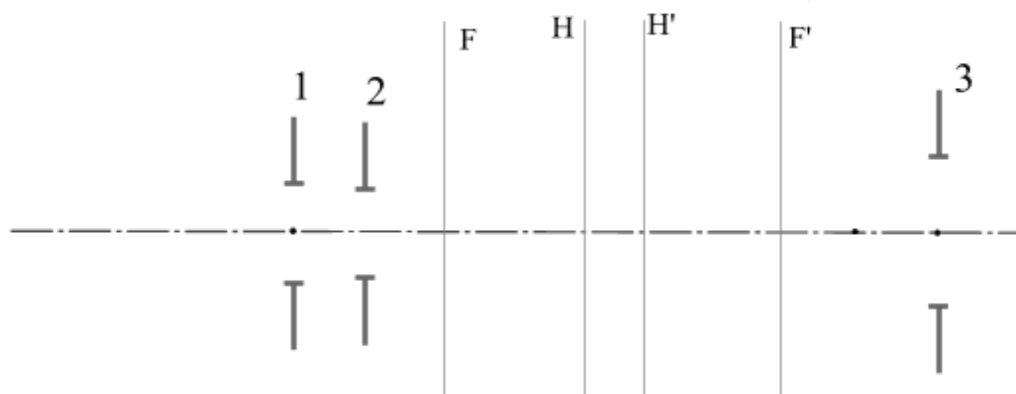




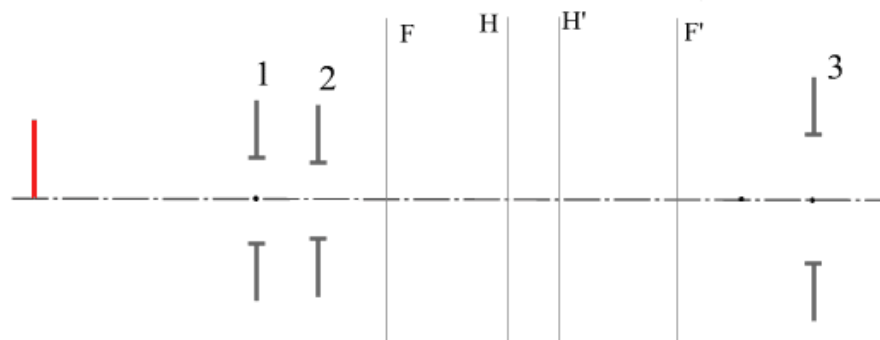
10. Определить, какая из заданных диафрагм является апертурной



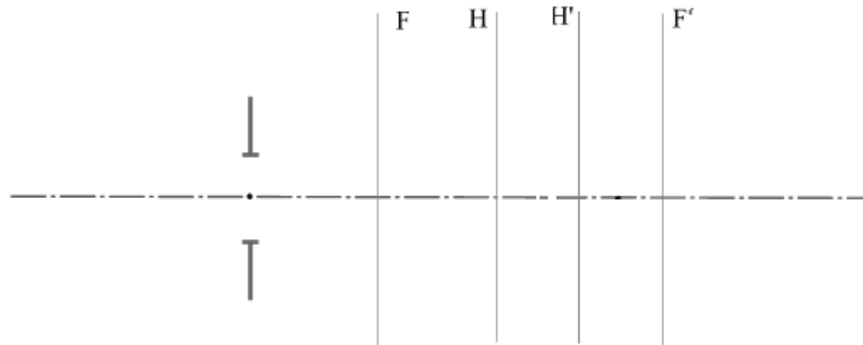
11. Определить, какая из заданных диафрагм является апертурной. Тип предмета - дальний.



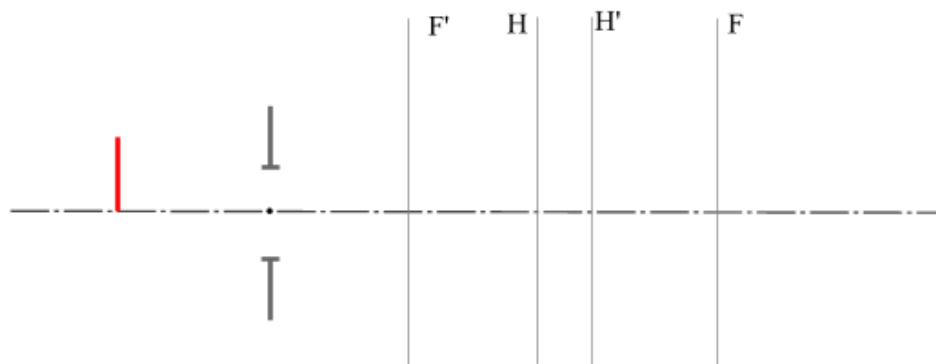
12. Определить, какая из заданных диафрагм является апертурной. Тип предмета - ближний.



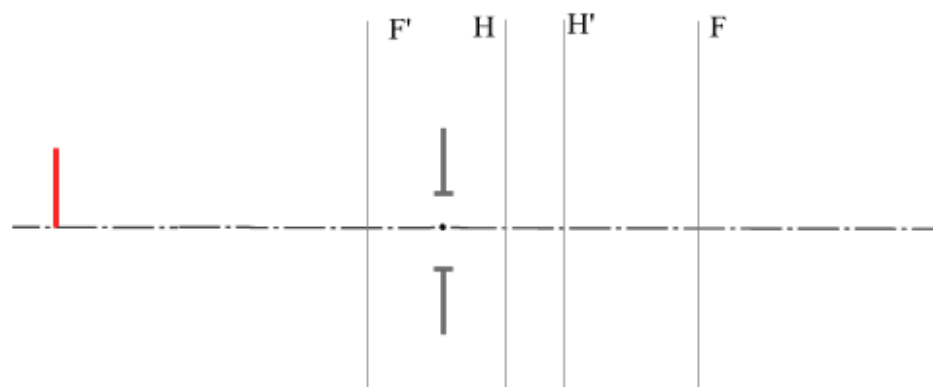
13. Задана апертурная диафрагма для системы. Определить положение и размеры выходного и входного зрачков.



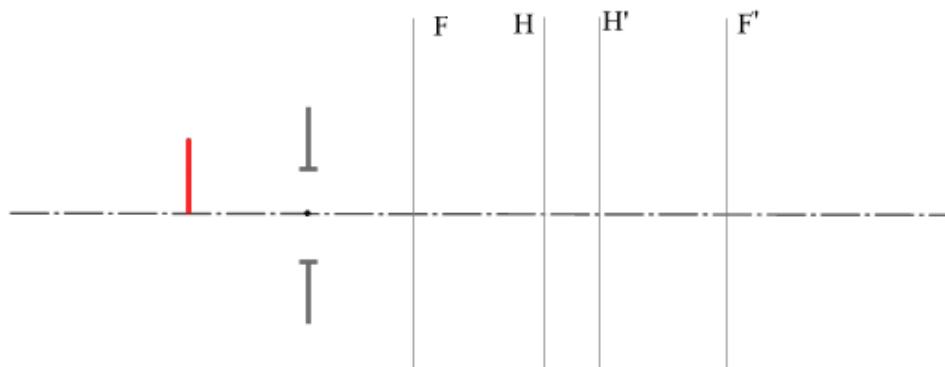
14. Заданы предмет и входной зрачок. Построить ход апертурного и главного лучей в системе и выходной зрачок.



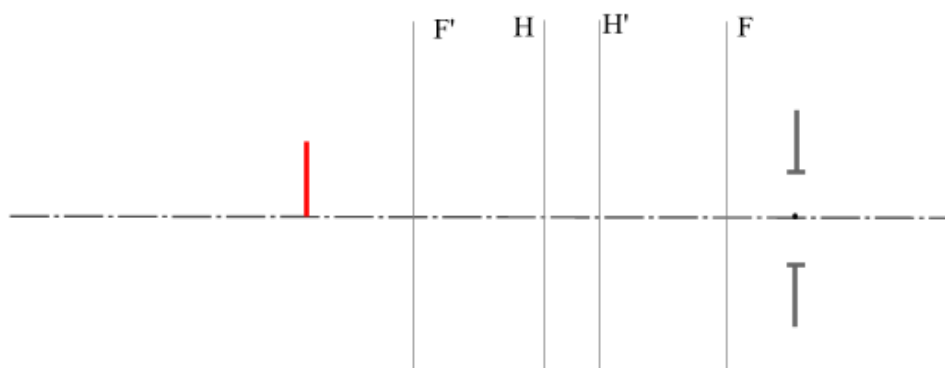
15. Заданы предмет и выходной зрачок. Построить ход апертурного и главного лучей в системе и входной зрачок.



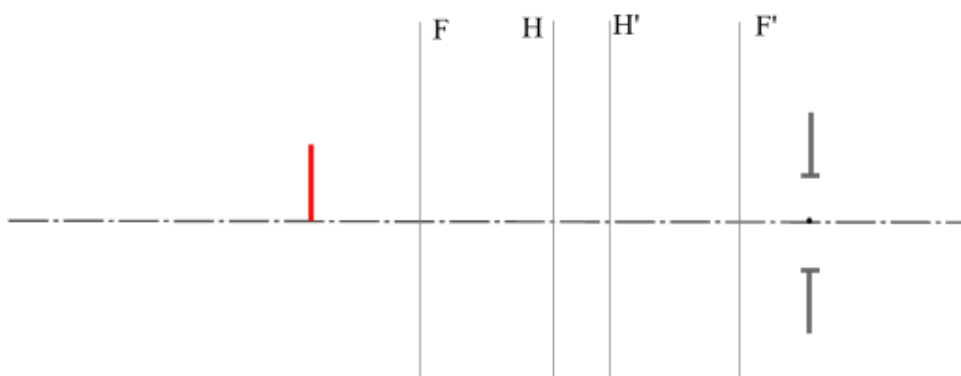
16. Заданы предмет и входной зрачок. Построить ход апертурного и главного лучей в системе и выходной зрачок.



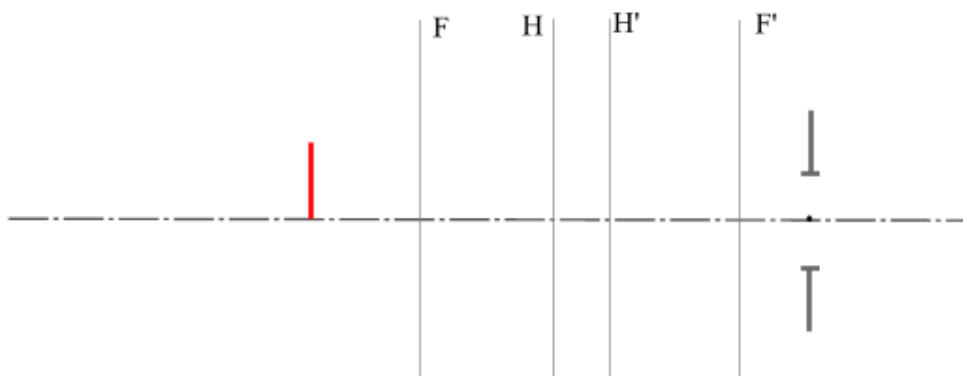
17. Заданы предмет и входной зрачок. Построить ход апертурного и главного лучей в системе и выходной зрачок.



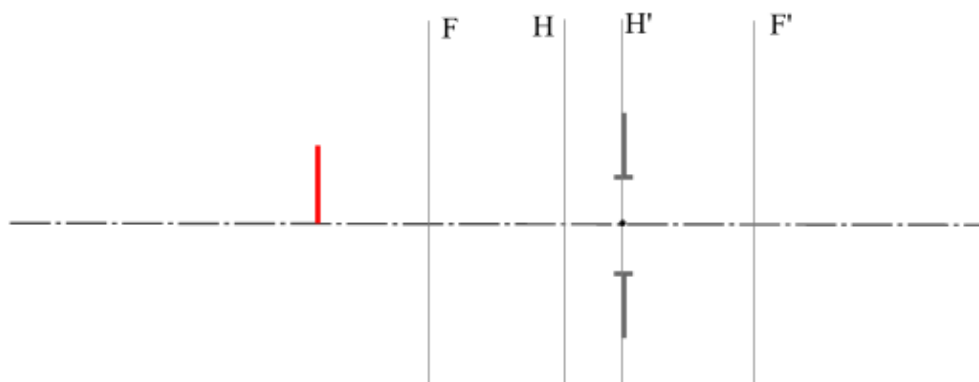
18. Заданы предмет и входной зрачок. Построить ход апертурного и главного лучей в системе и выходной зрачок.



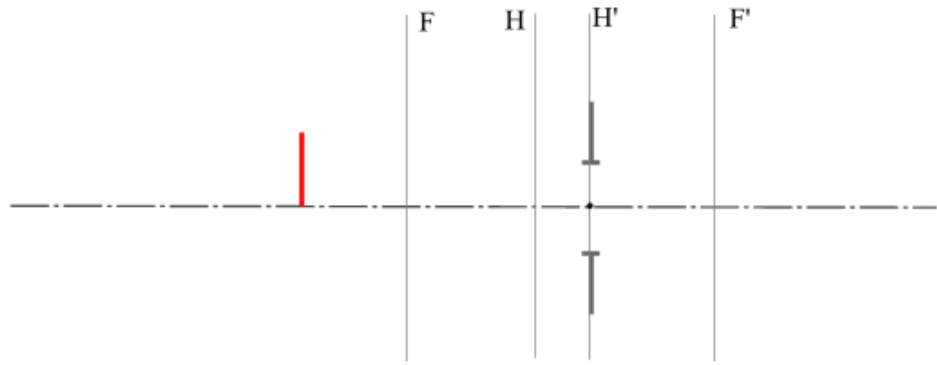
19. Заданы предмет и выходной зрачок. Построить ход апертурного и главного лучей в системе и входной зрачок.



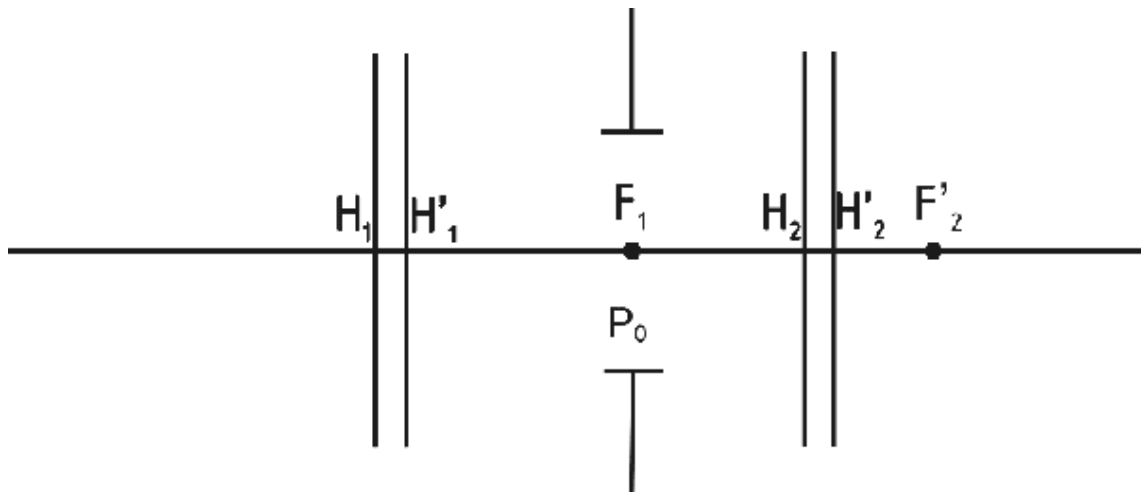
20. Заданы предмет и входной зрачок. Построить ход апертурного и главного лучей в системе и выходной зрачок.



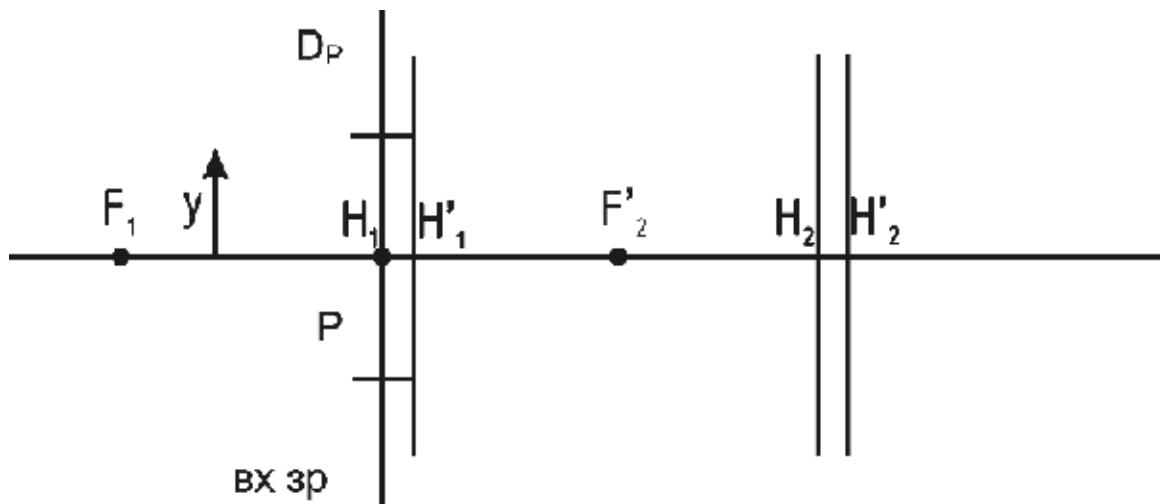
21. Заданы предмет и выходной зрачок. Построить ход апертурного и главного лучей в системе и входной зрачок.



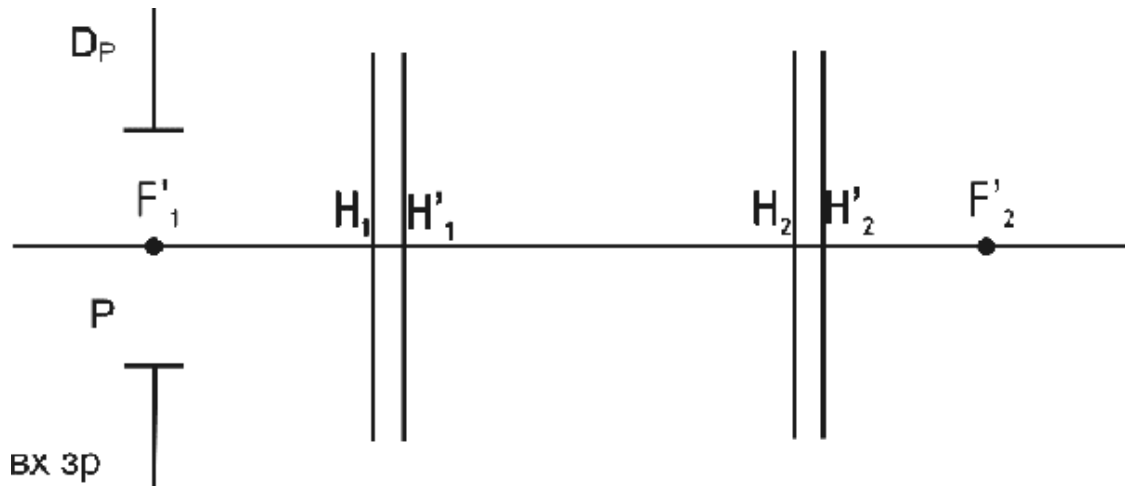
22. На рисунке показана АД. Графически определить положения и размеры входного и выходного зрачков.



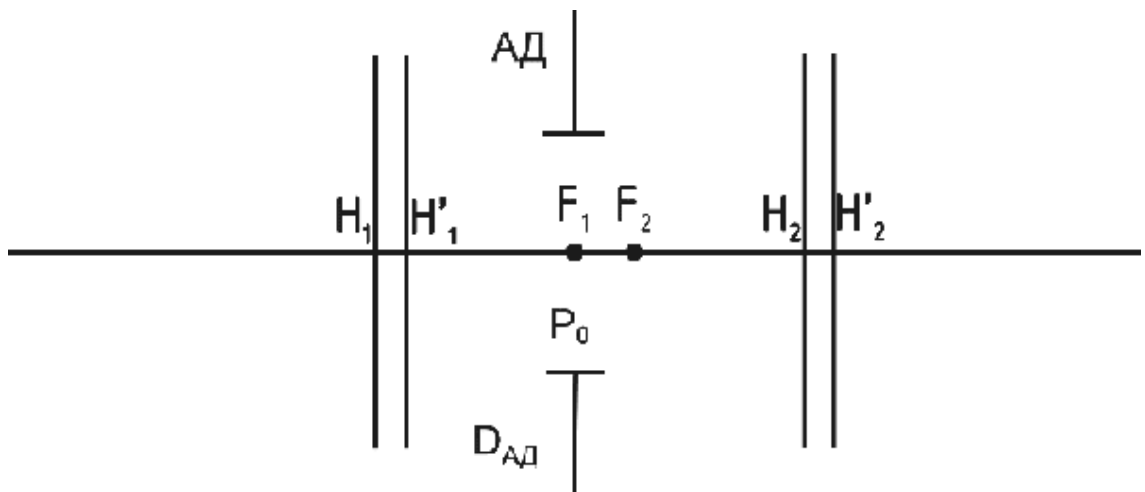
23. Построить изображение  $y'$ , определить положение и размер выходного зрачка с помощью апертурного и главного лучей.



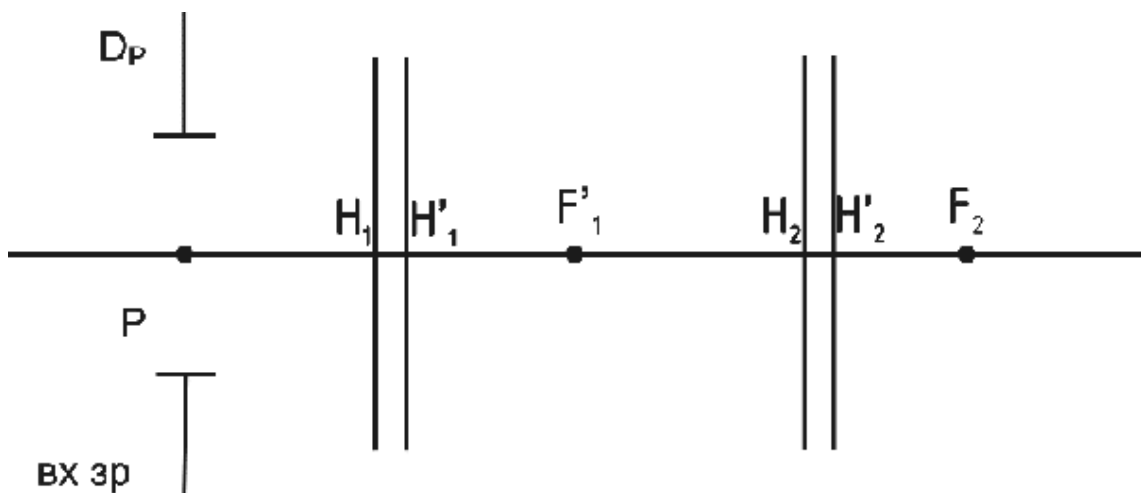
24. Предмет в бесконечности. Угол  $w$  любой. Найти положение и размер выходного зрачка графически с помощью двух лучей - апертурного и главного.



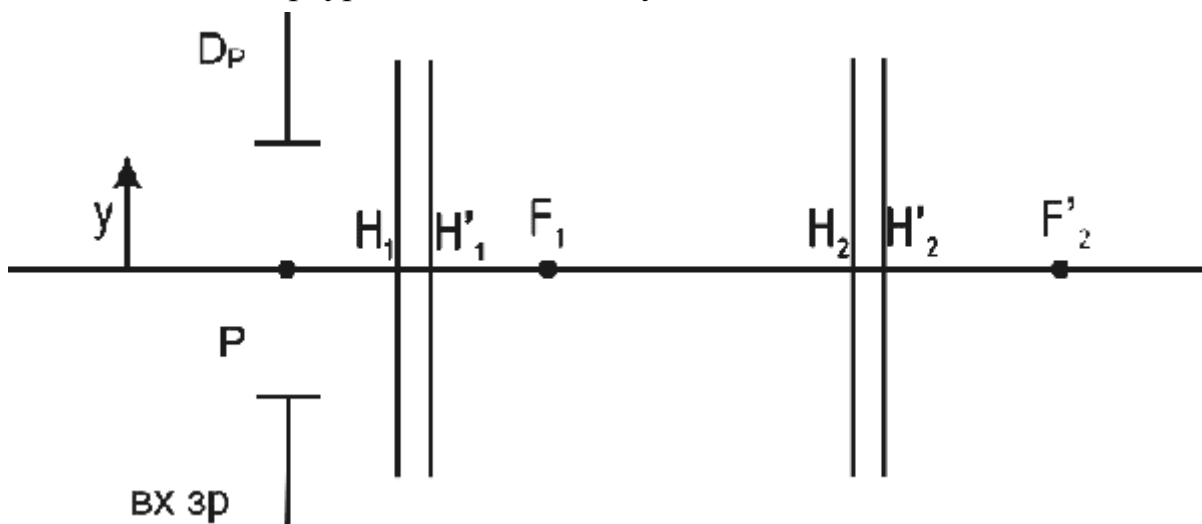
25. На рисунке показана АД. Графически определить положения и размеры входного и выходного зрачков.



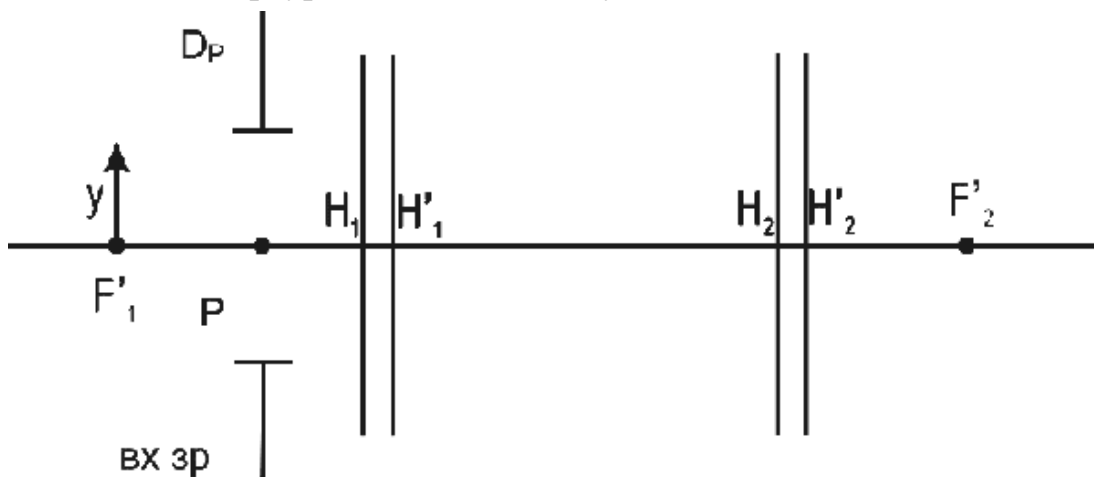
26. Предмет в бесконечности. Угол  $w$  любой. Найти положение и размер выходного зрачка графически с помощью двух лучей - апертурного и главного.



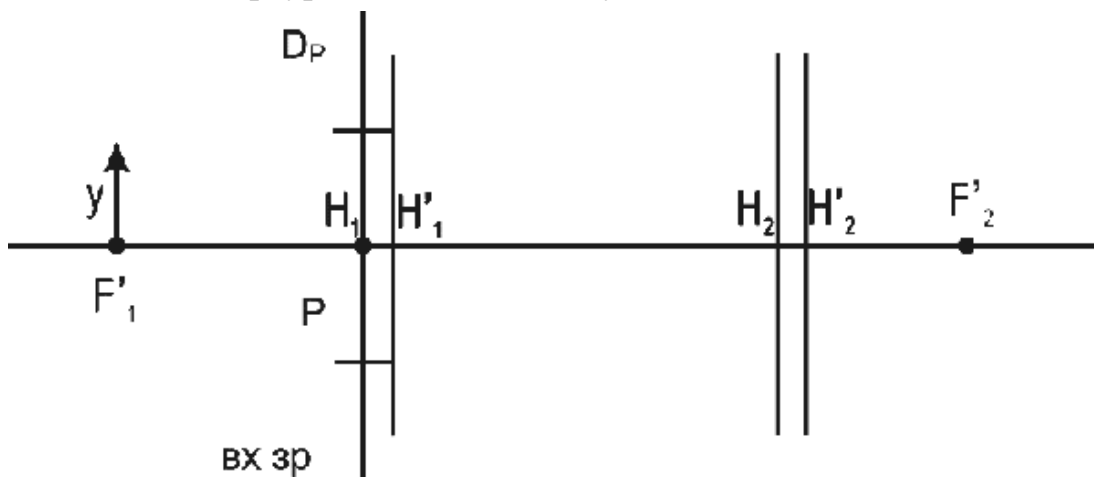
27. Построить изображение  $y'$ , определить положение и размер выходного зрачка с помощью апертурного и главного лучей.



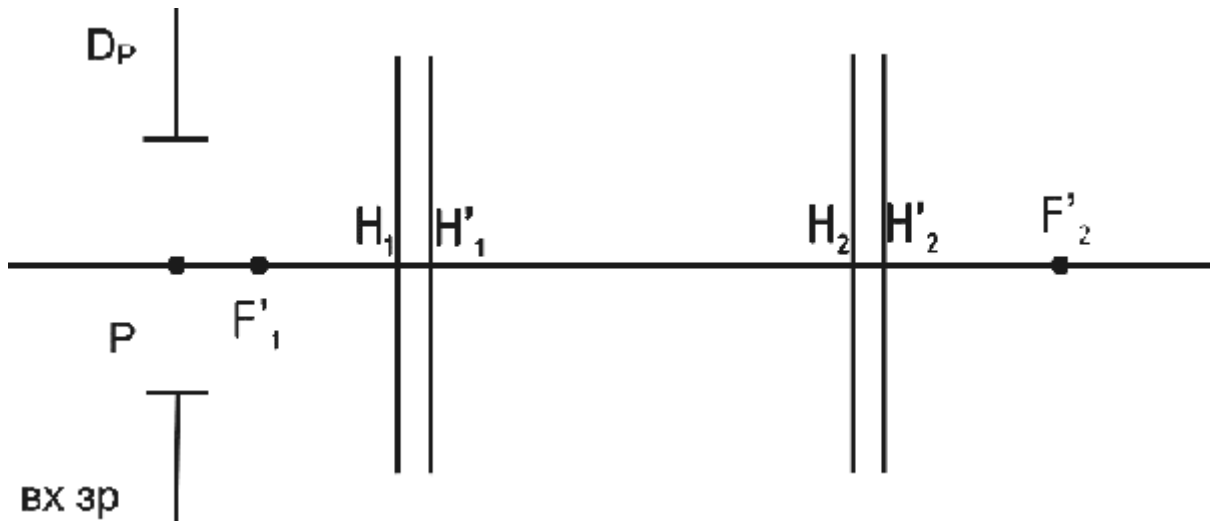
28. Построить изображение  $y'$ , определить положение и размер выходного зрачка с помощью апертурного и главного лучей.



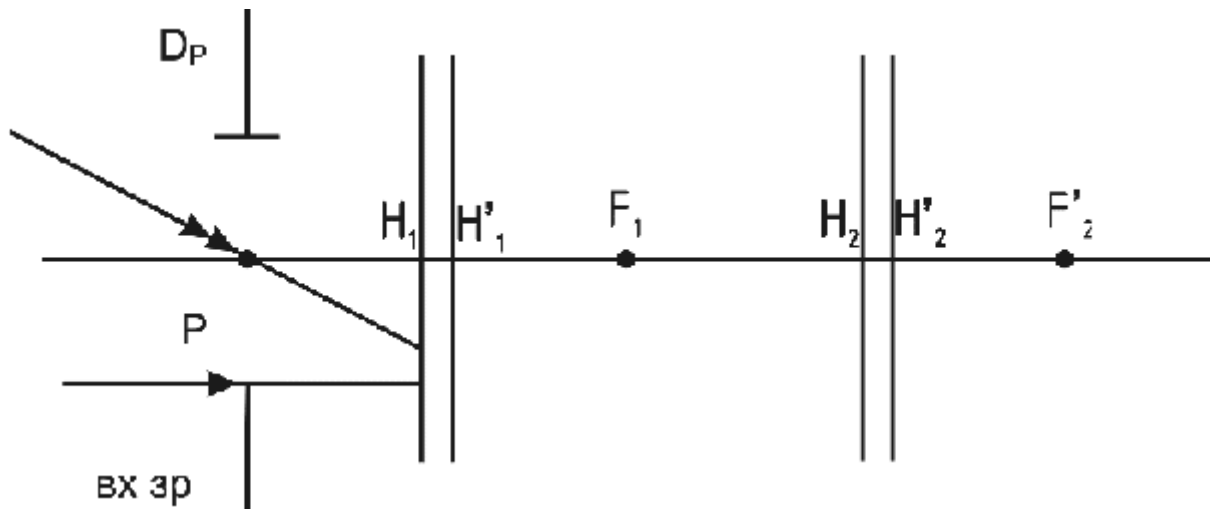
29. Построить изображение  $y'$ , определить положение и размер выходного зрачка с помощью апертурного и главного лучей.



30. Предмет в бесконечности. Угол  $w$  любой. Найти положение и размер выходного зрачка графически с помощью двух лучей - апертурного и главного.

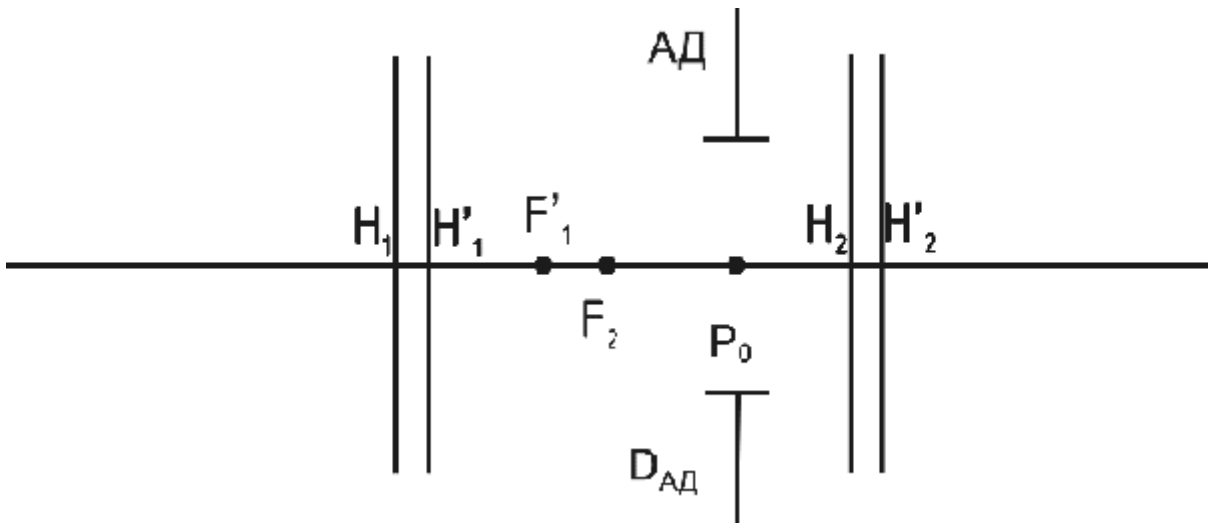


31. Графически определить положение и размер выходного зрачка с помощью заданных лучей.

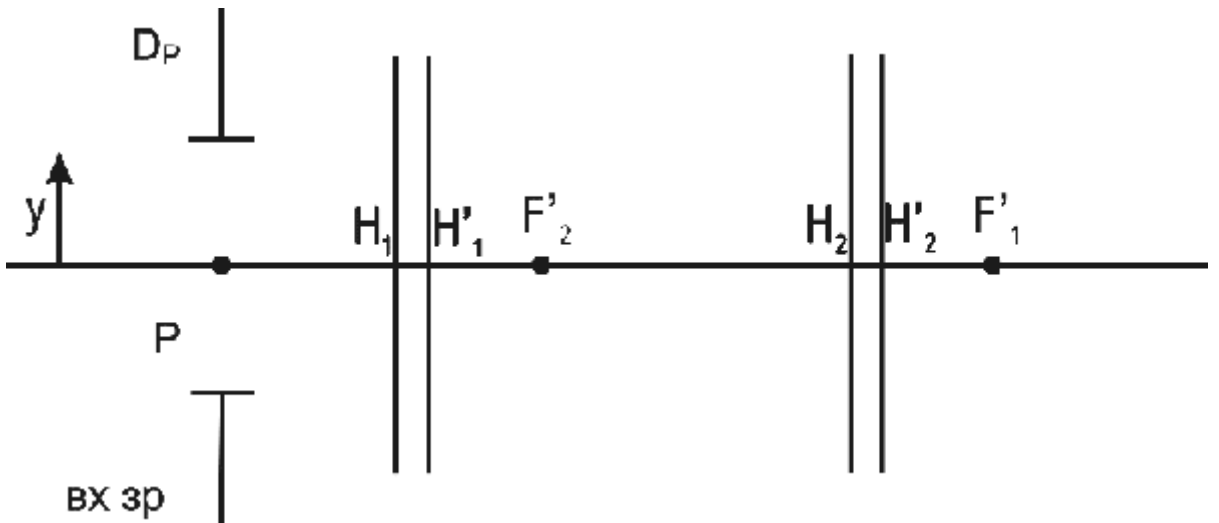


32. На рисунке показана АД. Графически определить положения и размеры входного и выходного зрачков.

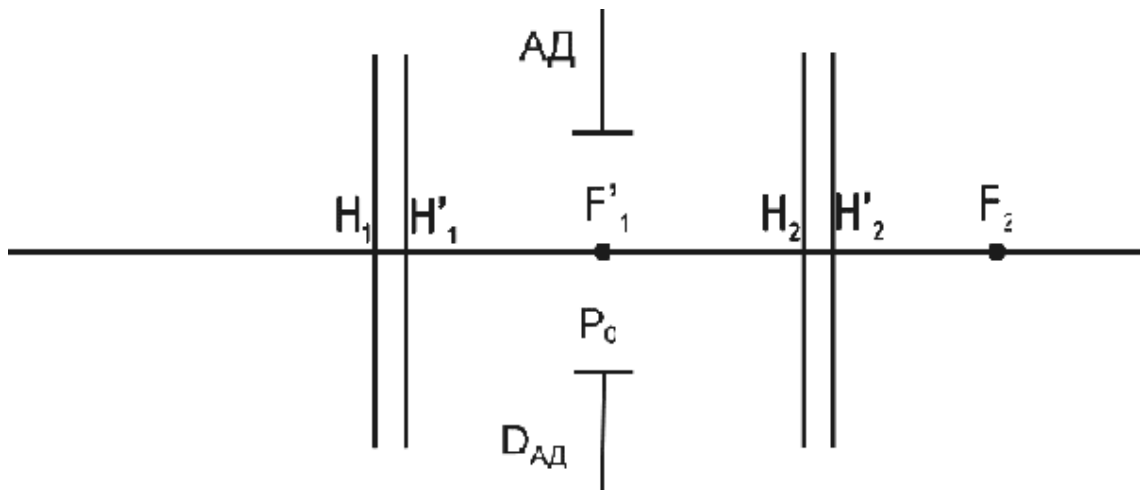




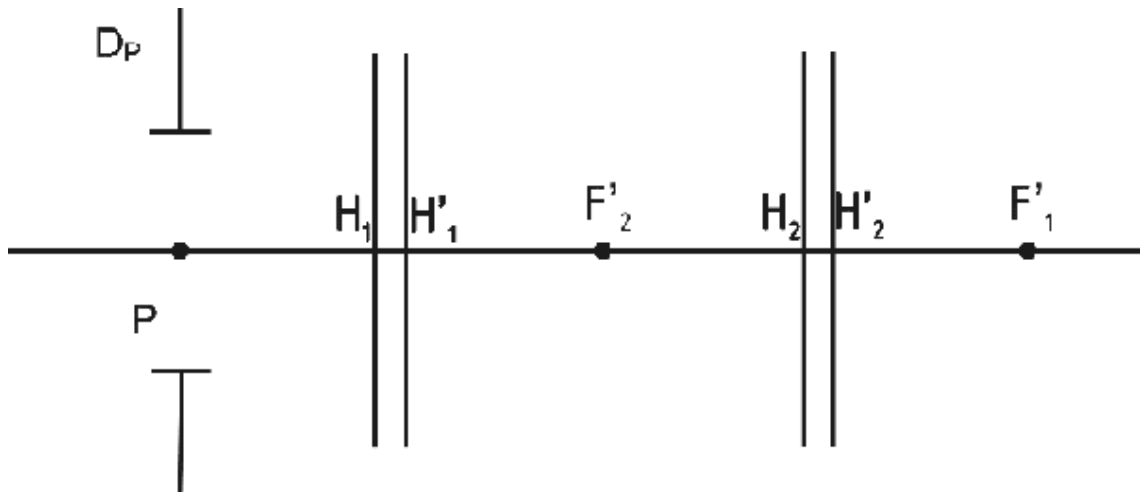
33. Построить изображение  $y'$ , определить положение и размер выходного зрачка с помощью апертурного и главного лучей.



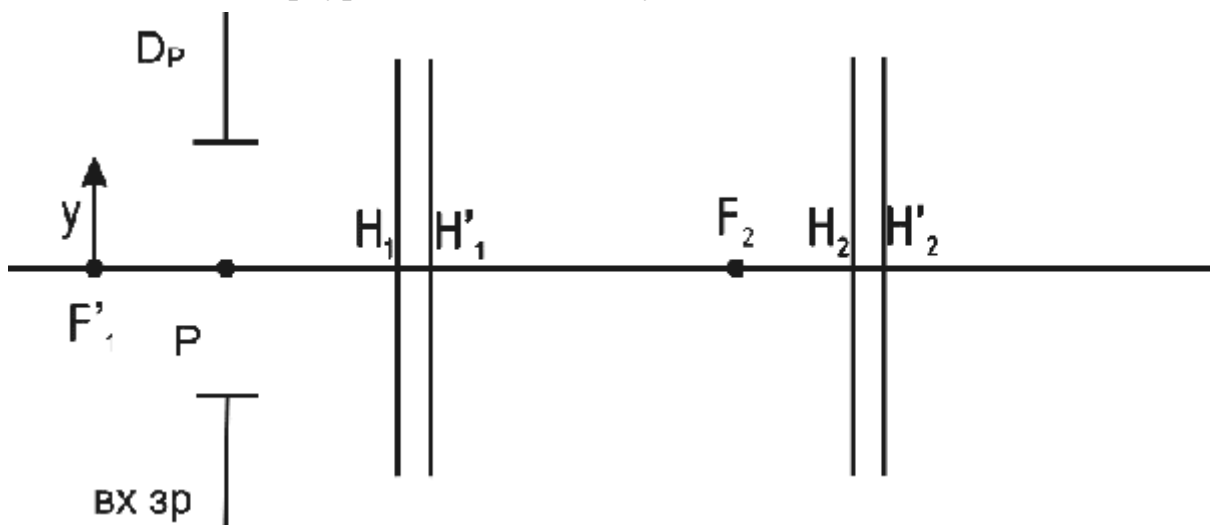
34. На рисунке показана АД. Графически определить положения и размеры входного и выходного зрачков.



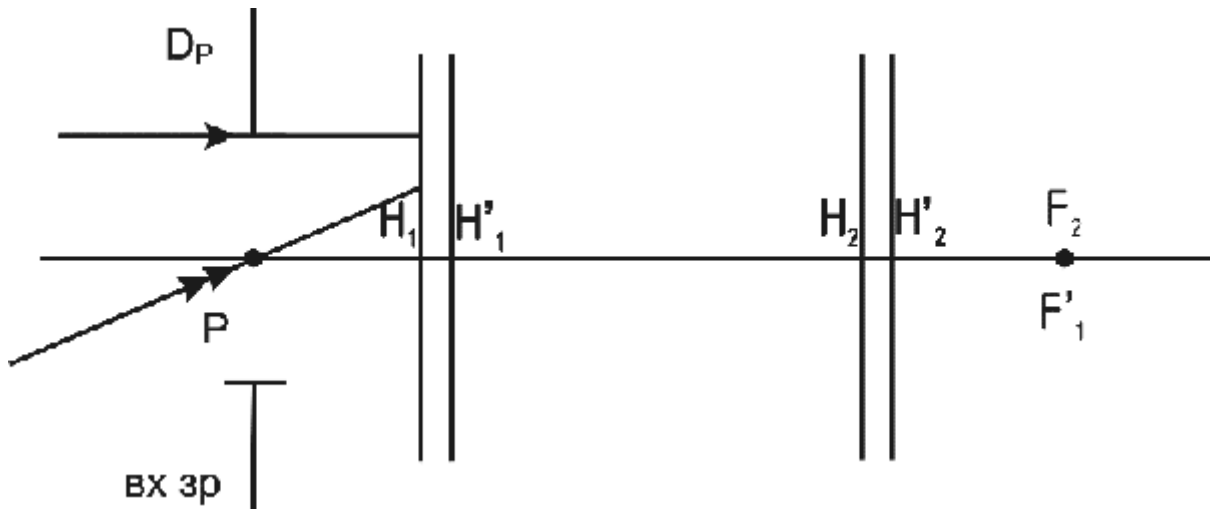
35. Предмет в бесконечности. Угол  $w$  любой. Найти положение и размер выходного зрачка графически с помощью двух лучей - апертурного и главного.



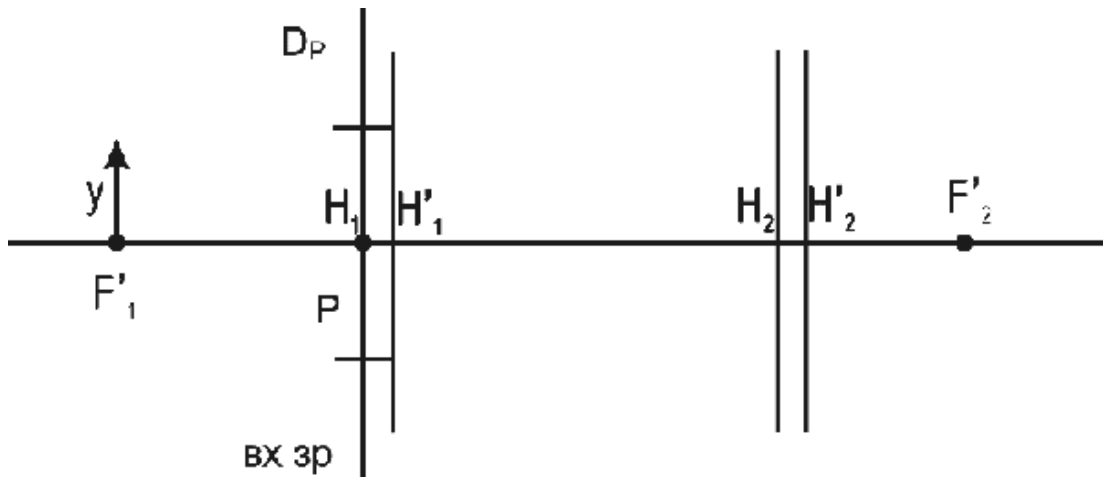
36. Построить изображение  $y'$ , определить положение и размер выходного зрачка с помощью апертурного и главного лучей.



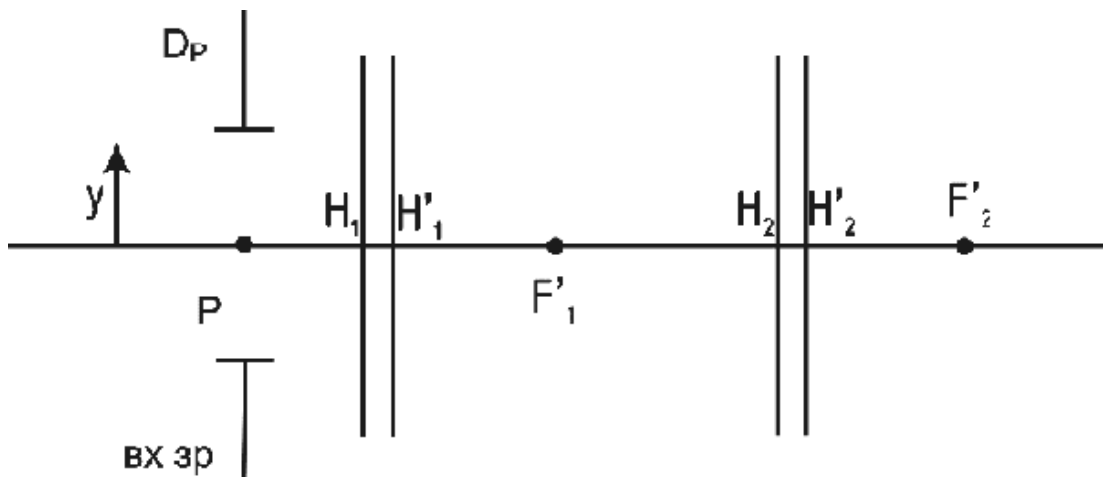
37. Графически определить положение и размер выходного зрачка с помощью заданных лучей.



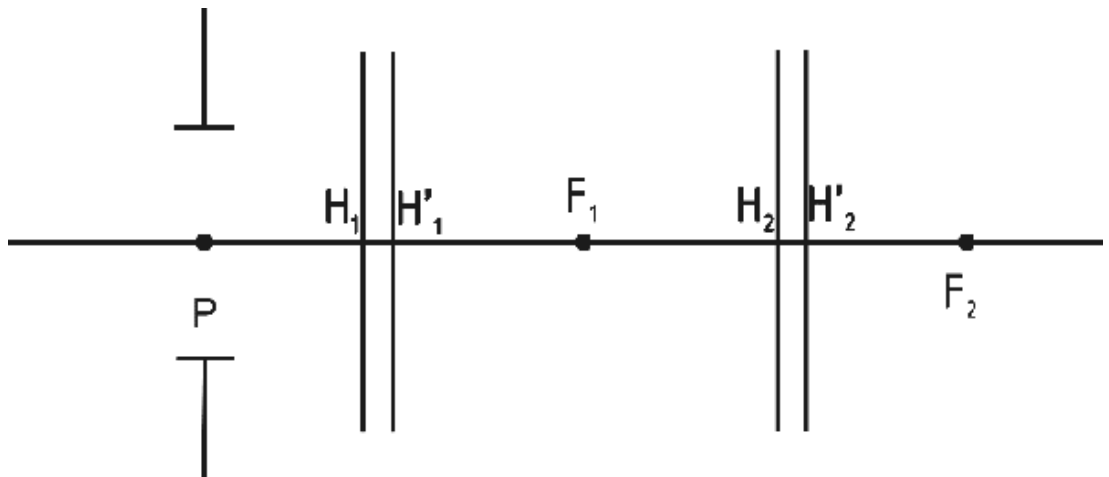
38. Построить изображение  $y'$ , определить положение и размер выходного зрачка с помощью апертурного и главного лучей.



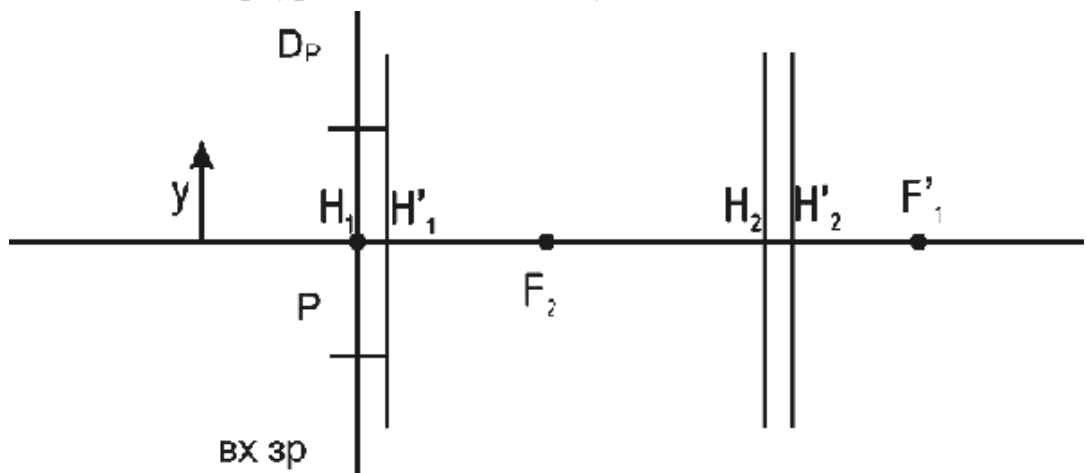
39. Построить изображение  $y'$ , определить положение и размер выходного зрачка с помощью апертурного и главного лучей.



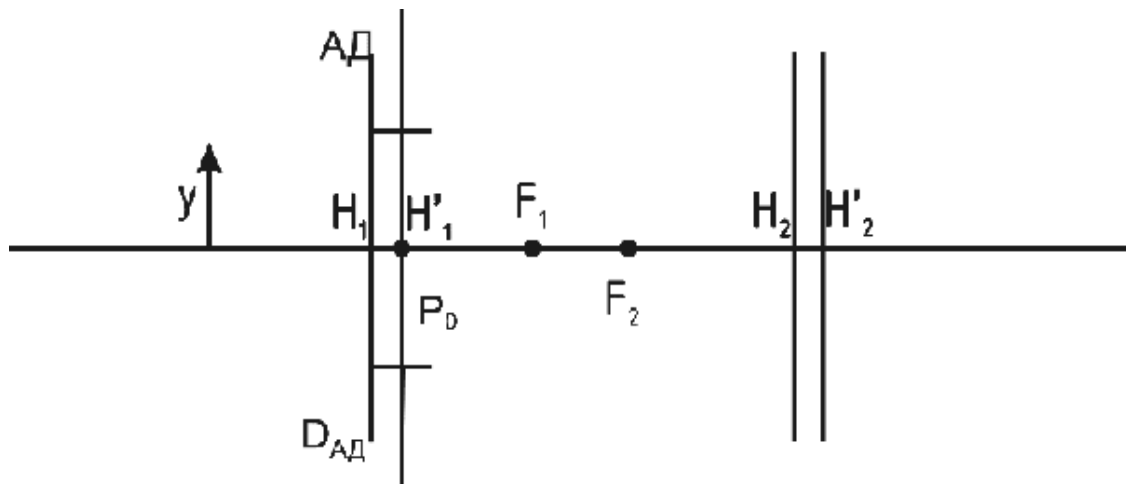
40. На рисунке показана АД. Графически определить положения и размеры входного и выходного зрачков.



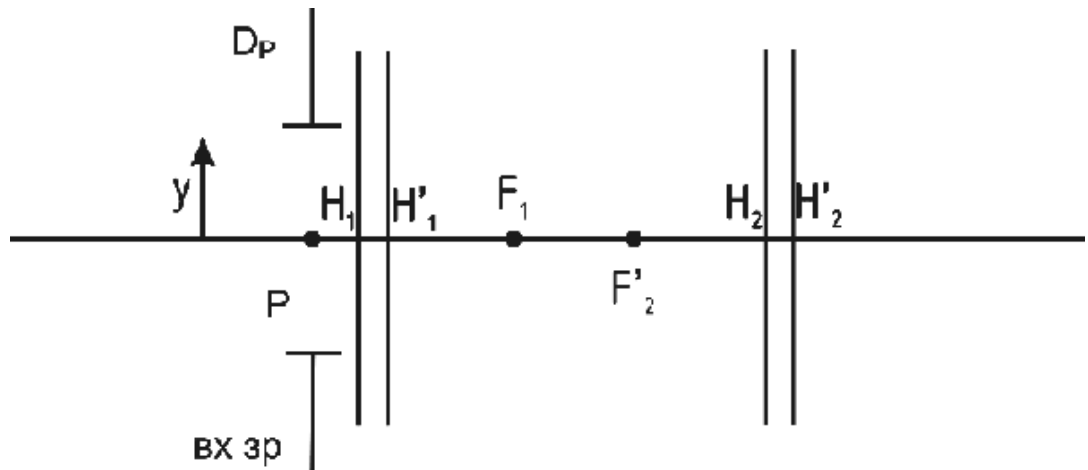
41. Построить изображение  $y'$ , определить положение и размер выходного зрачка с помощью апертурного и главного лучей.



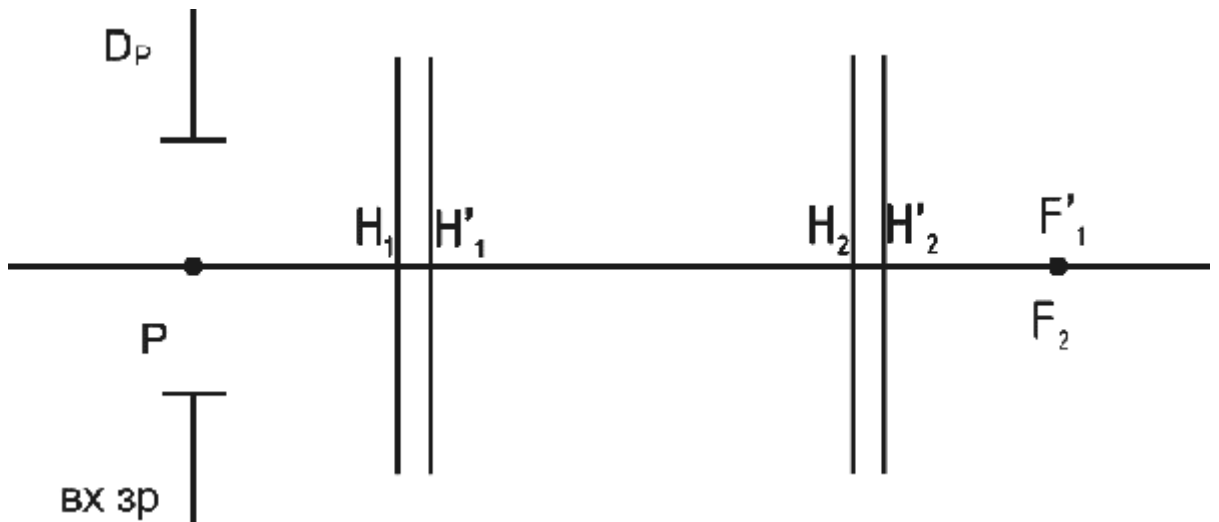
42. Построить изображение  $y'$ , определить положение и размер выходного зрачка с помощью апертурного и главного лучей.



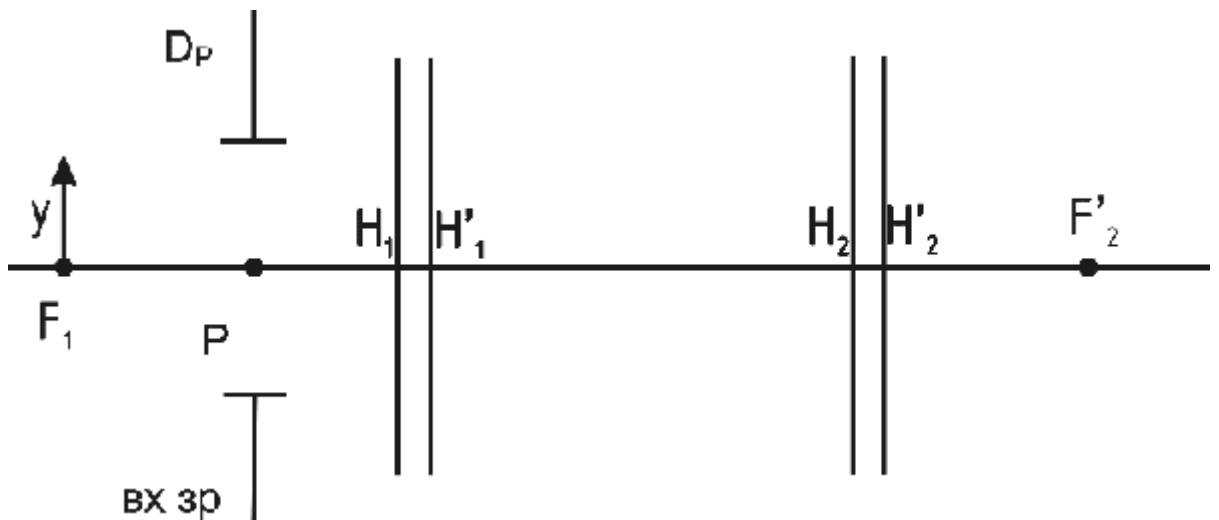
43. Построить изображение  $y'$ , определить положение и размер выходного зрачка с помощью апертурного и главного лучей.



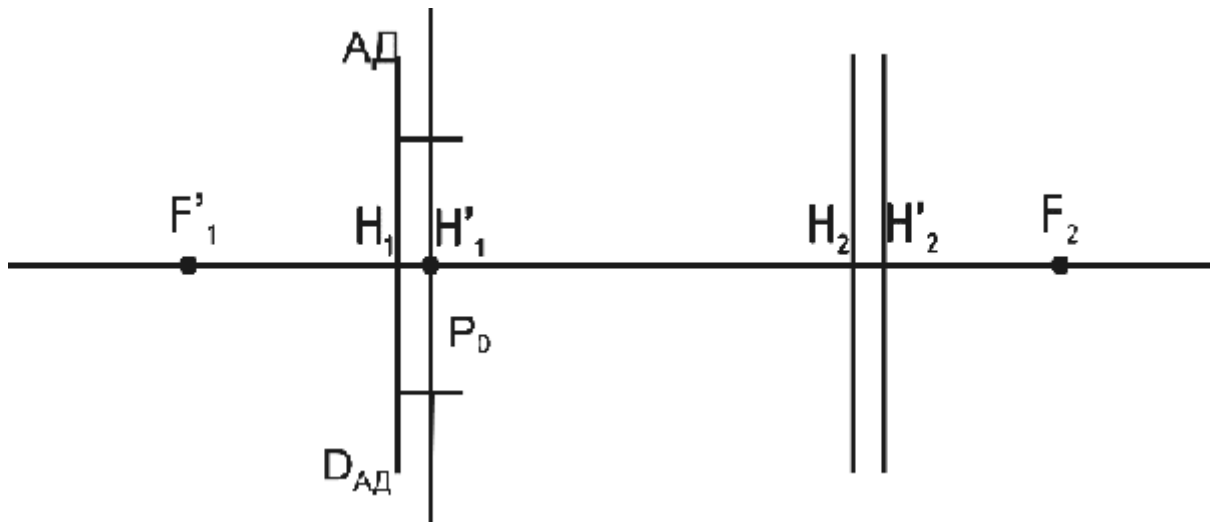
44. Предмет в бесконечности. Угол  $w$  любой. Найти положение и размер выходного зрачка графически с помощью двух лучей - апертурного и главного.



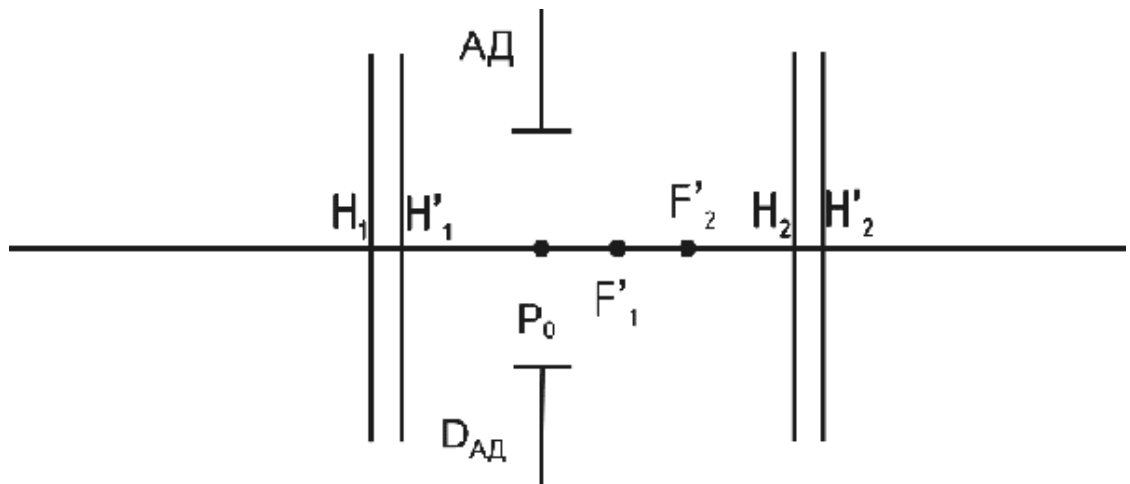
45. Построить изображение  $y'$ , определить положение и размер выходного зрачка с помощью апертурного и главного лучей.



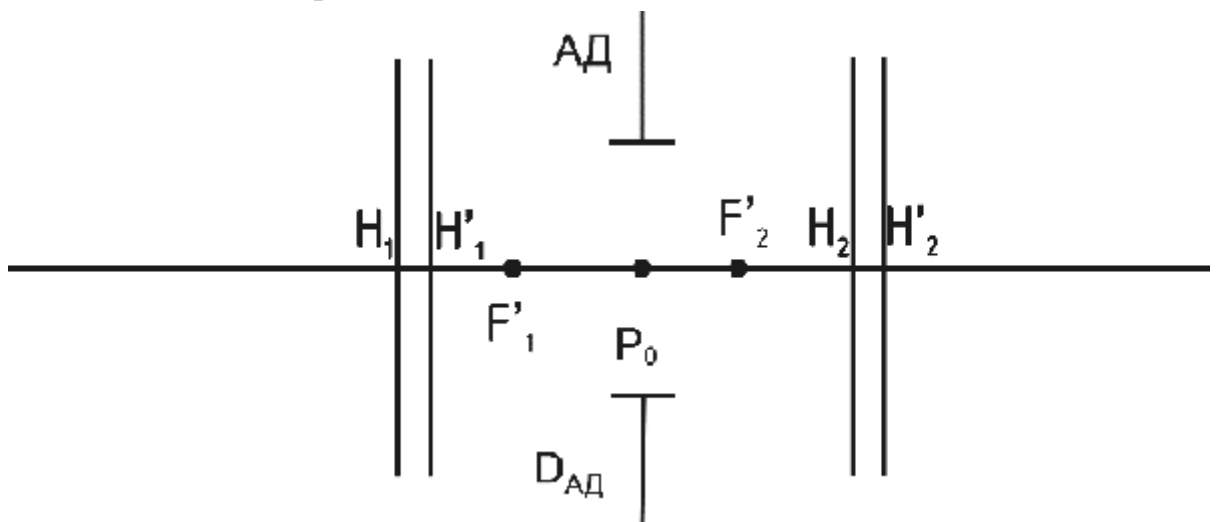
46. На рисунке показана АД. Графически определить положения и размеры входного и выходного зрачков.



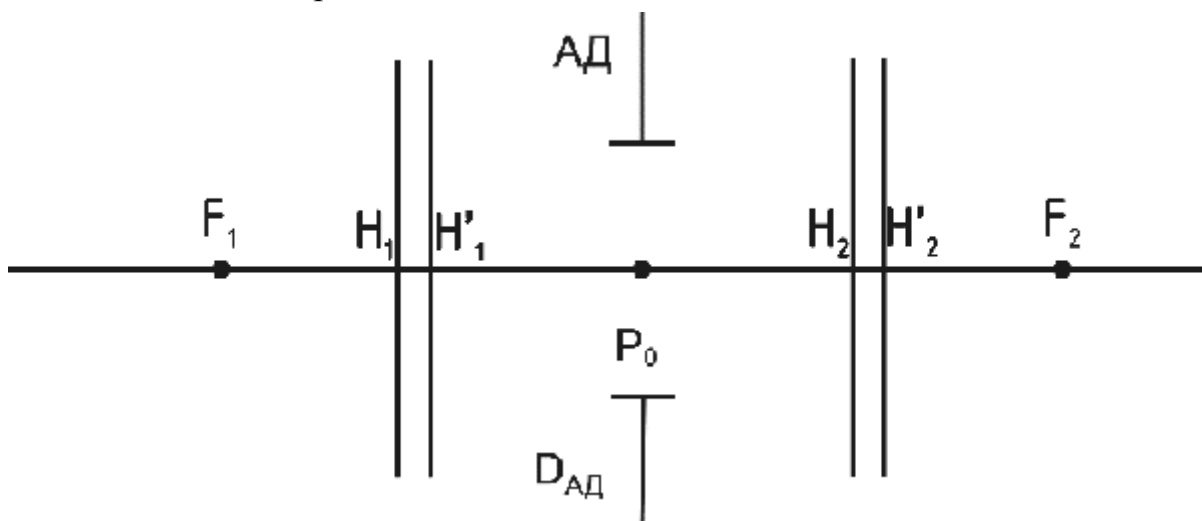
47. На рисунке показана АД. Графически определить положения и размеры входного и выходного зрачков.



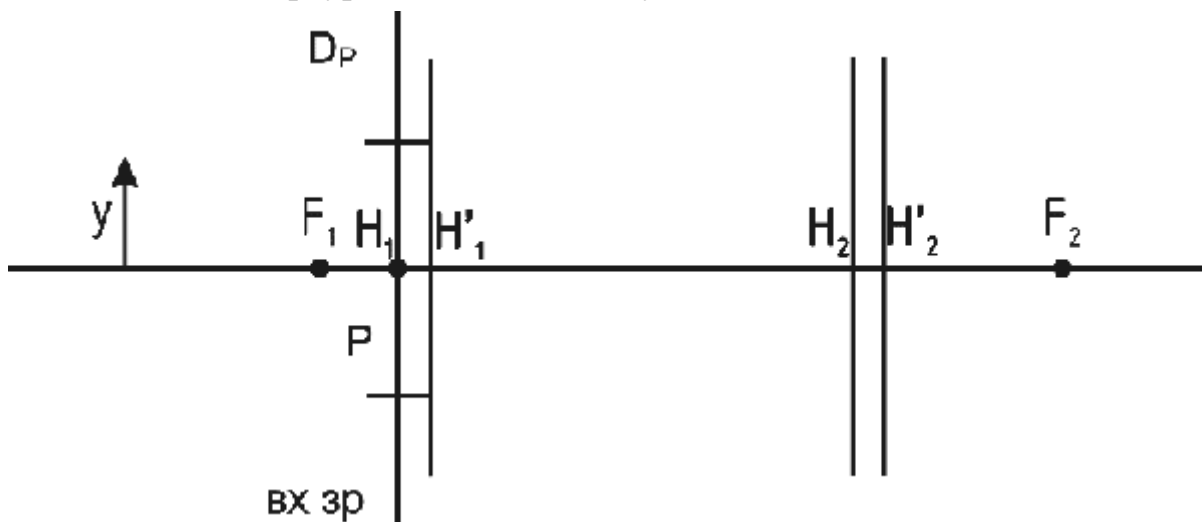
48. На рисунке показана АД. Графически определить положения и размеры входного и выходного зрачков.



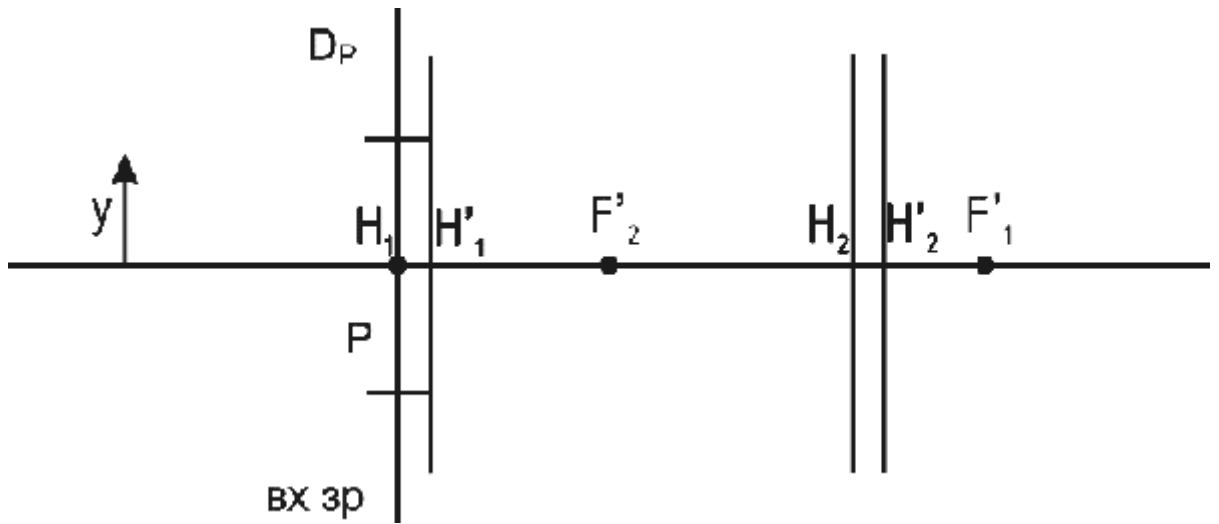
49. На рисунке показана АД. Графически определить положения и размеры входного и выходного зрачков.



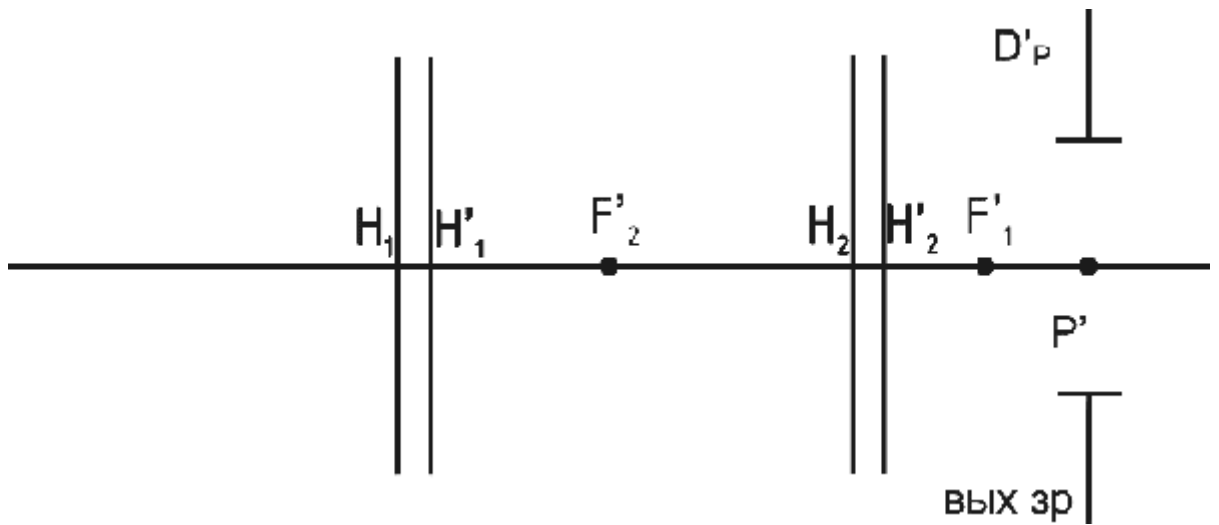
50. Построить изображение  $y'$ , определить положение и размер выходного зрачка с помощью апертурного и главного лучей.



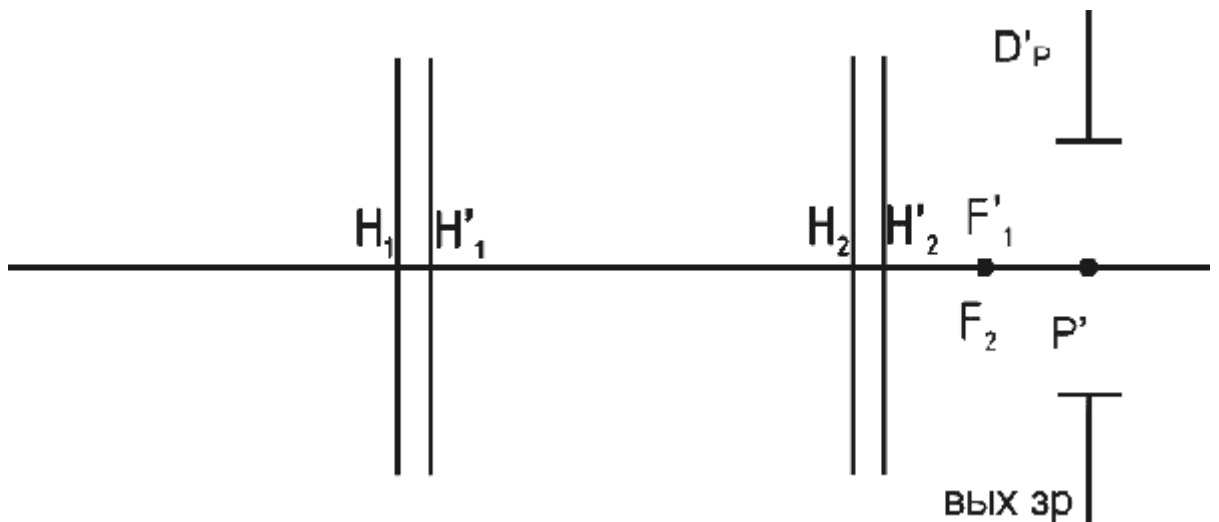
51. Построить изображение  $y'$ , определить положение и размер выходного зрачка с помощью апертурного и главного лучей.



52. Изображение в бесконечности. Угол  $w'$  любой. Найти положение и размер входного зрачка графически с помощью двух лучей - апертурного и главного.

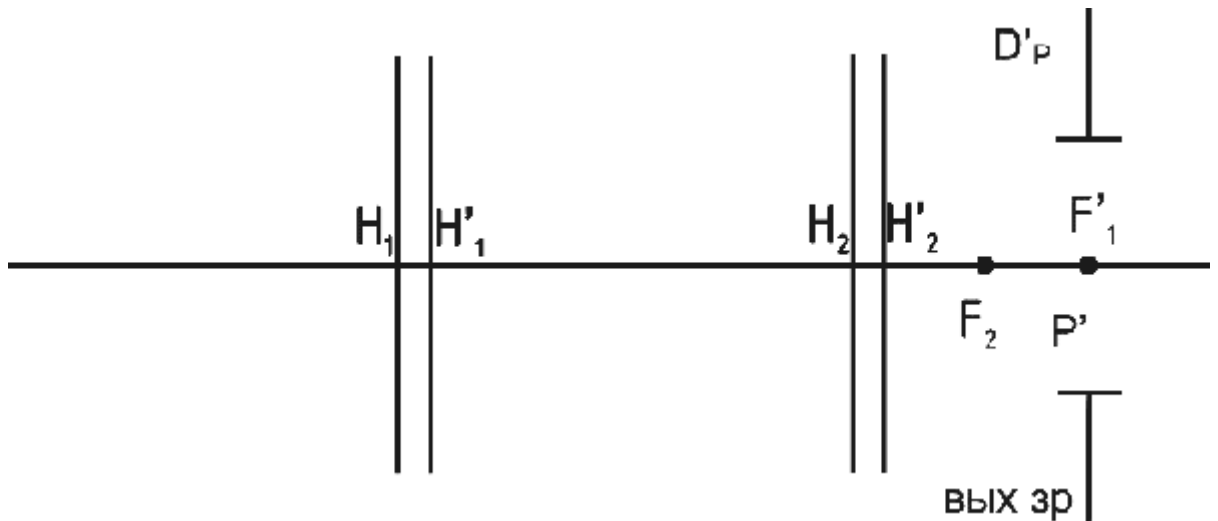


53. Изображение в бесконечности. Угол  $w'$  любой. Найти положение и размер входного зрачка графически с помощью двух лучей - апертурного и главного.

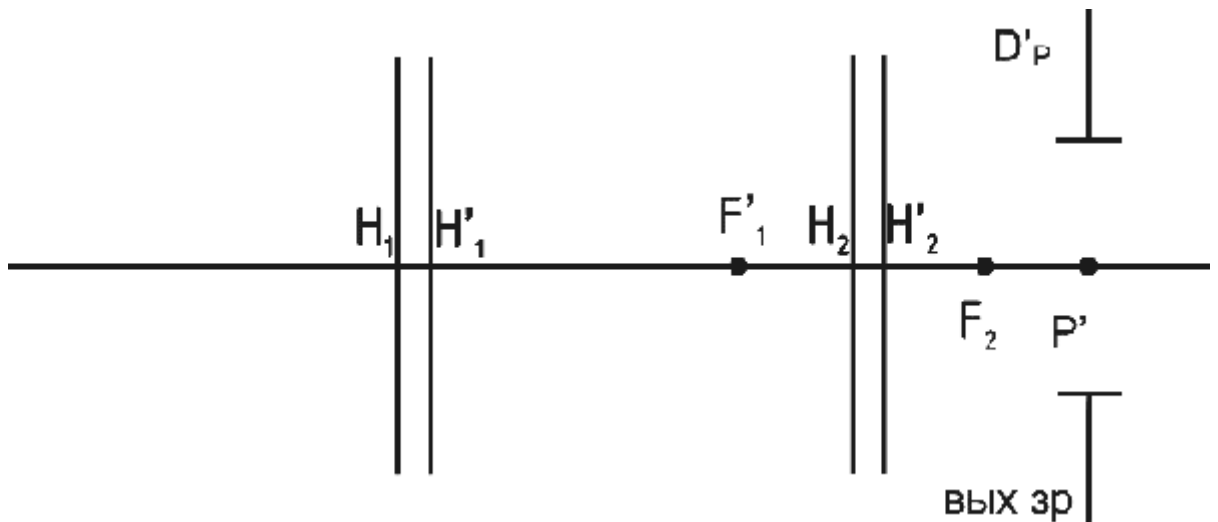




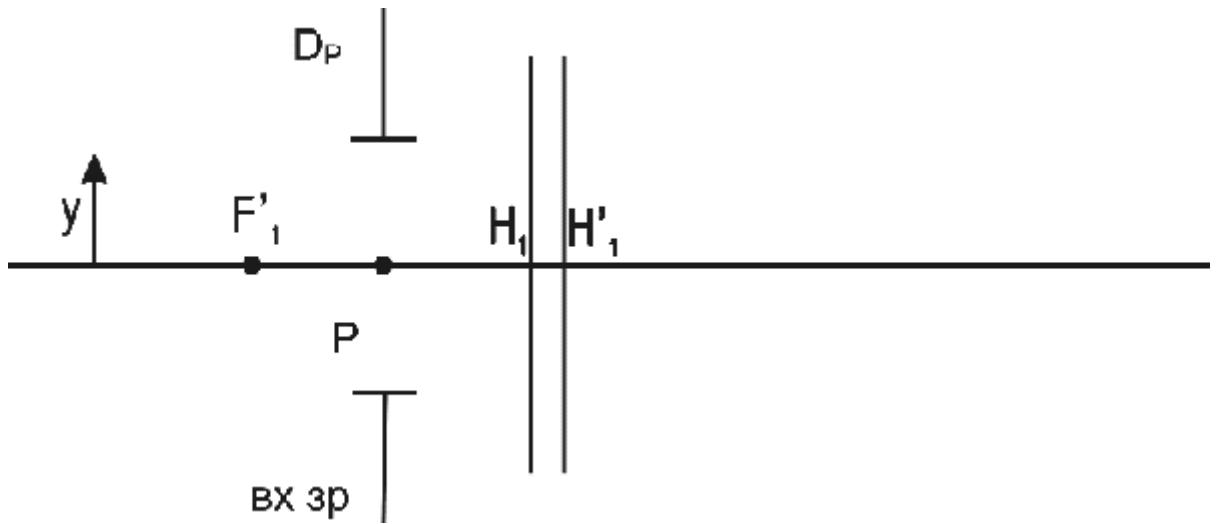
54. Изображение в бесконечности. Угол  $w'$  любой. Найти положение и размер входного зрачка графически с помощью двух лучей - апертурного и главного.



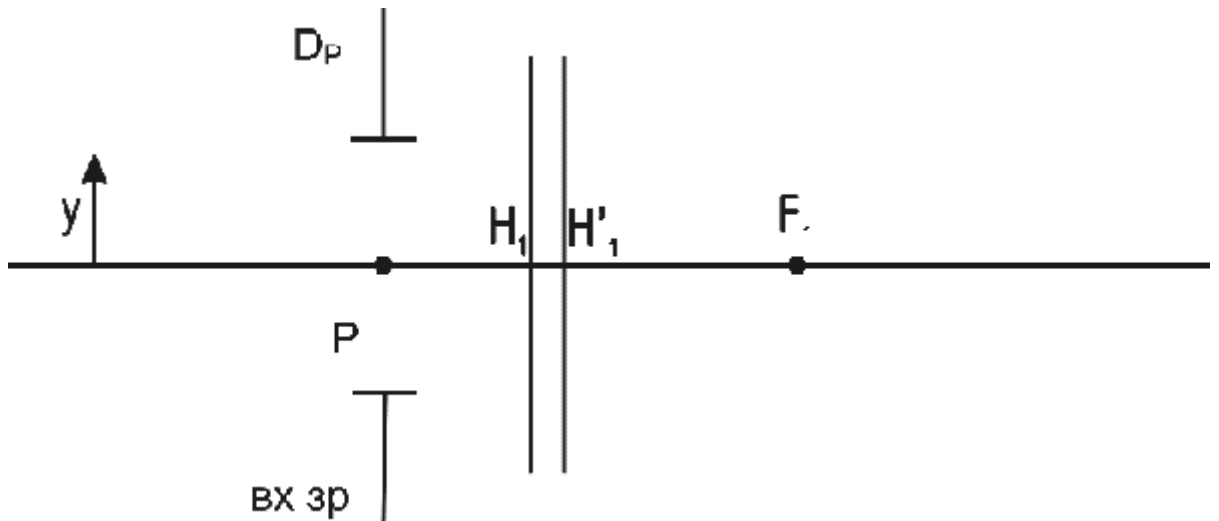
55. Изображение в бесконечности. Угол  $w'$  любой. Найти положение и размер входного зрачка графически с помощью двух лучей - апертурного и главного.



56. Построить изображение  $y'$ , определить положение и размер выходного зрачка с помощью апертурного и главного лучей.



57. Построить изображение  $y'$ , определить положение и размер выходного зрачка с помощью апертурного и главного лучей.



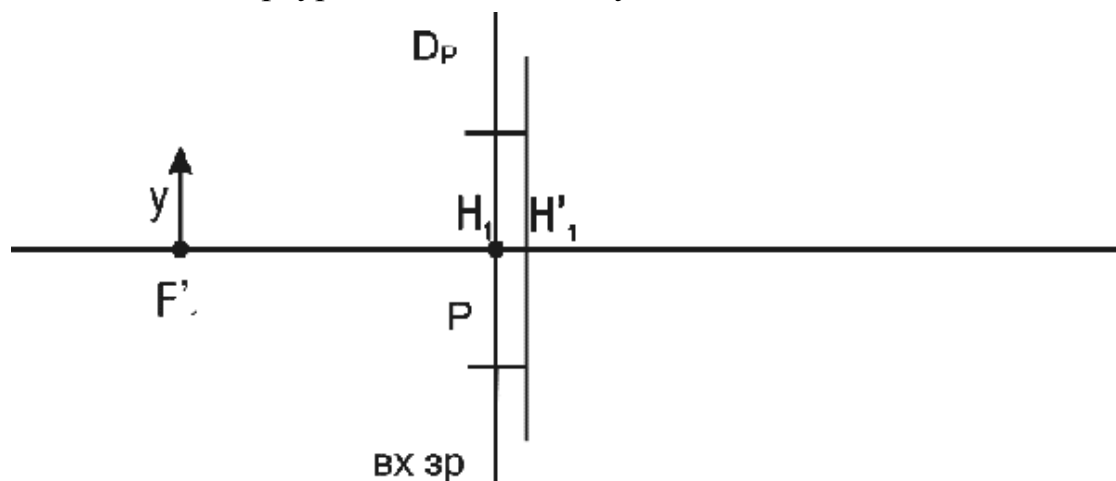
58. Тонкая линза имеет фокусное расстояние  $f' = 50$  мм. Позади линзы на расстоянии 20 мм установлена апертурная диафрагма диаметром 10 мм. Найти размер и положение входного и выходного зрачков.

59. Тонкая линза имеет фокусное расстояние  $f' = 30$  мм. Позади линзы на расстоянии 20 мм установлена апертурная диафрагма диаметром 10 мм. Найти размер и положение входного и выходного зрачков.

60. Тонкая линза имеет фокусное расстояние  $f' = 60$  мм. Позади линзы на расстоянии 30 мм установлена апертурная диафрагма диаметром 10 мм. Найти размер и положение входного и выходного зрачков.

61. Тонкая линза диаметром 20 мм имеет фокусное расстояние  $f' = 50$  мм. Позади линзы на расстоянии 20 мм установлена апертурная диафрагма диаметром 10 мм. Найти размер и положение входного и выходного зрачков, если предмет расположен в бесконечности. Определить угловое поле линзы в пространстве предметов при отсутствии виньетирования.

62. Построить изображение  $y'$ , определить положение и размер выходного зрачка с помощью апертурного и главного лучей.



63. Тонкая линза диаметром 20 мм имеет фокусное расстояние  $f' = 30$  мм. Позади линзы на расстоянии 20 мм установлена апертурная диафрагма диаметром 5 мм. Найти размер и положение входного и выходного зрачков, если предмет расположен в бесконечности. Определить угловое поле линзы в пространстве предметов при отсутствии виньетирования.

64. Тонкая линза диаметром 30 мм имеет фокусное расстояние  $f' = 60$  мм. Позади линзы на расстоянии 20 мм установлена апертурная диафрагма диаметром 5 мм. Найти размер и положение входного и выходного зрачков, если предмет расположен в бесконечности. Определить угловое поле линзы в пространстве предметов при отсутствии виньетирования.

65. Тонкая линза имеет фокусное расстояние  $f' = 100$  мм. Предмет расположен в бесконечности. Апертурная диафрагма диаметром 10 мм расположена перед линзой на расстоянии 20 мм. Определить диаметр выходного зрачка и его расстояние от линзы. Найти диаметр линзы для углового поля  $2\omega = 12^\circ$  при отсутствии виньетирования.

66. Тонкая линза имеет фокусное расстояние  $f' = 80$  мм. Предмет расположен в бесконечности. Апертурная диафрагма диаметром 10 мм расположена перед линзой на расстоянии 30 мм. Определить диаметр выходного зрачка и его расстояние от линзы. Найти диаметр линзы для углового поля  $2\omega = 12^\circ$  при отсутствии виньетирования.

67. Тонкая линза имеет фокусное расстояние  $f' = 60$  мм. Предмет расположен в бесконечности. Апертурная диафрагма диаметром 20 мм расположена перед линзой на расстоянии 40 мм. Определить диаметр выходного зрачка и его расстояние от линзы. Найти диаметр линзы для углового поля  $2\omega = 12^\circ$  при отсутствии виньетирования.

68. Тонкая линза имеет фокусное расстояние  $f' = 100$  мм. Предмет расположен в бесконечности. Апертурная диафрагма диаметром 20 мм расположена перед линзой на расстоянии 30 мм. Определить диаметр

выходного зрачка и его расстояние от линзы. Найти диаметр линзы для углового поля  $2\omega=12^\circ$  при отсутствии виньетирования.

69. Тонкая линза имеет фокусное расстояние  $f' = 100$  мм. Предмет расположен в бесконечности. Апертурная диафрагма диаметром 10 мм расположена перед линзой на расстоянии 20 мм. Определить диаметр выходного зрачка и его расстояние от линзы. Найти диаметр линзы для углового поля  $2\omega=20^\circ$  при отсутствии виньетирования.

70. Телеобъектив состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d=120$  мм, фокусное расстояние первого компонента  $f'_1 = 20$  мм, второго компонента  $f'_2 = -100$  мм. Посередине между компонентами установлена апертурная диафрагма диаметром 70 мм. Определить размеры и положение входного и выходного зрачков.

71. Телеобъектив состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d=120$  мм, фокусное расстояние первого компонента  $f'_1 = 20$  мм, второго компонента  $f'_2 = -100$  мм. Посередине между компонентами установлена апертурная диафрагма диаметром 70 мм. Найти относительное отверстие телеобъектива.

72. Телеобъектив состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d=120$  мм, фокусное расстояние первого компонента  $f'_1 = 20$  мм, второго компонента  $f'_2 = -100$  мм. Посередине между компонентами установлена апертурная диафрагма диаметром 70 мм. Определить линейное увеличение в зрачках.

73. Фокусное расстояние двухкомпонентной системы  $f' = 80$  мм. Фокусное расстояние первого компонента  $f'_1 = 120$  мм, второго компонента  $f'_2 = 100$  мм. Найти диаметр апертурной диафрагмы, установленной между компонентами на расстоянии 40 мм от первого компонента, если  $D/f' = 1:2$ .

74. Фокусное расстояние двухкомпонентной системы  $f' = 80$  мм. Фокусное расстояние первого компонента  $f'_1 = 120$  мм, второго компонента  $f'_2 = 100$  мм. Найти диаметр апертурной диафрагмы, установленной между компонентами на расстоянии 40 мм от первого компонента, если  $D/f' = 1:3$ .

75. Фокусное расстояние двухкомпонентной системы  $f' = 80$  мм. Фокусное расстояние первого компонента  $f'_1 = 120$  мм, второго компонента  $f'_2 = 100$  мм. Найти диаметр апертурной диафрагмы, установленной между компонентами на расстоянии 40 мм от первого компонента, если  $D/f' = 1:5$ .

76. Фокусное расстояние двухкомпонентной системы  $f' = 100$  мм. Фокусное расстояние первого компонента  $f'_1 = 120$  мм, второго компонента  $f'_2 = 100$  мм. Найти диаметр апертурной диафрагмы, установленной между компонентами на расстоянии 40 мм от первого компонента, если  $D/f' = 1:5$ .

77. Полевая диафрагма оптической системы имеет размеры  $24 \times 36$  мм. Определить угловое поле  $2\omega$  в пространстве предметов, если  $f' = 50$  мм. Предмет расположен в бесконечности.

78. Полевая диафрагма оптической системы имеет размеры 24x36 мм. Определить угловое поле  $2\omega$  в пространстве предметов, если  $f' = 85$  мм. Предмет расположен в бесконечности.
79. Полевая диафрагма оптической системы имеет размеры 24x36 мм. Определить угловое поле  $2\omega$  в пространстве предметов, если  $f' = 100$  мм. Предмет расположен в бесконечности.
80. Полевая диафрагма оптической системы имеет размеры 24x36 мм. Определить угловое поле  $2\omega$  в пространстве предметов, если  $f' = 135$  мм. Предмет расположен в бесконечности.
81. Телеобъектив 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. Апертурной диафрагмой является оправа второго компонента. Найти диаметр этой оправы, если относительное отверстие объектива  $D/f' = 1:2$ .
82. Телеобъектив 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. Апертурной диафрагмой является оправа второго компонента. Найти диаметр этой оправы, если относительное отверстие объектива  $D/f' = 1:3$ .
83. Объектив состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d=80$  мм. Фокусное расстояние первого компонента  $f'_1 = 120$  мм, второго компонента  $f'_2 = 110$  мм. На каком расстоянии от второго компонента нужно установить полевую диафрагму, если предмет расположен в бесконечности.
84. Объектив 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. На каком расстоянии от второго компонента нужно установить полевую диафрагму, если предмет расположен в бесконечности.
85. Объектив состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d=75$  мм. Фокусное расстояние первого компонента  $f'_1 = 100$  мм, второго компонента  $f'_2 = 100$  мм. На каком расстоянии от второго компонента нужно установить полевую диафрагму, если предмет расположен в бесконечности.
86. Объектив состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d=80$  мм. Фокусное расстояние первого компонента  $f'_1 = 120$  мм, второго компонента  $f'_2 = 100$  мм. На каком расстоянии от второго компонента нужно установить полевую диафрагму, если предмет расположен в бесконечности.
87. Объектив состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d=70$  мм. Фокусное расстояние первого компонента  $f'_1 = 120$  мм,

второго компонента  $f_2' = 100$  мм. На каком расстоянии от второго компонента нужно установить полевую диафрагму, если предмет расположен в бесконечности.

88. Объектив состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d = 80$  мм. Фокусное расстояние первого компонента  $f_1' = 120$  мм, второго компонента  $f_2' = 110$  мм. Найти угловое поле объектива, если диаметр полевой диафрагмы  $D_{п.д.} = 17.6$  мм, а предмет расположен в бесконечности.

89. Объектив 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. Найти угловое поле объектива, если диаметр полевой диафрагмы  $D_{п.д.} = 20.0$  мм, а предмет расположен в бесконечности.

90. Объектив состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d = 75$  мм. Фокусное расстояние первого компонента  $f_1' = 100$  мм, второго компонента  $f_2' = 100$  мм. Найти угловое поле объектива, если диаметр полевой диафрагмы  $D_{п.д.} = 20.0$  мм, а предмет расположен в бесконечности.

91. Объектив состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d = 80$  мм. Фокусное расстояние первого компонента  $f_1' = 100$  мм, второго компонента  $f_2' = 100$  мм. Найти угловое поле объектива, если диаметр полевой диафрагмы  $D_{п.д.} = 20.0$  мм, а предмет расположен в бесконечности.

92. Объектив состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d = 70$  мм. Фокусное расстояние первого компонента  $f_1' = 120$  мм, второго компонента  $f_2' = 100$  мм. Найти угловое поле объектива, если диаметр полевой диафрагмы  $D_{п.д.} = 20.0$  мм, а предмет расположен в бесконечности.

93. Объектив состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d = 80$  мм. Фокусное расстояние первого компонента  $f_1' = 120$  мм, второго компонента  $f_2' = 100$  мм. Апертурной диафрагмой является оправа первого компонента. Найти диаметр этой оправы, если относительное отверстие объектива  $D_p/f' = 1:2$

94. Объектив состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d = 80$  мм. Фокусное расстояние первого компонента  $f_1' = 120$  мм, второго компонента  $f_2' = 100$  мм. Апертурной диафрагмой является оправа первого компонента. Найти диаметр этой оправы, если относительное отверстие объектива  $D_p/f' = 1:3$

95. Объектив состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d = 80$  мм. Фокусное расстояние первого компонента  $f_1' = 120$  мм, второго компонента  $f_2' = 100$  мм. Апертурной диафрагмой является оправа первого компонента. Найти диаметр этой оправы, если относительное отверстие объектива  $D_p/f' = 1:4$

96. Объектив состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d = 80$  мм. Фокусное расстояние первого компонента  $f_1' = 120$  мм, второго компонента  $f_2' = 100$  мм. Апертурной диафрагмой является оправа

первого компонента. Найти диаметр этой оправы, если относительное отверстие объектива  $D_p/f^* = 1:5$

97. Объектив состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d=80$  мм. Фокусное расстояние первого компонента  $f_1'=120$  мм, второго компонента  $f_2'=100$  мм. Апертурной диафрагмой является оправа первого компонента. Найти диаметр этой оправы, если относительное отверстие объектива  $D_p/f^* = 1:3.5$

98. Объектив 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. Апертурной диафрагмой является оправа первого компонента. Найти диаметр этой оправы, если относительное отверстие объектива  $D_p/f^* = 1:2$

99. Объектив состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d=75$  мм. Фокусное расстояние первого компонента  $f_1'=100$  мм, второго компонента  $f_2'=100$  мм. Апертурной диафрагмой является оправа первого компонента. Найти диаметр этой оправы, если относительное отверстие объектива  $D_p/f^* = 1:2$

100. Объектив состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d=80$  мм. Фокусное расстояние первого компонента  $f_1'=120$  мм, второго компонента  $f_2'=100$  мм. Апертурной диафрагмой является оправа первого компонента. Найти диаметр этой оправы, если относительное отверстие объектива  $D_p/f^* = 1:2$

101. Объектив состоит из двух тонких компонентов, расположенных на расстоянии  $d=70$  мм. Фокусное расстояние первого компонента  $f_1'=120$  мм, второго компонента  $f_2'=100$  мм. Апертурной диафрагмой является оправа первого компонента. Найти диаметр этой оправы, если относительное отверстие объектива  $D_p/f^* = 1:2$

102. Объектив 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. Апертурной диафрагмой является оправа первого компонента. Найти диаметр этой оправы, если относительное отверстие объектива  $D_p/f^* = 1:5$

103. Объектив зрительной трубы, предназначенной для наблюдения искусственных спутников Земли, имеет фокусное расстояние  $f^*=1000$  мм. Определить минимальный диаметр полевой диафрагмы, при котором в поле трубы будут одновременно видны два спутника, если расстояние между ними 5 км. Удаление спутников от поверхности Земли 200 км, наблюдение ведется в зените.

104. Объектив зрительной трубы, предназначенной для наблюдения искусственных спутников Земли, имеет фокусное расстояние  $f^*=1200$  мм. Определить минимальный диаметр полевой диафрагмы, при котором в поле трубы будут одновременно видны два спутника, если расстояние между

ними 5 км. Удаление спутников от поверхности Земли 200 км, наблюдение ведется в зените.

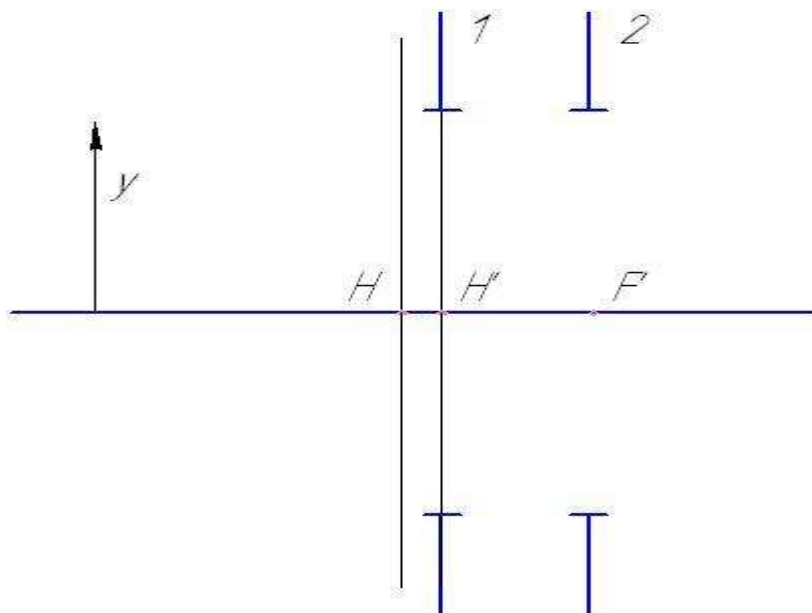
105. Объектив зрительной трубы, предназначенной для наблюдения искусственных спутников Земли, имеет фокусное расстояние  $f^* = 1100$  мм. Определить минимальный диаметр полевой диафрагмы, при котором в поле трубы будут одновременно видны два спутника, если расстояние между ними 5 км. Удаление спутников от поверхности Земли 200 км, наблюдение ведется в зените.

106. Объектив зрительной трубы, предназначенной для наблюдения искусственных спутников Земли, имеет фокусное расстояние  $f^* = 1000$  мм. Определить минимальный диаметр полевой диафрагмы, при котором в поле трубы будут одновременно видны два спутника, если расстояние между ними 5 км. Удаление спутников от поверхности Земли 150 км, наблюдение ведется в зените.

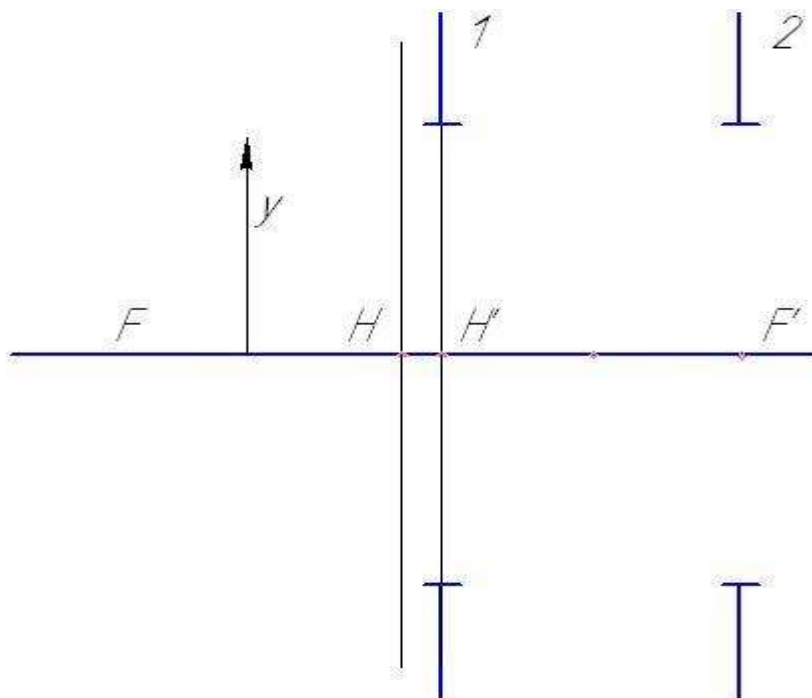
107. Объектив зрительной трубы, предназначенной для наблюдения искусственных спутников Земли, имеет фокусное расстояние  $f^* = 1000$  мм. Определить минимальный диаметр полевой диафрагмы, при котором в поле трубы будут одновременно видны два спутника, если расстояние между ними 4 км. Удаление спутников от поверхности Земли 200 км, наблюдение ведется в зените.



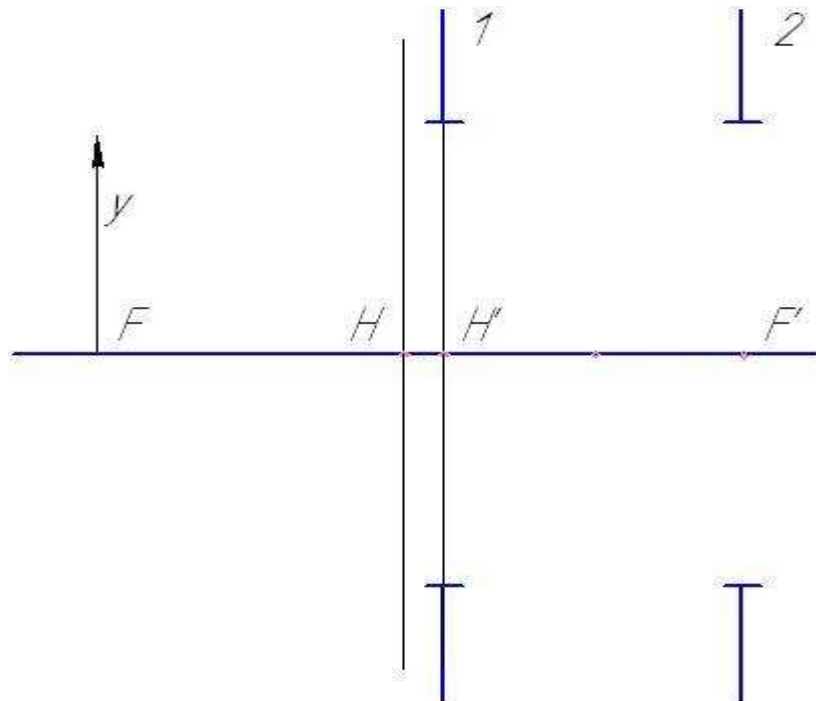
108. Предмет расположен на двойном фокусном расстоянии от линзы. Даны две диафрагмы одинакового размера, первая расположена на задней главной плоскости, вторая - в задней фокальной плоскости. Определить, какая из двух диафрагм является апертурной.



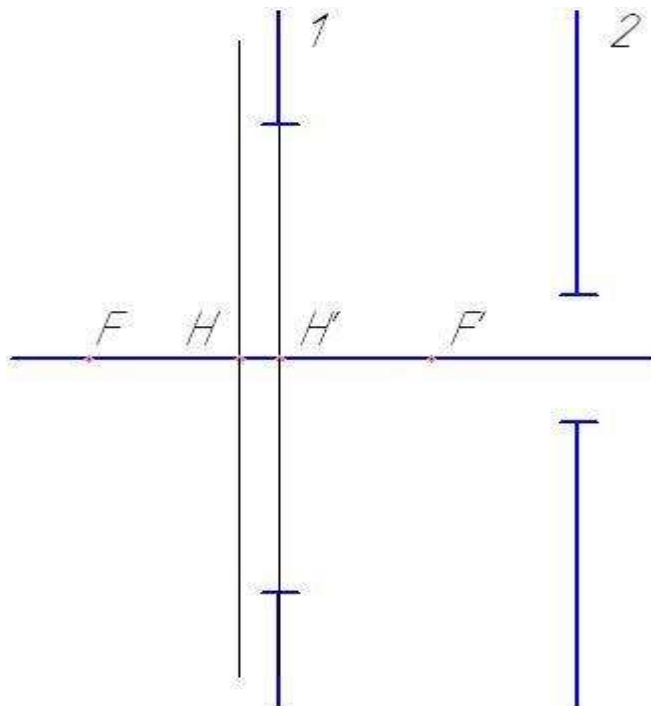
109. Предмет расположен на половине фокусного расстояния перед линзой. Даны две диафрагмы одинакового размера, первая расположена на задней главной плоскости, вторая - в задней фокальной плоскости. Определить, какая из двух диафрагм является апертурной.



110. Предмет расположен в задней фокальной плоскости отрицательной линзы. Даны две диафрагмы одинакового размера, первая расположена на задней главной плоскости, вторая - в передней фокальной плоскости. Определить, какая из двух диафрагм является апертурной.



111. Предмет находится в бесконечности. Имеются две диафрагмы, одна находится на задней главной плоскости, другая - на двойном фокусном расстоянии от линзы. Определить, какая из двух диафрагм является апертурной.



112. Объектив состоит из двух тонких компонентов с  $f_1' = 150$  мм,  $f_2' = 120$  мм,  $d = 100$  мм. На расстоянии 60 мм от первого компонента установлена апертурная диафрагма. Найти угловое поле объектива в пространстве предметов  $2\omega$  и в пространстве изображений, если полевая диафрагма  $D_{п.д.} = 20$  мм установлена в задней фокальной плоскости объектива.

113. Объектив состоит из двух тонких компонентов с  $f_1' = 150$  мм,  $f_2' = -75$  мм,  $d = 90$  мм. На расстоянии 60 мм от первого компонента установлена апертурная диафрагма. Найти угловое поле объектива в пространстве предметов  $2\omega$  и в пространстве изображений, если полевая диафрагма  $D_{п.д.} = 20$  мм установлена в задней фокальной плоскости объектива.

114. Объектив с фокусным расстоянием  $f^* = 80$  мм создает изображение бесконечно удаленного предмета. Найти диаметр апертурной диафрагмы, установленной за объективом на расстоянии 20 мм, при котором объектив будет иметь относительное отверстие  $D/f^* = 1:2$ .

115. Объектив с фокусным расстоянием  $f^* = 80$  мм создает изображение бесконечно удаленного предмета. Найти диаметр апертурной диафрагмы, установленной за объективом на расстоянии 20 мм, при котором объектив будет иметь относительное отверстие  $D/f^* = 1:3$ .

116. Объектив с фокусным расстоянием  $f^* = 80$  мм создает изображение бесконечно удаленного предмета. Найти диаметр апертурной диафрагмы, установленной за объективом на расстоянии 20 мм, при котором объектив будет иметь относительное отверстие  $D/f^* = 1:4$ .

117. Объектив с фокусным расстоянием  $f^* = 80$  мм создает изображение бесконечно удаленного предмета. Найти диаметр апертурной диафрагмы, установленной за объективом на расстоянии 20 мм, при котором объектив будет иметь относительное отверстие  $D/f^* = 1:5$ .

118. Объектив с фокусным расстоянием  $f^* = 80$  мм и относительным отверстием  $D/f^* = 1:2$  создает изображение бесконечно удаленного предмета. За объективом на расстоянии 20 мм установлена апертурная диафрагма. Определить диаметр оправы объектива, если угловое поле в пространстве предметов  $2\omega = 10^\circ$ .

119. Объектив с фокусным расстоянием  $f^* = 80$  мм и относительным отверстием  $D/f^* = 1:2$  создает изображение бесконечно удаленного предмета. За объективом на расстоянии 20 мм установлена апертурная диафрагма. Определить диаметр оправы объектива, если угловое поле в пространстве предметов  $2\omega = 20^\circ$ .

120. Объектив с фокусным расстоянием  $f^* = 80$  мм и относительным отверстием  $D/f^* = 1:3$  создает изображение бесконечно удаленного предмета. За объективом на расстоянии 20 мм установлена апертурная диафрагма. Определить диаметр оправы объектива, если угловое поле в пространстве предметов  $2\omega = 10^\circ$ .



Перед объективом на расстоянии 25 мм установлена апертурная диафрагма. Определить диаметр оправы объектива, если угловое поле в пространстве предметов  $2\omega=10^\circ$ .

## **Заключение**

В учебно-методическом пособии по дисциплине «Геометрическая оптика» рассмотрены аспекты организации практической и самостоятельной работы обучающихся. Приведены рекомендации для преподавателя. Особое внимание уделено практическим занятиям, приведены примеры решения задач, ссылки на теоретический материал и варианты индивидуальных заданий.

Представленные задачи могут быть использованы на практических занятиях и для самостоятельной работы обучающихся.

## Литература

### Основная литература

1. Основы оптики. Конспект лекций./А.А. Шехонин – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 172 с. ([Электронный ресурс]  
[http://aco.ifmo.ru/upload/publications/book\\_basic\\_optics\\_2008.pdf](http://aco.ifmo.ru/upload/publications/book_basic_optics_2008.pdf))
2. Основы оптики. Электронный учебник. / Т.В. Иванова, А.А. Шехонин – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009.

### Дополнительная литература

3. Бутиков, Е.И. Оптика / Е.И. Бутиков. – СПб: Издательство «Лань» – СПб, 2008.
4. Варданыан, В.А. Физические основы оптики [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.А. Варданыан. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2018. — 272 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/106868>. — Загл. с экрана.
5. Вычислительная оптика: справочник. / М.М. Русинов [и др.]. - 2-е изд. – СПб: ЛКИ, 2008. – 424 с.
6. Дичберн, Р. Физическая оптика / Р. Дичберн. - М.: Наука, 1965. – 524
7. Джерард, А. Введение в матричную оптику / А. Джерард, Дж. М. Берч. - М.: Мир, 1978. – 342 с.
8. Заказнов, Н.П. Теория оптических систем / Н.П. Заказнов, С.И. Кирюшин, В.И. Кузичев– Изд. 4-е, стер . – СПб: Издательство "Лань", 2008. – 446 с.
9. Зверев, В.А. Основы вычислительной оптики [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.А. Зверев, И.Н. Тимощук, Т.В. Точилина.— Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 356 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/108450>. — Загл. с экрана.
10. Ишанин, Г.Г. Источники излучения: учеб. пособие / Г.Г. Ишанин, В.В. Козлов. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2004. – 395 с.
11. Можаров, Г.А. Основы геометрической оптики / Г.А. Можаров. – М.: Издательский дом ЛОГОС, 2006. – 280 с.
12. Стафеев, С.К. Основы оптики / С.К. Стафеев, К.К. Боярский, Г.Л. Башнина. – СПб: Питер, 2006. – 336 с.
13. Толстоба Н.Д., Багдасарова О.В., Карпова Г.В. Основы оптики. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов. Часть 1. Под редакцией Шехонина А.А. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 110.

14. Толстоба Н.Д., Багдасарова О.В., Карпова Г.В. Основы оптики. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов. Часть 2. Под редакцией Шехонина А.А. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 95 с.
15. Шепелев, А.В. Оптика / А.В. Шепелев. – М: УРСС, 2000. – 80 с.
16. Шрёдер, Г. Техническая оптика / Г. Шрёдер, Х. Трайбер. - М.: Техносфера, 2006. – 424 с.



В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО Н. Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Отпечатано на ризографе

**Редакционно-издательский отдел**

**Университета ИТМО**

197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49