

Цуканова Г.И., Багдасарова О.В., Бахолдин А.В., Карпов В.Г., Карпова Г.В., Самостоятельная работа студентов по дисциплине «Прикладная оптика». Часть 1. Учебно-методическое пособие под редакцией профессора Шехонина А.А. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 98 с.

Пособие охватывает все разделы курса «Прикладная оптика», изучаемые студентами факультета ОИСТ в 5 семестре и содержит вопросы и задачи для самостоятельной работы по темам дисциплины, примеры вариантов письменных домашних заданий с решениями, примеры вариантов тестов для текущего тестового контроля и рубежной аттестации, примеры вариантов контрольных работ с решениями, обучающие тесты с решениями по темам дисциплины, вопросы экзаменационных билетов.

Для студентов направления подготовки 200200 – Опотехника и специальности 200203 – Оптико-электронные приборы и системы.

Рекомендовано УМО по образованию в области приборостроения и опотехники в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 200200 – Опотехника и специальности 200203 – Оптико-электронные приборы и системы.

Рецензент: д.т.н., проф. Губанова Л.А., кафедра оптических технологий СПбГУ ИТМО

©Санкт-Петербургский государственный университет
информационных технологий, механики и оптики, 2009

©.....

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа студентов (СРС) считается наиболее эффективным видом обучения, основанным на самостоятельном формировании студентом знаний, умений, навыков и компетенций.

Активизация СРС требует планирования содержания и объема самостоятельной работы, организации и контроля ее проведения, обеспечения необходимыми учебно-методическими материалами.

Переход обучения на модульные программы требует от студента усиления контроля за планомерностью выполнения им своего учебного плана с набором баллов по контрольным точкам. В приводимой в пособии таблице планирования результатов обучения представлено, какие виды занятий и контроля предстоят студенту в 5 семестре по дисциплине «Прикладная оптика» и сколько баллов он должен и может набрать по контрольным точкам, а также критерии пересчета результатов теста в баллы.

Основными видами самостоятельной работы студентов при освоении дисциплины «Прикладная оптика» в 5 семестре являются: формирование и изучение содержания конспекта лекций на базе рекомендованной лектором учебной литературы, включая информационные образовательные ресурсы; подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам; выполнение домашних заданий; компьютерный текущий и рубежный контроль и контроль успеваемости на базе электронных обучающих и аттестующих тестов.

Пособие охватывает все разделы курса «Прикладная оптика», изучаемые студентами факультета ОИСТ в 5 семестре и содержит вопросы и задачи для самостоятельной работы по темам дисциплины, примеры вариантов письменных домашних заданий с решениями, примеры вариантов тестов для текущего тестового контроля и рубежной аттестации, примеры вариантов контрольных работ с решениями, обучающие тесты с решениями по темам дисциплины, вопросы экзаменационных билетов.

ПЛАНИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

В соответствии с балльно-рейтинговой системой семестр разбит на два модуля, состоящих из двухнедельных отрезков, в каждом из которых студент должен выполнить запланированные задания и набрать определенные баллы. На странице 5 приведена таблица планирования результатов обучения студентов факультета ОИСТ по дисциплине «Прикладная оптика» в 5 семестре.

Из нее следует:

- Посещение студентом лекций учитывается в течение всего семестра. Для лучшего усвоения теоретического материала рекомендуется ответить на вопросы и решить задачи, которые приведены в разделе «Вопросы и задачи для самостоятельной работы».
- На первом практическом занятии (1-2 неделя) будет проведена контрольная работа №1 по проверке остаточных знаний по теме «Основные сведения из геометрической оптики» (пример варианта контрольной работы и ее выполнения смотри в разделе «Контрольные работы») и выдано домашнее задание №1 (пример задания и его выполнения смотри в разделе «Письменные домашние задания»).
- На втором занятии (2-4 неделя) студент должен сдать домашнее задание №1, которое оценивается в соответствии с критериями, приведенными в конце раздела.
- На следующем занятии (5-6 неделя) проводится контрольная работа №2 (пример варианта и выполнения смотри в разделе «Контрольные работы») и выдается домашнее задание №2 (пример задания и его выполнения смотри в разделе «Письменные домашние задания»).
- На практическом занятии на 7-8 неделе студент должен сдать домашнее задание №2, которое оценивается в соответствии с критериями, приведенными в конце раздела.
- На 9 неделе студент обязан пройти в ЦДО рубежную аттестацию по первому модулю (примеры тестов смотри в разделе «Рубежная аттестация»). При подготовке к рубежной аттестации рекомендуется проработать тесты из раздела «Обучающие тесты» и вопросы и задачи из раздела «Вопросы и задачи для самостоятельной работы».
- На 1-2 неделе второго модуля студент получает домашнее задание №3 (пример задания и его выполнения смотри в разделе «Письменные домашние задания»).
- На 3-4 неделе необходимо пройти текущее тестирование в ЦДО (примеры тестов в разделе «Текущий тестовый контроль»), при подготовке к которому нужно проработать тесты из раздела «Обучающие тесты». Кроме того требуется сдать домашнее

задание №3, которое оценивается в соответствии с критериями, приведенными в конце раздела и получить домашнее задание №4 (пример задания и его выполнения смотри в разделе «Письменные домашние задания»).

- На практическом занятии на 5-6 неделе студент должен сдать домашнее задание №4, которое оценивается в соответствии с критериями, приведенными в конце раздела.
- На практическом занятии на 7-8 неделе проводится контрольная работа №3 (пример варианта и выполнения которой смотри в разделе «Контрольные работы»).
- На 8 неделе студент обязан пройти в ЦДО рубежную аттестацию по второму модулю (примеры тестов смотри в разделе «Рубежная аттестация»). При подготовке к рубежной аттестации рекомендуется проработать тесты из раздела «Обучающие тесты» и вопросы и задачи из раздела «Вопросы и задачи для самостоятельной работы».

Семестр заканчивается промежуточной аттестацией, которая состоит из тестирования в ЦДО (примеры экзаменационных тестов приведены в разделе «Промежуточная аттестация») и письменного экзамена, вопросы к которому приведены в разделе «Вопросы к экзамену». При подготовке к промежуточной аттестации рекомендуется проработать тесты из раздела «Обучающие тесты» и вопросы и задачи из раздела «Вопросы и задачи для самостоятельной работы».

Критерии оценки выполнения домашних заданий

Критерии выполнения домашних заданий на тах балл:

Пример выполнения домашнего задания на тах балл приведен в разделе «Комплект письменных домашних заданий».

Критерии выполнения домашних заданий на тiп балл:

- верный ход решения задачи;
- верный ответ, расчеты;
- работа выполнена технически грамотно;
- отсутствие ошибок в рисунках и построениях;
- многократная сдача отчёта.

Критерии оценки выполнения контрольной работы

Критерии выполнения контрольной работы на тах балл:

Решены все задачи или даны ответы на все вопросы.

Критерии выполнения контрольной работы на тiп балл:

Выполнено не менее 60% заданий.

Задание считается выполненным, если:

- верный ход решения задачи;
- верный ответ, расчеты;
- отсутствие ошибок в рисунках и построениях.

ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

МОДУЛЬ №1

Тема 1.1 Основные сведения из геометрической оптики

Вопросы для самостоятельной работы

1. Принцип Ферма.
2. Определение идеальной оптической системы.
3. Формулы отрезков и формулы Ньютона.
4. Формулы линейного увеличения.
5. Правило знаков в оптике.
6. Основные характеристики оптических материалов.
7. Основные оптические материалы для видимой, инфракрасной и ультрафиолетовой областей спектра.
8. Полное внутреннее отражение.
9. Предельный угол полного внутреннего отражения.
10. Закон отражения в векторном виде.

Задачи для самостоятельной работы:

1. Линза имеет фокусное расстояние $f' = 20$ мм. Предмет размером $y = 10$ мм расположен на расстоянии $a = 20$ мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.
2. Определить размер изображения, образованного линзой, если предмет имеет размер $y = 10$ мм и находится перед линзой на расстоянии 120 мм. Фокусное расстояние линзы $f' = 60$ мм.
3. Предмет имеет размер $y = 10$ мм, изображение $y' = -40$ мм. Определить фокусное расстояние тонкой линзы, если расстояние между предметом и изображением 500 мм.
4. Линза в воздухе имеет следующие характеристики: $f = 52$ мм, $s'_{F'} = 49$ мм, $s_F = -47$ мм, линейное увеличение $\beta = -2x$. Определить положение предмета s от первой поверхности линзы и изображение s' от последней поверхности.
5. Предмет находится перед плосковогнутой линзой на расстоянии $s = -70$ мм, фокусное расстояние линзы $f'' = -50$ мм, $d = 6$ мм, $n = 1,5$. Определить положение изображения S' от последней поверхности линзы.
6. Определить расстояние между последней поверхностью первой линзы и первой поверхностью второй линзы, если задний фокус первой линзы F'_1 , совпадает с передним фокусом второй линзы F_2 . Известно: $f_1 = 100$ мм, $f_2 = 50$ мм, $s' = -3,5$ мм, $s_{H2} = 2,7$ мм.
7. Тонкая линза имеет $f = 100$ 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 объектива.

8. Тонкая линза имеет $f = 80$ мм и относительное отверстие $D/f = 1:4$. За линзой на расстоянии 20 мм установлена апертурная диафрагма. Определить диаметр линзы, если угловое поле в пространстве предметов $2\omega = 10^\circ$. Предмет расположен в бесконечности.
9. Фокусное расстояние двухкомпонентной системы $f' = 80$ мм. Фокусное расстояние первого компонента $f'_1 = 120$ мм. Найти диаметр апертурной диафрагмы, установленной между компонентами на расстоянии 40 мм от первого компонента, если $D/f' = 1:4$.
10. 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 2ω , если диаметр полевой диафрагмы $D_{п.д.} = 20$ мм, а предмет расположен в бесконечности.
11. Линза имеет фокусное расстояние $f = 100$ мм. Предмет размером $y = 10$ мм расположен на расстоянии $a = 100$ мм от линзы. Определить положение и величину изображения графически и аналитически.
12. Предмет имеет размер $y = 24$ мм, изображение $y' = -120$ мм. Определить фокусное расстояние тонкой линзы, если расстояние между предметом и изображением 600 мм.
13. Перед объективом с оптической силой Φ_2 поставлена плоско-вогнутая линза. Центр кривизны её вогнутой поверхности совпадает с главной точкой H объектива. Определить силу Φ_1 , радиус r_2 линзы и задний фокальный отрезок a'_F всей системы, состоящей из линзы и объектива, если известно, что сила $\Phi_{э\text{кв}}$ всей системы равна Φ_2 .
14. 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.
15. С какого расстояния необходимо сфотографировать чертеж, чтобы получить на негативе его копию в масштабе 1:5, если фокусное расстояние объектива $f' = 300$ мм?
16. Определить в градусах предельный угол полного внутреннего отражения на границе алмаз-воздух. Показатель преломления алмаза $n = 2,417$.
17. Определить положение главных плоскостей и фокусное расстояние f' плосковыпуклой линзы, изготовленной из стекла марки Ф1, если радиус её сферической поверхности равен $r = 160$ мм, а толщина по оси $d = 10$ мм.
18. 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.

МОДУЛЬ №1

Тема 1. 2 Элементная база оптики. Часть 1

Вопросы для самостоятельной работы

Плоские зеркала

1. Сформулируйте, как отклоняется отраженный луч при повороте плоского зеркала.
2. Назовите, от чего зависит угол отклонения луча при отражении от системы двух плоских зеркал.
3. Определите, что происходит с отраженным лучом при повороте системы двух плоских зеркал вокруг ребра.
4. Сформулируйте, в каких случаях дают оборачивание системы из нескольких зеркал.
5. Действительные или мнимые изображения дают плоские зеркала?

Плоско-параллельная пластина

1. Что происходит со сходящимся (расходящимся) пучком лучей при прохождении плоско-параллельной пластины?
2. Назовите, от чего зависит продольное смещение.
3. Скажите, сохраняется ли гомоцентричность прошедшего через пластину пучка лучей.
4. Что происходит с прошедшим через плоско-параллельную пластину пучком лучей при ее наклоне?
5. Сформулируйте, что называется «редуцированием» плоско-параллельной пластины.

Призмы

1. Какие призмы называются отражательными?
2. Какие призмы дают оборачивание?
3. Сформулируйте, что называется «коэффициентом призмы».
4. Почему призму Дове ставят только в параллельных пучках лучей?
5. Зачем на призмы наносят «крышу»?
6. На каких гранях призмы можно наносить крышу?

Клинья

1. Сформулируйте, какая деталь называется оптическим клином.
2. Где применяют клинья?
3. Где применяют системы вращающихся и перемещающихся клиньев?

Сферические и асферические зеркала

1. Какая поверхность является анаберрационной для бесконечно удалённого предмета?
2. Назовите преимущества и недостатки асферических зеркал по сравнению со сферическими.
3. Если предмет и изображение действительные, то какую форму должна иметь анаберрационная зеркальная поверхность?
4. Назовите основные двухзеркальные системы.

Задачи для самостоятельной работы

1. Найти в градусах предельный угол падения лучей ε_1 на входную грань призмы AP-90, при котором отражающая гипотенузная грань призмы может быть ещё без зеркального покрытия. Призма изготовлена из стекла с $n = 1,8$ и находится в воздухе.
2. Определить необходимость нанесения зеркального покрытия на вторую отражающую грань призмы BP-45. Призма выполнена из материала с $n = 1,7$ и находится в воздухе.
3. Определить оборачивающее действие призмы BP-180 в меридиональном и сагиттальном сечениях.
5. На точечный источник света смотрят плоскопараллельную пластину, толщина которой 90 мм, показатель преломления стекла $n = 1,5$. На сколько ближе будет казаться изображение?
6. Перед плоскопараллельной пластинкой на расстоянии 60 мм расположен предмет. Определить положение его изображения от последней поверхности пластины, если её толщина 33 мм и показатель преломления стекла $n = 1,8$.
7. Плоскопараллельная пластинка толщиной 10 мм поставлена перпендикулярно оптической оси. На какой угол необходимо наклонить пластинку, чтобы луч сместился параллельно самому себе на 1 мм. Показатель преломления стекла пластины $n = 1,5$.

МОДУЛЬ №2

Тема 2.1 Элементная база оптики. Часть 2

Вопросы для самостоятельной работы

Сферические и асферические линзы

1. Сохраняется ли гомоцентричность пучка лучей при прохождении плоской преломляющей поверхности?
2. Какие точки называются апланатическими ?
3. Сколько апланатических точек имеет сферическая преломляющая поверхность? Где они находятся?
4. Рассмотрите несколько примеров : поверхность положительная, поверхность отрицательная; $n > n'$, $n < n'$.
5. Может ли двояковыпуклая линза в воздухе быть отрицательной? А двояковогнутая – положительной?
6. Какие линзы называются ахроматами , какие апохроматами?
7. Из каких стёкол делают положительные линзы в ахроматах? А отрицательные?

Цилиндрические линзы. Аксиконы

1. Свойства цилиндрических и торических линз.
2. Как устроен объектив-анаморфот?
3. Как устроена анаморфотная оборачивающая система?
4. Что такое аксикон?

Световоды и волоконная оптика

1. Как устроен световод?
2. От чего зависит апертура световода?

3. Как определить число отражений в световоде?
4. Чему равна длина хода луча в световоде?
5. Какие требования предъявляются к объективам, работающим со световодами

Линзы Френеля. Растровая оптика. Градиентная оптика

1. Как устроены линзы Френеля? Для чего применяются?
2. Как работает растровая осветительная система?
3. Как работает растровый экран?
4. Что представляет из себя градиентная оптика?

Задачи для самостоятельной работы

1. Световод длиной 1000 мм изготовлен из стекла с показателем преломления $n_c = 1,6$, а его оболочка имеет $n_u = 1,52$. Определить длину хода луча в стекле в меридиональном сечении при максимально возможном угле наклона σ .
2. Световод изготовлен из стекла с показателем преломления $n_c = 1,7$, а его оболочка имеет $n_u = 1,6$. Определить числовую апертуру световода.
3. Световод изготовлен из стекла с показателем преломления $n_c = 1,7272$, а его оболочка имеет $n_u = 1,478$. Определить максимальное относительное отверстие объектива, который может работать с этим световодом.
4. Световод диаметром 25 мкм и длиной 500 мм изготовлен из стекла с показателем преломления $n_c = 1,73$, а его оболочка имеет $n_u = 1,5$. Определить количество отражений для меридионального луча при максимальном угле наклона σ .
5. Световод изготовлен из стекла с показателем преломления $n_c = 1,6$, а его оболочка имеет $n_u = 1,52$. Определить фокусное расстояние объектива, который работает с этим световодом, если его диаметр составляет 20 мм и предмет находится в бесконечности.
6. В цилиндрической системе линейное увеличение в меридиональном сечении $\beta_m = -0,3^x$, а в сагиттальном сечении $\beta_\Delta = -2,7^x$. Расстояние между предметом и изображением 260 мм. Определить фокусные расстояния линз в меридиональном и сагиттальном сечениях (толщинами линз пренебречь). Сделать рисунок.

МОДУЛЬ №2

Тема 2. 2. Проекционные системы

Вопросы для самостоятельной работы

1. Что называется «габаритной яркостью» источника?
2. Укажите преимущества и недостатки диапроекции систем первого вида перед системами второго вида.
3. Почему изображение источника должно заполнять входной зрачок проекционного объектива?
4. Почему при кинопроекции освещённость экрана должна быть в несколько раз больше, чем при диапроекции?

5. Принципиальная оптическая схема диаскопической проекционной установки.
6. Ход лучей в проекционных установках всех типов.
7. Основные характеристики проекционных систем.
8. Назовите основные недостатки системы, создающей изображения источника света в кадровое окно.
9. В каких пределах должна быть яркость экрана при диапроекции?
10. От чего зависит и как определяется освещенность изображения в проекционных установках?
11. По каким параметрам выбирается проекционный объектив?
12. В каком случае производится оборачивание объектива в проекционной системе?
13. Как выполняется расчет конденсоров?
14. Габаритные и светотехнические расчеты диаскопической проекционной системы.
15. Оценка качества изображения проекционных систем.

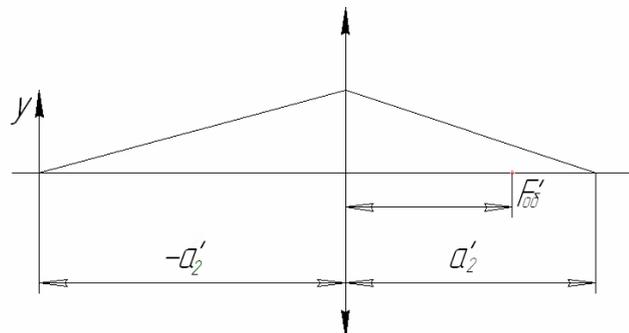
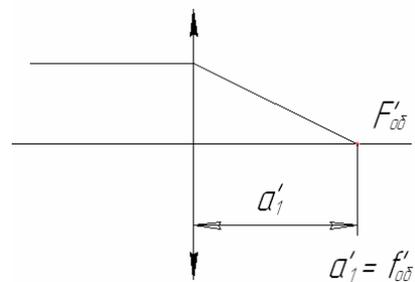
Задачи для самостоятельной работы

1. Объектив строит изображение бесконечно удаленного предмета: $f'_{об} = 50$ мм. Диаметр объектива 15 мм. Во сколько раз изменится освещенность изображения, если тот же предмет расположить на расстоянии 500 мм от объектива, а диаметр объектива изменить до 10 мм?

Решение:

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

$$a'_1 = f'_{об} = 50,0 \text{ мм.}$$



$$a'_1 = f'_{об};$$

$$a'_2 = \frac{a_2 \cdot f'_{об}}{a_2 + f'_{об}} = \frac{-500 \cdot 50}{-500 + 50} = 45,45 \text{ мм.}$$

$$E = \pi \cdot r \cdot L_r \cdot \sin^2(\sigma');$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \left(\frac{\pi \cdot \tau \cdot L_r \cdot \sin \sigma'_1}{\pi \cdot \tau \cdot L_r \cdot \sin \sigma'_2} \right)^2 = \left(\frac{\sin \sigma'_1}{\sin \sigma'_2} \right)^2 = \left(\frac{\frac{D'_1}{2a'_1}}{\frac{D'_2}{2a'_2}} \right)^2 = \left(\frac{15 \cdot 45,45}{50 \cdot 10} \right)^2 = 1,86.$$

Ответ: изменится примерно в 2 раза.

2. Репродукционная система имеет линейное увеличение $\beta = -5^\times$, длину 600 мм. Входной зрачок расположен на объективе и равен 50 мм. Чему равна задняя апертура? Систему считать тонкой.

Решение:

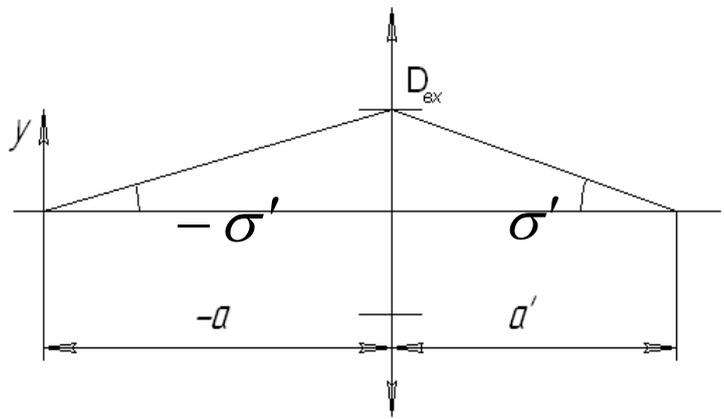
$$A' = n' \cdot \sin(\sigma');$$

$$n' = 1;$$

$$\sin \sigma' = \frac{D'}{2a};$$

Так как линза тонкая, то:

$$D = D' = 50 \text{ мм};$$



$$\begin{cases} -a + a' = 600 \\ \frac{a'}{a} = -5^\times; \end{cases} \Rightarrow a' = 500 \text{ мм};$$

$$\sin \sigma' = \frac{D'}{2a'} = \frac{50}{2 \cdot 500} = 0,05.$$

Ответ: $A = 0,05$.

3. Определите освещенность экрана размером 600x900 мм проекционной системы, если полезный световой поток лампы составляет 100 лм.

Решение:

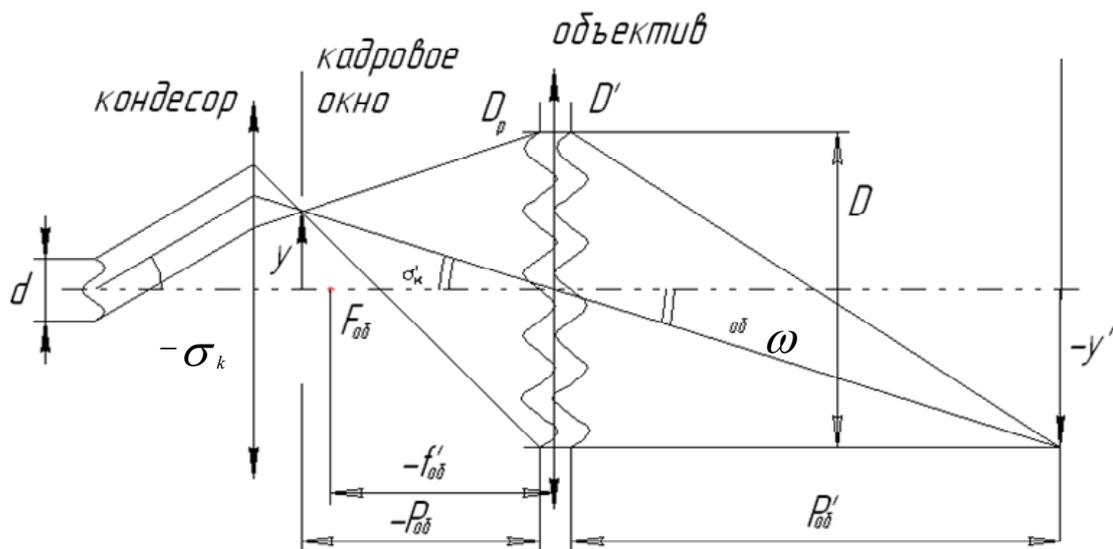
$$s = 0,6 \cdot 0,9 = 0,54 \text{ м}^2;$$

$$E = \frac{F}{s} = \frac{100}{0,54} = 185 \text{ лк}.$$

Ответ: $E = 185 \text{ лк}$.

4. В проекторе фокусное расстояние объектива $f'_{об} = 85 \text{ мм}$, относительное отверстие 1:2, а угловое поле $2\omega = 12^\circ$. Диаметр тела накала лампы 8,5 мм. Чему равна передняя апертура конденсора? Увеличение в зрачках объектива равно $\beta_p = 1,0$.

Решение:



Экран

$$A = \sin \sigma;$$

$$d \cdot \sin \sigma_k = D \cdot \sin \omega;$$

$$\sin \sigma_k = \frac{D \cdot \sin \omega}{d};$$

$$\frac{D}{f'} = \frac{1}{2} \Rightarrow D = 42,5 \text{ мм};$$

$$\sin \sigma_k = \frac{42,5 \cdot \sin(6^\circ)}{8,5} = 0,525.$$

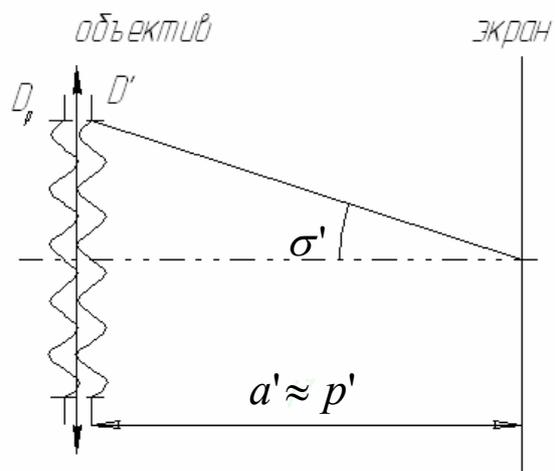
Ответ: $\sin \sigma_k = 0,525$.

5. Найдите задний апертурный угол репродукционной системы σ' , если расстояние от объектива до изображения $a' = 400$ мм, а диаметр выходного зрачка объектива $D'_p = 45$ мм.

Решение:

$$\sin \sigma' = \frac{D'_p}{2a'} \Rightarrow \sigma' = \arcsin\left(\frac{D'_p}{2a'}\right);$$

$$\sigma' = 3,22^\circ.$$



Ответ: $\sigma' = 3,22^\circ$.

6. Чему равна площадь освещаемой поверхности, если оптическая система дает полезный поток 112 лм, а освещенность от лампы накала равна 350 лк?

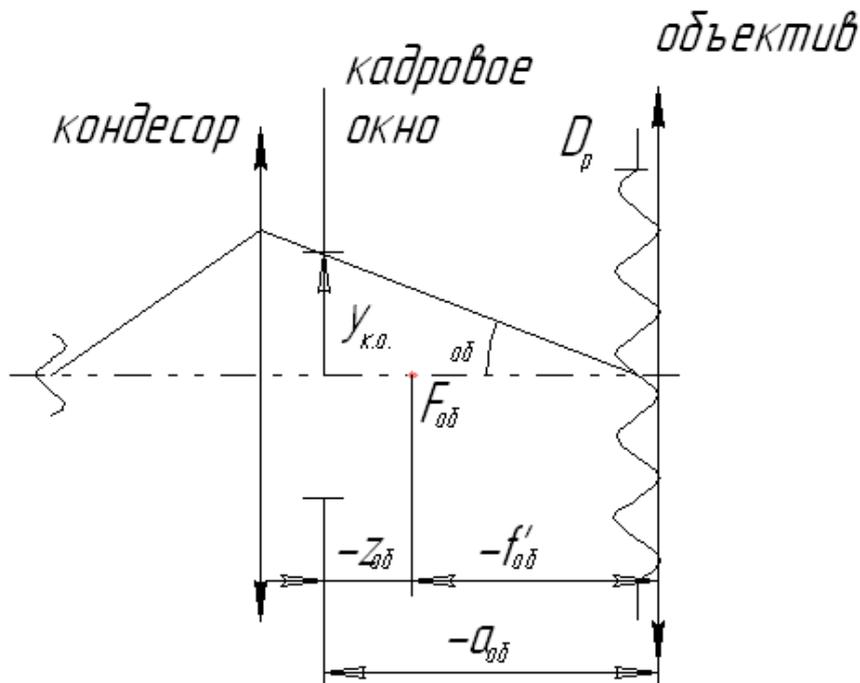
Решение:

$$E = \frac{F}{s} \Rightarrow s = \frac{F}{E} = \frac{112}{350} = 0,32 \text{ м}^2.$$

Ответ: $s = 0,32 \text{ м}^2$.

7. Источник излучения проектируется во входной зрачок проекционной системы. Фокусное расстояние проекционного объектива 100 мм, линейное увеличение $\beta_{об} = -10^\times$, размер кадрового окна 10x12 мм. Найти угловое поле объектива.

Решение:



$$2y_{ko} = \sqrt{10^2 + 12^2} = 15,6 \text{ мм};$$

$$\text{tg} \omega_{об} = \frac{y_{ko}}{a_{об}};$$

$$-a_{об} = -f'_{об} - z_{об};$$

$$z_{об} = \frac{f'}{\beta} = -10 \text{ мм};$$

$$\text{tg} \omega_{об} = \frac{7,8 \text{ мм}}{110 \text{ мм}} = 0,07;$$

$$2\omega_{об} = 8^\circ.$$

Ответ: $2\omega_{об} = 8^\circ$.

8. Изображение Солнца сфокусировано на листе бумаги с помощью линзы с фокусным расстоянием 50 мм и световым диаметром 10 мм. Определить диаметр изображения и освещенность, полагая, что яркость Солнца $L_{ист} = 1,5 \cdot 10^9$ Кд/м², а его угловой диаметр $2\omega = 30'$. Коэффициент пропускания линзы принять $\tau = 0,9$.

Решение:

Определим диаметр изображения Солнца.

Для предмета, расположенного в бесконечности,

$$2y' = 2f' \cdot \operatorname{tg} \omega' = 0,436 \text{ мм.}$$

Вычислим освещённость изображения в фокальной плоскости линзы, т.е. в плоскости изображения

$$E_v' = \pi \cdot \tau_{oc} \cdot L_{ист} \cdot \sin^2 \sigma'_{A'},$$

где $\sigma'_{A'}$ – апертурный угол в пространстве изображений равен, тогда

$$\sigma'_{A'} = 5,71^\circ \text{ и } \sin \sigma'_{A'} = 0,0995.$$

Найдём

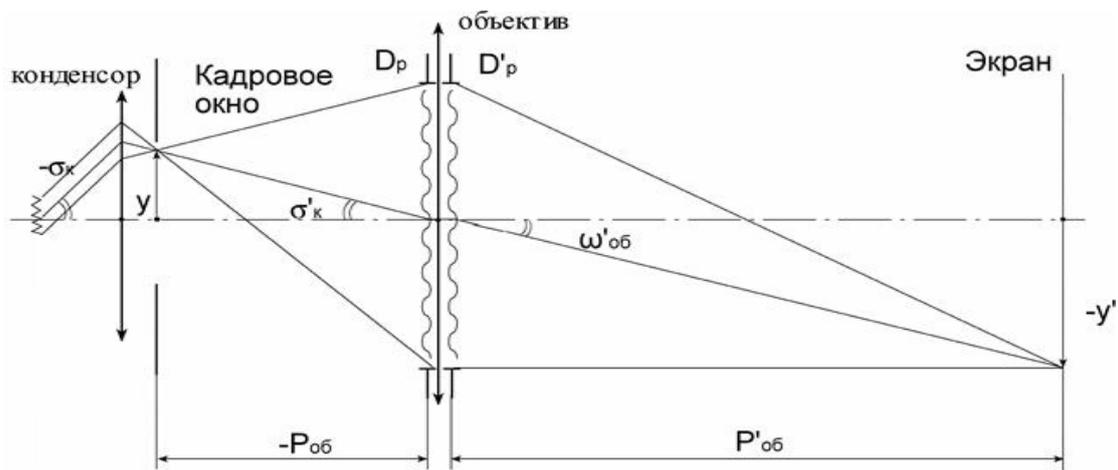
$$E_v' = 3,14 \cdot 0,9 \cdot 1,5 \cdot 10^9 \cdot 0,0995^2 = 41,97 \cdot 10^6 \text{ лк.}$$

Ответ: $2y' = 0,436$ мм, $E_v' = 41,97 \cdot 10^6$ лк.

9. Рассчитать величину фокусного расстояния объектива в проекционной системе, если изображение проектируется на экран, расположенный на расстоянии 5 м от объектива с 50–кратным увеличением.

Решение:

Расстояние от объектива до экрана $p' = 5000$ мм.



$$p'_{об} = f'_{об} + z'_{об};$$

$$\beta'_{об} = -\frac{z'_{об}}{f'_{об}};$$

$$z'_{об} = 50f'_{об};$$

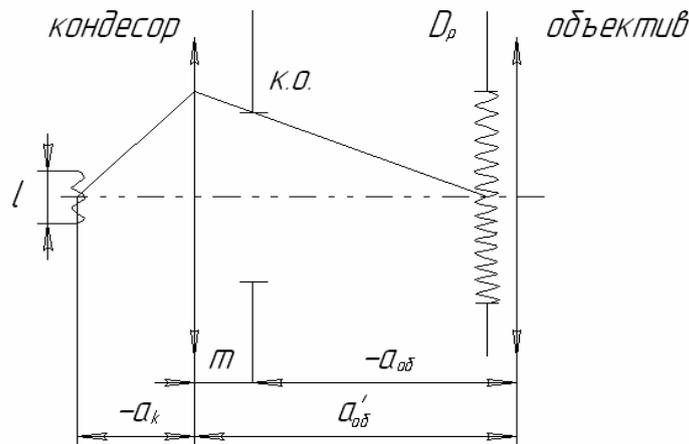
$$5000 = f'_{об} + 50f'_{об};$$

$$f'_{об} = 84 \text{ мм.}$$

Ответ: $f'_{об} = 84 \text{ мм.}$

10. Определить фокусное расстояние конденсора, если размер нити лампы $l = 10 \text{ мм}$. Проекционный объектив имеет следующие данные: $f'_{об} = 100 \text{ мм}$, относительное отверстие $1:3$, $\beta_{об} = -50^x$, расстояние от конденсора до кадрового окна $m = 10 \text{ мм}$. Считать, что входной и выходной зрачки объектива совпадают с главными плоскостями.

Решение:



$$\beta_k = -\frac{D}{l}; \quad \frac{D}{f'} = \frac{1}{3} \Rightarrow D = 33,3 \text{ мм};$$

$$\beta_k = -\frac{33,3}{10} = -3,33^x;$$

$$f'_k = \frac{a'_k}{1 - \beta_k}; \quad a'_k = |\dot{a}_{i\dot{a}}| + m;$$

$$a'_{об} = f'_{об} (1 - \beta_{об}) = 5100 \text{ мм}; \quad a'_{об} = \frac{a'_{об} \cdot f'_{об}}{f'_{об} - a'_{об}} = 102 \text{ мм};$$

$$f'_k = \frac{a'_k}{1 - \beta_k} = \frac{112}{1 - (-3,33)} = 26,05 \text{ мм.}$$

Ответ: $f'_k = 26,05 \text{ мм.}$

11. На киноэкран шириной 6 м падает световой поток 2700 лм . Определить освещенность экрана, если отношение высоты и ширины его $k = 3:4$.

Решение:

Высота экрана равна $6 \cdot \frac{3}{4} = 4,5 \text{ м}$, площадь экрана $s = 4,5 \times 6 = 27 \text{ м}^2$.

$$E = \frac{F}{s} = \frac{2700}{27} = 100 \text{лк}.$$

Ответ: E=100 лк.

12. Определить необходимую яркость источника света проекционной диаскопической системы с увеличением $\beta = -100^x$, если освещенность экрана должна быть 100 лк, а в качестве проекционного объектива используется объектив с $f' = 50$ мм, относительным отверстием 1:2. Коэффициент светопропускания принять равным $\tau = 0,2$.

Решение:

$$L = \frac{E'}{\pi \cdot \tau \cdot \sin^2 \sigma'};$$

$$\sin^2 \sigma' = \left(\frac{D}{2p'}\right)^2;$$

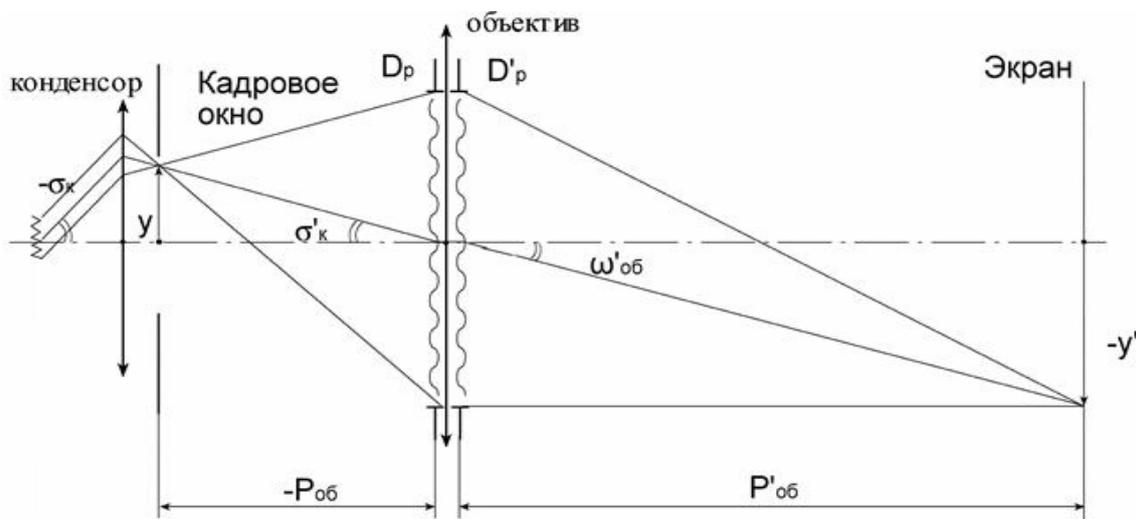
$$p' = f' + z' = f' + \beta \cdot f' = 5050;$$

$$L = \frac{4p'^2 \cdot E'}{\pi \cdot \tau \cdot D^2} = \frac{4 \cdot (5050)^2 \cdot 100}{3,14 \cdot 0,2 \cdot 25^2} = 26 \cdot 10^6 \text{кд/м}^2.$$

Ответ: $L = 26 \cdot 10^6$ кд/м².

13. В диапроекторе используется галогенная лампа КГМ12-200 с размерами проекции тела накала $4,5 \times 4,4$ мм и световым потоком 5000 лм. Освещенность в центре экрана, расположенного на расстоянии 4 м от объектива, составляет 180 лк, коэффициент пропускания оптической системы 0,7. Найти диаметр выходного зрачка объектива.

Решение:



$$E_{\text{эк}} = \pi \cdot \tau_{\text{ос}} \cdot L_{\text{уст}} \cdot \sin^2 \sigma'_A = \pi \cdot \tau_{\text{ос}} \cdot L_{\text{уст}} \cdot \left(\frac{D'_p}{2 \cdot a'_{\text{об}}} \right)^2 \Rightarrow$$

$$D'_p = \sqrt{\frac{E_{\text{эк}} \cdot 4 \cdot a'^2_{\text{об}}}{\pi \cdot \tau_{\text{ос}} \cdot L_{\text{уст}}}};$$

$$L_{\text{уст}} = \frac{I}{S_{\text{уст}}} = \frac{\Phi}{4\pi \cdot S_{\text{уст}}};$$

$$L_{\text{уст}} = \frac{5000}{4 \cdot 3,14 \cdot (4,5 \cdot 4,4) \cdot 10^{-6}} = 20,11 \cdot 10^6 \text{ кД/м}^2;$$

$$D'_p = \sqrt{\frac{180 \cdot 4 \cdot 4000^2}{3,14 \cdot 0,7 \cdot 20,11 \cdot 10^6}} = 16,14 \text{ мм.}$$

Ответ: $D'_p = 16,14 \text{ мм.}$

МОДУЛЬ №2

Тема 2. 3 Работа оптического прибора совместно с глазом человека

Вопросы для самостоятельной работы

1. Почему переднее и заднее фокусные расстояния глаза разные по величине?
2. Почему в течение жизни человека ближняя точка ясного видения постоянно удаляется от нас?
3. Чему равно «расстояние наилучшего видения» и почему оно наилучшее?
4. Что называется объемом аккомодации глаза?
5. Что называется остротой зрения?
6. Как меняется острота зрения по мере удаления от зрительной оси?
7. Почему адаптация глаза с темноты на свет (со света на темноту) переходит постепенно?
8. Почему «Ночью все кошки серые»?
9. Что такое видимое увеличение?
10. От чего зависит видимое увеличение лупы?
11. Что такое условие естественного впечатления и от чего оно зависит?

Задачи для самостоятельной работы

1. Предмет находится на расстоянии 45 мм перед лупой с $f = 50 \text{ мм}$. Определите её видимое увеличение, если глаз находится за ней на расстоянии: а) 45 мм, б) 500 мм, с) 55 мм.
2. Объём аккомодации глаза 10 дптр. Определите, где находится ближняя точка ясного видения этого глаза, если: а) аметропия глаза 2 дптр; б) глаз – эметроп; с) близорукость глаза 2 дптр.

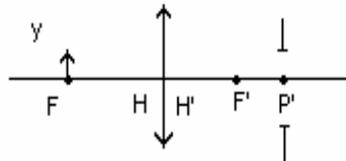
3. Фотографирование произведено камерой, которая имеет объектив с $f' = 12$ мм и ПЗС-матрицу с диагональю 10 мм. С какого расстояния надо смотреть снимки на экране телевизора с диагональю 51 см, чтобы получить условие естественного виденья?
4. Во сколько раз необходимо увеличить негативные снимки, полученные любительским фотоаппаратом с объективом, имеющим фокусное расстояние 50 мм, чтобы при рассмотрении отпечатков с расстояния наилучшего видения получить условие естественного впечатления?
5. Определить линейное поле лупы $2y$, если известно, что изображение после лупы рассматривается под углом $\omega' = 6^\circ$, а заднее фокусное расстояние равно $f' = 100$ мм.

Решение: $2y = 2f'tg\omega' = 2 \cdot 100 \cdot tg(6^\circ) = 21$ мм.

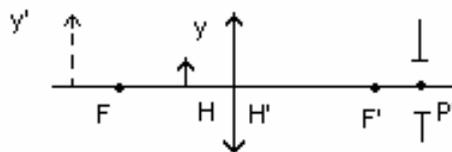
6. Найти разрешающую способность системы «лупа+глаз» при хороших условиях освещения и достаточной контрастности ($\psi_{zn}' = 1'$). Видимое увеличение лупы $\Gamma_n = 4^x$. Глаз находится на расстоянии наилучшего видения ($L = 250$ мм).
7. Определить оптическую силу лупы, имеющей видимое увеличение $\Gamma_n = 10^x$.
8. Можно ли с помощью лупы с фокусным расстоянием 300 мм получить видимое увеличение $3x$?
9. Найти видимое увеличение лупы для рисунка, при условии, что $f' = 100$ мм

Решение:

$$\Gamma_n = \frac{250}{f'} = 2,5^x.$$



10. Найти видимое увеличение лупы для рисунка, при условии, что $f' = 100$ мм, $z'_p = 10$ мм, $z = 30,0$ мм.



11. Возможно ли наблюдение невооруженным глазом шкалы визуального прибора с величиной интервала $\delta = 0.06$ мм? Каким станет видимый интервал между штрихами шкалы, если применить для её рассматривания окуляр с $f' = 10$ мм?

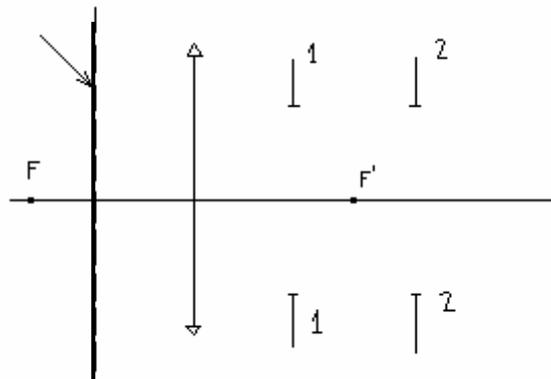
КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Контрольная работа №1 МОДУЛЬ №1

Тема 1.1 Основные сведения из геометрической оптики

1. Увеличение оптической системы с $f' = 100$ мм, $\beta = +3$. Определите отрезки z , z' , a , a' . Покажите на рисунке все отрезки. Систему считать тонкой.
2. Линза с $f = -100$ мм имеет $s'_{F'} = -105$ и $s_F = 90$. Определите отрезки s и s' при увеличении $\beta = -2$.
3. Оптическая система имеет две диафрагмы равного диаметра, как показано на рисунке. Определите, какая из них является апертурной, если плоскость предметов находится перед системой на половине фокусного расстояния.

Плоскость предметов



Пример решения задач

1. По формуле линейного увеличения

$$\beta = -\frac{f'}{z} = -\frac{z'}{f'}$$

Откуда:

$$z' = -\beta f' = -3 \cdot 100 = -300.$$

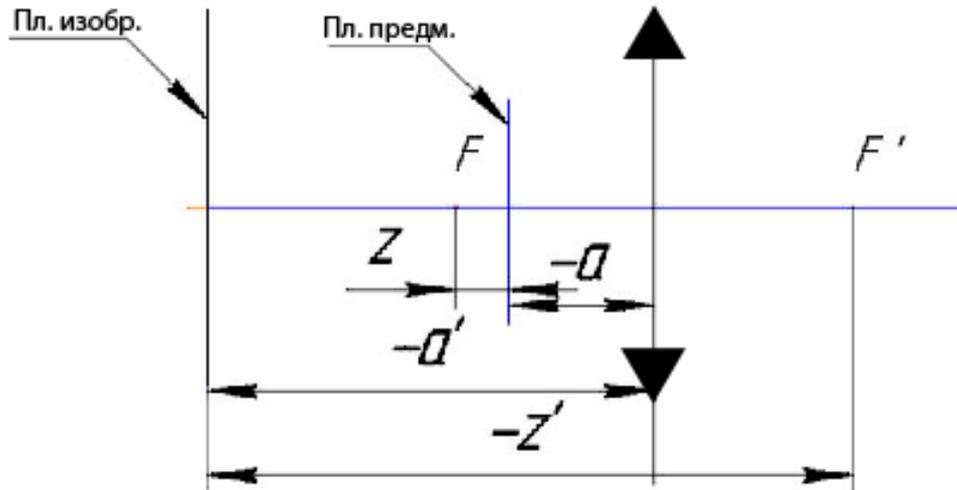
$$z = -\frac{f'}{\beta} = -\frac{-100}{3} = 33,3.$$

Кроме того,

$$a' = f' + z' = 100 - 300 = -200;$$

$$-a = -f - z = -(-100) - 33,3 = 66,7;$$

$$a = -66,7.$$



2. Так как

$$s' = s'_{F'} + z';$$

$$-s = -s_F - z.$$

Определяем отрезки z и z' . По формуле линейного увеличения

$$z = -f / \beta = -100 / -2 = 50;$$

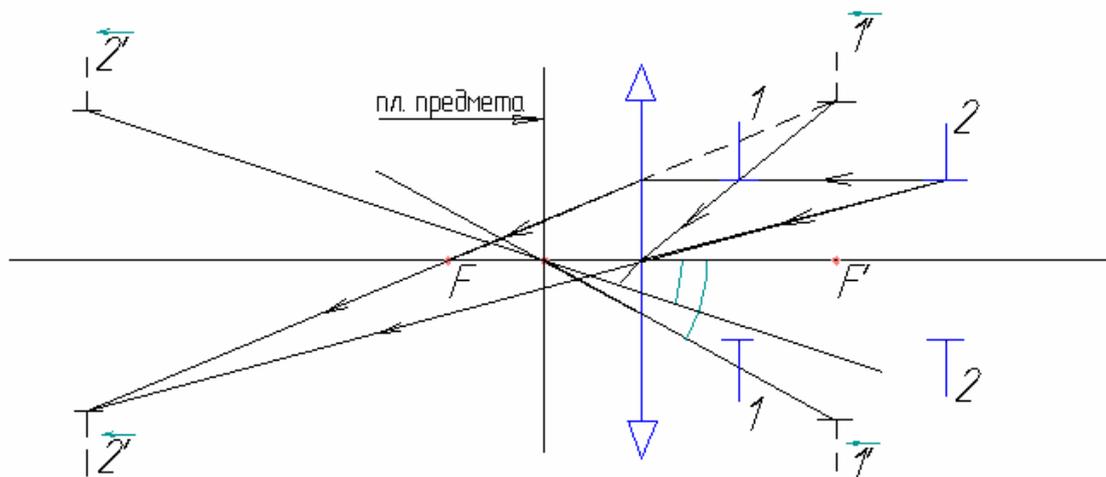
$$z' = -\beta \cdot f = -(-2) \cdot (-100) = -200.$$

Откуда

$$s = s_F + z = 90 + 50 = 140;$$

$$s' = s'_{F'} + z' = -105 - 200 = -305.$$

3. Для определения, какая из диафрагм является апертурной, построим их изображения в пространстве предметов в обратном ходе лучей.



Теперь из рисунка видно, что изображение $2'2'$ диафрагмы 22 видно из осевой точки предмета под меньшим углом, чем изображение $1'1'$ диафрагмы 11. Следовательно, $2'2'$ является входным зрачком, а сама диафрагма 22 – апертурной.

Контрольная работа №2

МОДУЛЬ №1

Тема 1.2 Элементарная база оптики. Часть 1

1. В фотокамере плоскость изображений находится в 100 мм после объектива. На каком расстоянии от объектива надо поставить фотопластинку толщиной 3 мм ($n_{ст} = 1,5$), если фотослой находится на задней стороне пластины.
2. В приборе между линзой и пластинкой диаметром по 30 мм находится зеркало, как показано на рисунке 1. Если зеркало заменить призмой ($n_{ст}=1,5$), на каком расстоянии надо поместить пластину (см. рисунок 2.)?

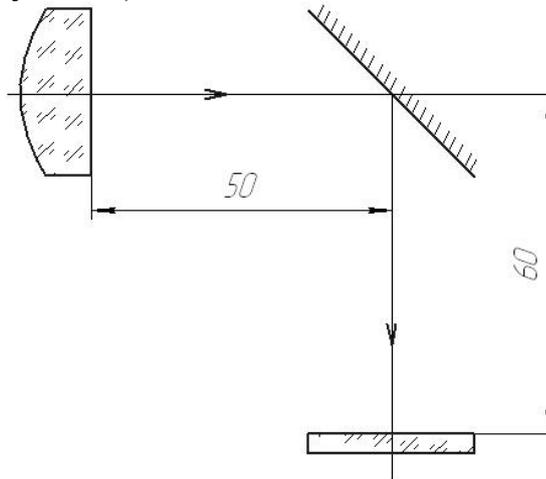


рисунок 1.

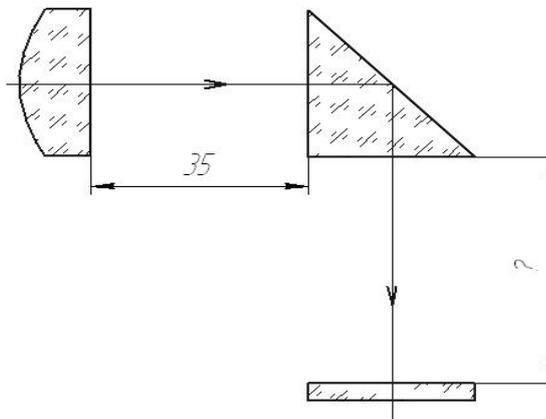
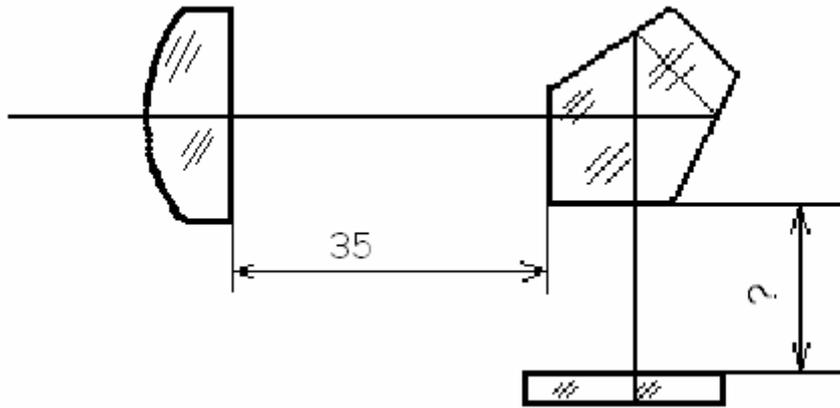


рисунок 2.

3. Каким станет расстояние от призмы до пластины из задачи 2, если прямоугольную призму заменить на пентапризму из того же стекла, как показано на рисунке.



Пример решения задач

1. Так как фотопластинка находится между объективом и изображением, она вносит в ход лучей удлинение

$$\Delta = \frac{n-1}{n} \cdot d = \frac{1,5-1}{1,5} \cdot 3 = 1 \text{ мм.}$$

Следовательно, расстояние от объектива до пластинки должно быть

$$s' + \Delta - d = 100 + 1 - 3 = 98 \text{ мм.}$$

2. Так как линза и пластинка имеют одинаковые диаметры, призма между ними должна иметь такой же световой диаметр – 30 мм. Коэффициент прямоугольной призмы единица, следовательно, в нашем случае она эквивалентна стеклянной пластине толщиной 30 мм. Эта пластина имеет удлинение

$$\Delta = \frac{1,5-1}{1,5} \cdot 30 = 10 \text{ мм.}$$

Следовательно, расстояние от призмы до пластинки будет

$$l = 50 + 60 + 10 - 35 - 30 = 55 \text{ мм.}$$

3. Пентапризма имеет коэффициент 3,14, следовательно, она эквивалентна пластине толщиной

$$d = k \cdot a = 3,14 \cdot 30 = 102,3 \text{ мм.}$$

Такая пластина вносит удлинение

$$\Delta = \frac{n-1}{n} \cdot d = \frac{1,5-1}{1,5} \cdot 102,3 = 34,1 \text{ мм.}$$

Поэтому в этом случае

$$l = 50 + 60 + 34,1 - 35 - 102,3 = 6,8 \text{ мм.}$$

Контрольная работа №3

МОДУЛЬ №2

Тема 2.3 Работа оптического прибора совместно с глазом человека

1. Предмет находится в передней фокальной плоскости лупы с

- $f' = 25\text{мм}$. Каково видимое увеличение лупы?
2. Определите, где находится дальняя точка ясного видения глаза, если его аметропия составляет +2дптр?

Пример решения задач

1. Если предмет находится в передней фокальной плоскости лупы, её видимое увеличение определяется по формуле

$$\Gamma = \frac{250}{f'}$$

Следовательно

$$\Gamma = \frac{250}{25} = 10^x$$

2. Аметропия определяется по формуле

$$A = \frac{1000}{a_{\Delta}}$$

Откуда

$$a_{\Delta} = \frac{1000}{A} = \frac{1000}{2} = 500\text{мм}$$

Дальняя точка ясного видения находится за глазом на расстоянии 500мм.

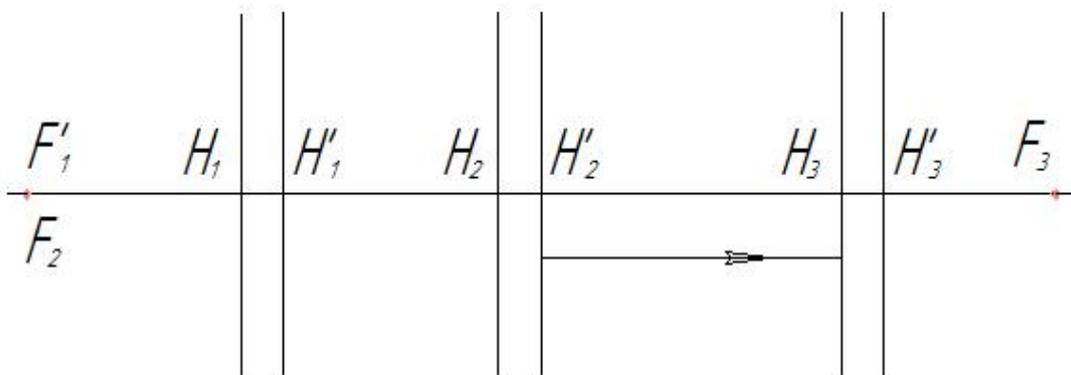
ПИСЬМЕННЫЕ ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ

Домашнее задание №1

МОДУЛЬ №1

Тема 1.1 Основные сведения из геометрической оптики

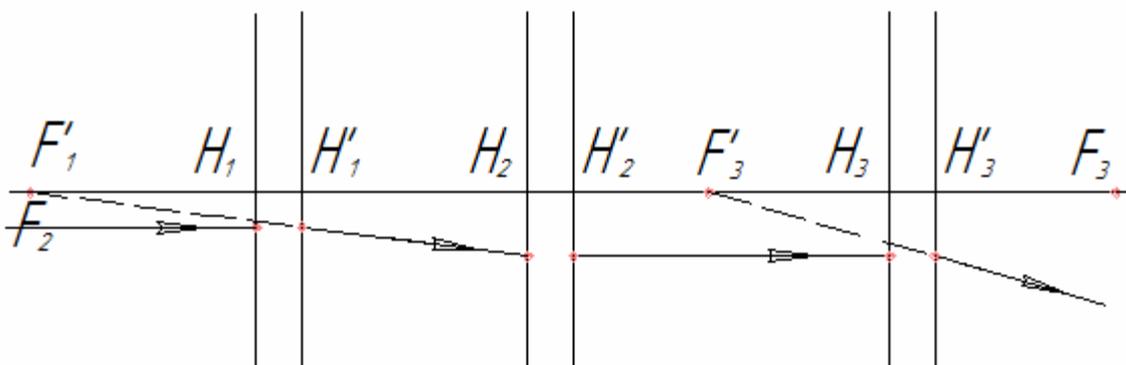
1. Построить ход луча через оптическую систему, заданную главными плоскостями и фокусами компонентов, если известен ход луча между вторым и третьим компонентом.



2. Линза имеет фокусное расстояние $f' = 100$ мм. Предмет размером $y = 10$ мм расположен от передней главной плоскости линзы на расстоянии $a = 100$ мм. Определить положение и величину изображения аналитически и графически.
3. Определить радиус в мм сферической поверхности плоско-вогнутой линзы, если $n = 1,6$ и задний фокальный отрезок $s'_{F'} = -60$ мм.
4. 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 f' всей системы и задний фокальный отрезок $a'_{F'}$.
5. Линза диаметром 20 мм имеет фокусное расстояние $f' = 50$ мм. Позади линзы на расстоянии 20 мм установлена диафрагма диаметром 10 мм. Найти положения и размеры входного и выходного зрачков, если предмет расположен в бесконечности.

Пример решения задач

1.



2.

1) Определяем положение изображения по формуле отрезков:

$$\frac{1}{a'} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f'} \Rightarrow a' = 50 \text{ мм.}$$

2) Линейное увеличение линзы β определяется по формуле

$$\beta = \frac{a'}{a}$$

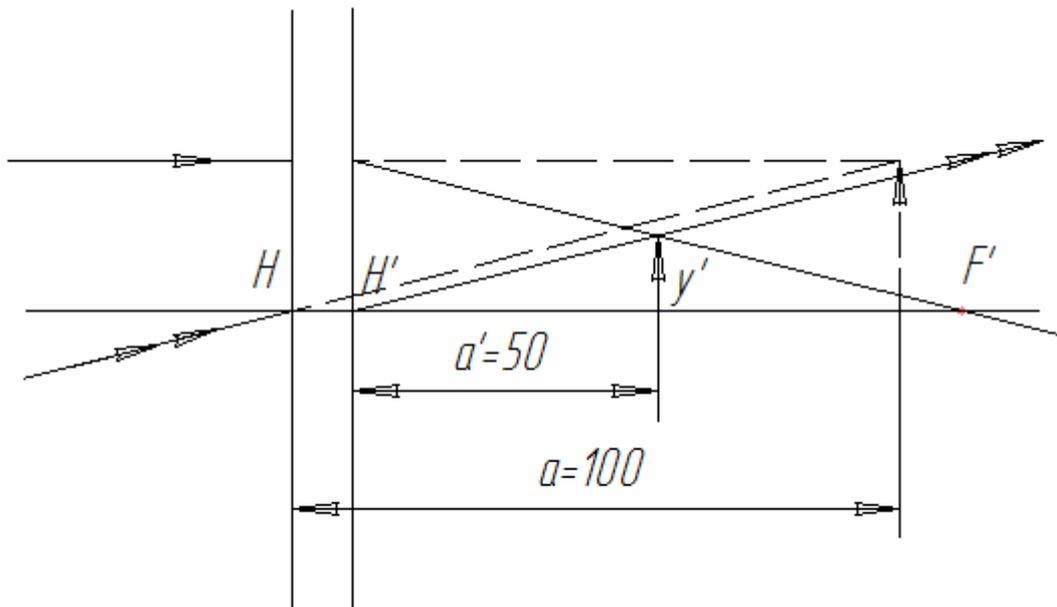
и равно $\beta = \frac{1}{2}$.

3) Определяем размер изображения:

$$\beta = \frac{y'}{y} \Rightarrow y' = 5 \text{ мм.}$$

Ответ: $a' = 50$ мм; $y' = 5$ мм.

4) Графическое нахождение изображения:



При $a = 100$ мм предмет расположен справа от линзы и является мнимым.

3.

1) В плоско-вогнутой линзе задняя главная плоскость H' проходит через вершину вогнутой поверхности, поэтому $f' = s'_{F'}$ и $f' = -60$ мм.

2) Оптическая сила линзы в воздухе определяется выражением

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

Для плоско-вогнутой линзы $r_1 = \infty$ и формула упрощается.

$$\Phi = \frac{1}{f'} = -\frac{(n-1)}{r}.$$

3) Определяем радиус сферической поверхности плоско-вогнутой линзы:

$$r = -(n - 1) \cdot f' = 36 \text{ мм.}$$

Ответ: $r = 36 \text{ мм.}$

4.

1) Оптическая сила системы, состоящей из двух компонентов, определяется выражением

$$\Phi = \frac{1}{f'} = \Phi_1 + \Phi_2 - \Phi_1 \Phi_2 d = -\frac{1}{50} + \frac{1}{50} + \frac{100}{50 \cdot 50} = \frac{1}{25}.$$

Тогда $f' = 25 \text{ мм.}$

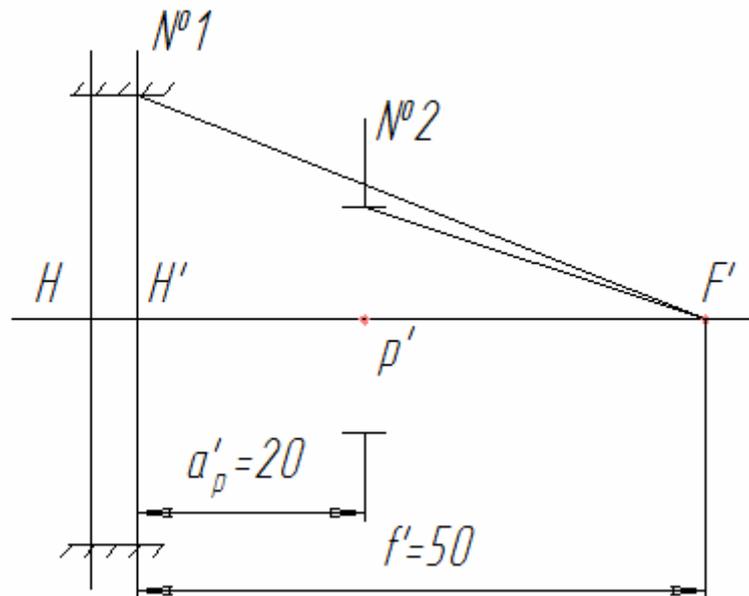
2) Расстояние от задней главной плоскости второй линзы до эквивалентного фокуса определяется по формуле:

$$a'_F = \frac{1 - \Phi_1 d}{\Phi} = 75 \text{ мм.}$$

Ответ: $f' = 25 \text{ мм; } a'_F = 75 \text{ мм.}$

5.

1) По рисунку линзы и диафрагмы определяем, какая из диафрагм является апертурной.



Если предмет расположен в бесконечности, то изображение находится в задней фокальной плоскости. Осевую точку изображения соединяем с краями оправы линзы и диафрагмы. Та диафрагма, которая видна из центра изображения под наименьшим углом, является апертурной и это диафрагма №2. Апертурная диафрагма, расположенная в пространстве изображений, называется выходным зрачком. Следовательно, выходной зрачок находится от линзы на расстоянии $a'_p = 20$ и его диаметр $D' = 10 \text{ мм.}$

2) Определяем положение входного зрачка по формуле отрезков:

$$\frac{1}{a'_{p'}} - \frac{1}{a_p} = \frac{1}{f'} \Rightarrow a_p = 33,33 \text{ мм.}$$

Затем – диаметр входного зрачка:

$$\beta_p = \frac{a'_{p'}}{a_p} = \frac{D'}{D} \Rightarrow D = 16,67 \text{ мм.}$$

Ответ: $a_p = 33,33 \text{ мм}$, $D = 16,67 \text{ мм}$ – входной зрачок;

$a'_{p'} = 20 \text{ мм}$, $D' = 10 \text{ мм}$ – выходной зрачок.

Домашнее задание №2

МОДУЛЬ №1

Тема 2.1 Элементная база оптики. Часть 1 *Расчёт призм графоаналитическим методом*

Задание для работы

1. Выбрать тип призмы.
2. Определить расстояния между объективом и призмой, призмой и сеткой, сеткой и окуляром.
3. Определить размеры призмы.
4. Представить конструктивную схему оптики.
5. Исходные данные
6. Расположить призму между объективом и сеткой. Призма должна давать прямое изображение и отклонять ось на 90° .

$$s'_{F'_{об}} = 150 \text{ мм.}$$

$$D_{об} = 40 \text{ мм.}$$

$$D_{сетки} = 10 \text{ мм.}$$

$$d_{сетки} = 3 \text{ мм.}$$

$n = 1,5$ – показатель преломления стекла призмы и сетки.

$$f'_{ок} = 25 \text{ мм;}$$

$$S_{F_{ок}} = -16 \text{ мм.}$$

Плоскость делений находится на первой поверхности сетки.

Схема оптики представлена на рисунке 1.

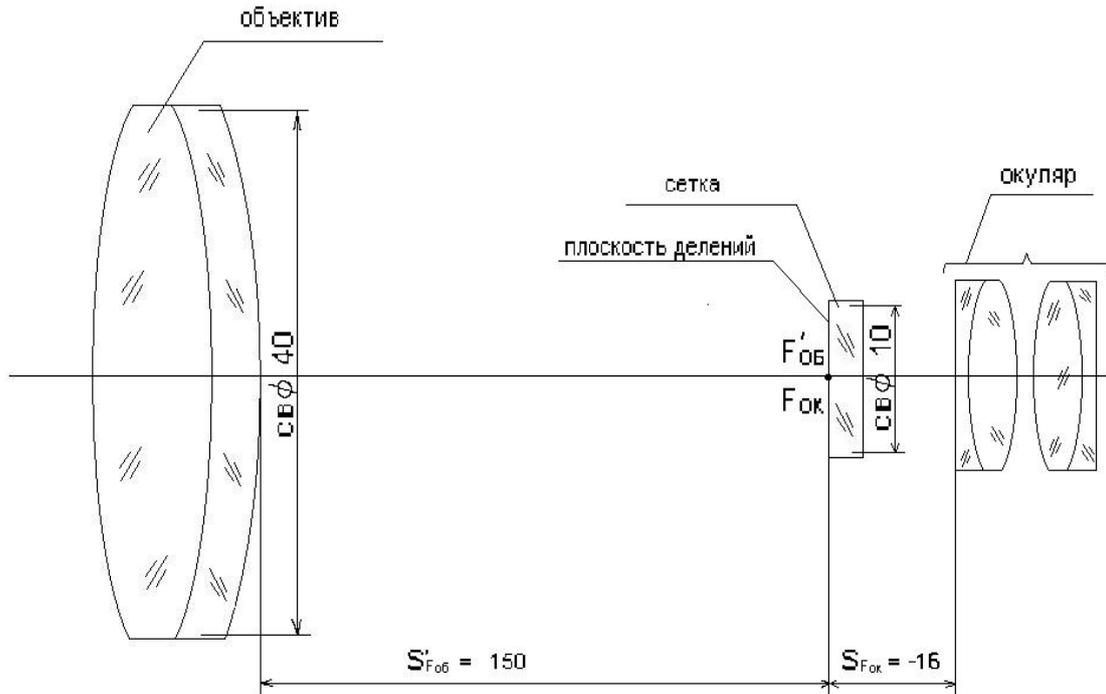


рисунок 1.

Пример выполнения

Расчёт размеров граней призм, установленных в сходящихся пучках лучей, выполняется графоаналитическим методом, предложенным профессором И.А. Турыгиным.

Положение призмы в заданном коническом пучке зависит от различных конструктивных требований. Например, для получения наименьших габаритов призмы, её нужно помещать ближе к узкой части светового пучка. Очень близко к плоскости промежуточного изображения помещать призму не рекомендуется, чтобы царапины, пузырьки, пылинки на грани призмы не были видны наблюдателю. Выходную грань призмы следует поместить от плоскости изображения на расстоянии z , определяемом по формуле

$$z = 0,01 f'_{\text{ок}}{}^2;$$

$$z = 0,01 \cdot 625 = 6,25 \text{ мм.}$$

Зададим $z = 10$ мм.

Для отклонения оптической оси на 90° и получения прямого изображения применяется пентапризма БП-90. Из справочника конструктора оптико-механических приборов определяем коэффициент k , характеризующий призму данного типа: $k = 3,41$.

Выбрав положение выходной грани, проводим вспомогательную прямую под углом γ к оси до пересечения с коническим габаритным пучком лучей. Угол γ находим по формуле

$$\text{tg} \gamma = \frac{n}{2k} = \frac{1,5}{2 \cdot 3,41} = 0,22 \Rightarrow \gamma = 12^\circ 24'.$$

Добавляя $1 \div 2$ мм на крепление и юстировку призмы, проводим прямую, определяющую положение входной грани призмы (рисунок 2)

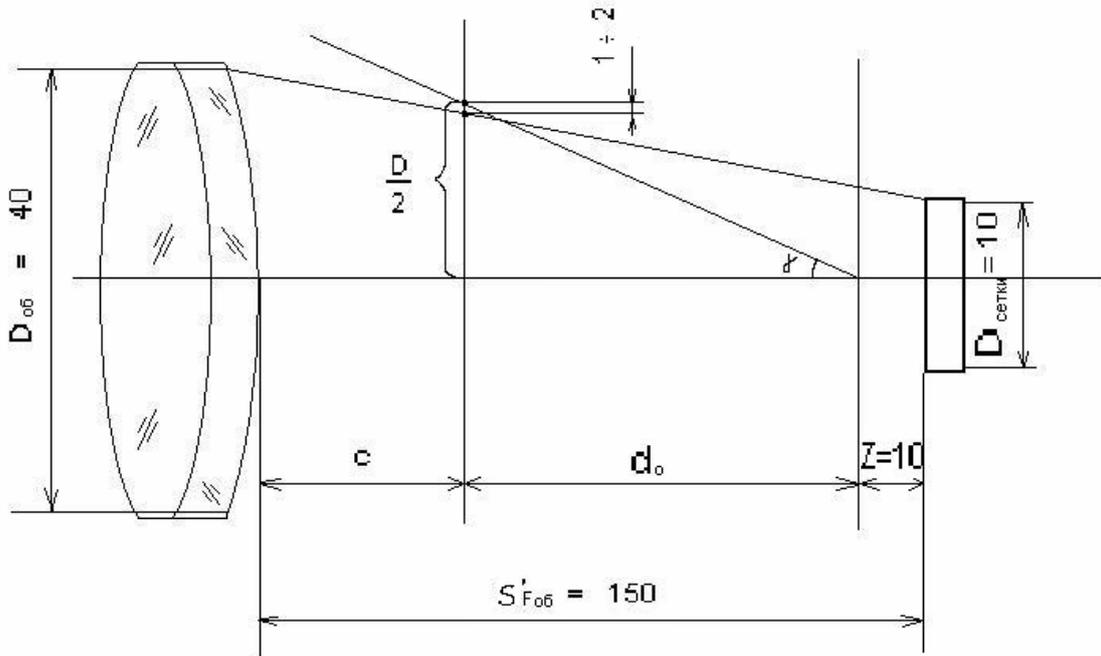


Рисунок 2.

Размер D снимаем с чертежа, где D - размер входной грани призмы.

$$D = 26 \text{ мм.}$$

Находим длину хода луча в призме d :

$$d = k \cdot D = 3,41 \cdot 26 = 88,66 \text{ мм.}$$

Толщину редуцированной, т.е. воздушной, пластинки определяем по формуле:

$$d' = \frac{d}{n} = \frac{88,66}{1,5} = 57,20 \text{ мм}$$

и сравниваем для проверки с толщиной пластинки, измеренной по чертежу (рисунок 2).

Определяем расстояние от объектива до входной грани призмы:

$$c = s'_{F'_{об}} - z - d' = 150 - 10 - 57,20 = 82,80 \text{ мм.}$$

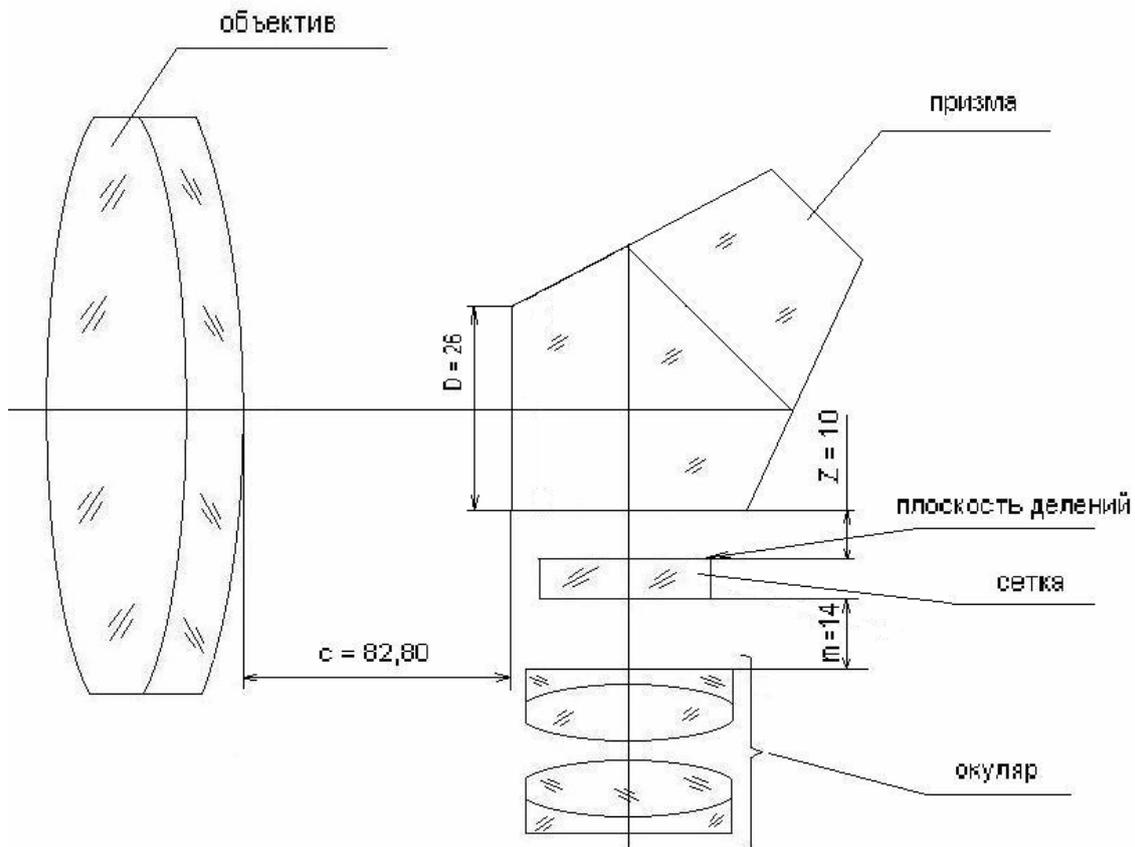
Затем определяем расстояние между второй поверхностью сетки и окуляра – m .

Сетку, стеклянную плоскопараллельную пластинку, заменяем воздушной

$$d'_{сетки} = \frac{d_{сетки}}{n} = \frac{3}{1,5} = 2 \text{ мм;}$$

$$m = |s_{F_{ок}}| - d'_{сетки} = 16 - 2 = 14 \text{ мм;}$$

Приводим конструктивную схему оптики.



**Домашнее задание №3
МОДУЛЬ №2**

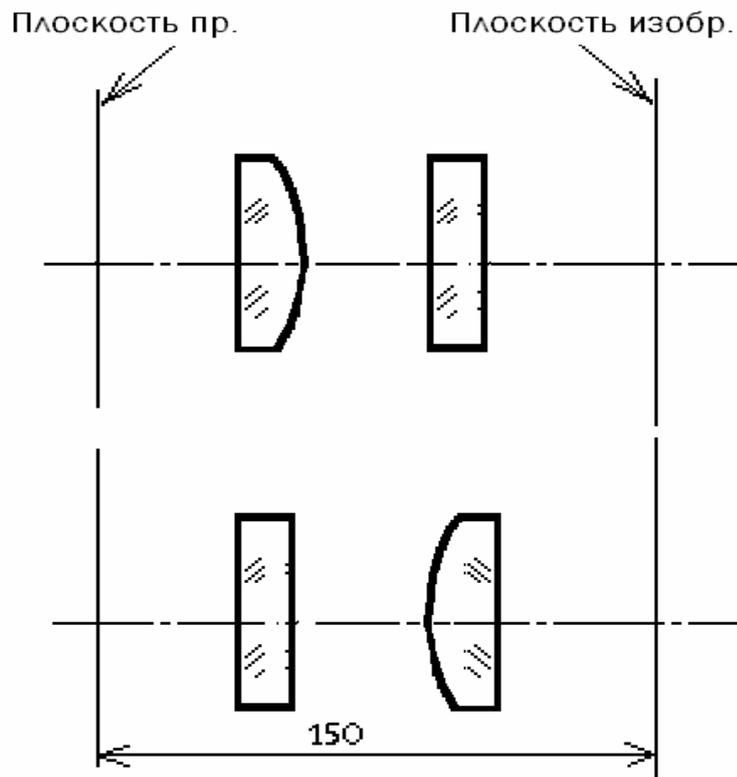
Тема 2.1 Элементная база оптики. Часть 2

Вариант 1

1. Цилиндрический стержень с полированными торцами из стекла с $n_{ст} = 1,7$ имеет оболочку из стекла с $n_{об} = 1,5$, как показано на рисунке. Определите, с какой апертурой может проходить через него свет.

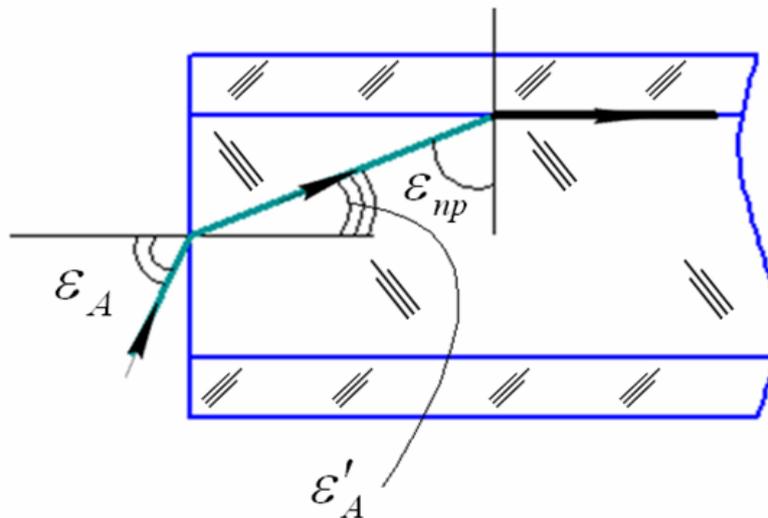


2. Система состоит из двух цилиндрических линз, как показано на видах спереди и сверху. Определите оптическую силу системы в этих сечениях, если она имеет на верхнем рисунке увеличение $\beta_1 = -2$, а на нижнем – $\beta_2 = -0,5$. Линзы считать тонкими.



Пример решения задач

1. Апертура стержня определяется предельным углом полного внутреннего отражения, как показано на рисунке



В соответствии с законом преломления

$$\sin \varepsilon_{np} = \frac{n'}{n} = \frac{1.5}{1.7} = 0.882 .$$

Следовательно, $\varepsilon_{np} \approx 62^\circ$.

Тогда из рисунка

$$\varepsilon'_A = 180 - 90 - 62 = 28^\circ .$$

И апертура световода

$$A = n \cdot \sin \varepsilon_A = n' \cdot \sin \varepsilon'_A = 1.7 \cdot \sin 28^\circ \approx 0.8 .$$

Для верхнего сечения можно записать

$$-a_1 + a'_1 = 150 ;$$

$$\frac{a'_1}{a_1} = -2.$$

Откуда

$$a_1 = -50 \text{ мм}, \quad a'_1 = 100 \text{ мм}.$$

Известно, что

$$f' = \frac{a'}{1-\beta}.$$

Значит, в нашем случае

$$\Phi_1 = \frac{1000}{f'_1} = \frac{1000 \cdot (1-\beta)}{a'_1} = \frac{1000 \cdot (1+2)}{100} = 30 \text{ дптр}.$$

Для нижнего сечения

$$-a_2 + a'_2 = 150 ;$$

$$\frac{a'_2}{a_2} = -0,5.$$

Откуда: $a_2 = -100 \text{ мм}, \quad a'_2 = 50 \text{ мм}, \quad \Phi_2 = 30 \text{ дптр}.$

Домашнее задание №3

МОДУЛЬ №2

Тема 2.1 Элементная база оптики. Часть 2

Вариант 2

1. Световод длиной 500 мм изготовлен из стекла с показателем преломления $n_c = 1,6$, а его оболочка имеет $n_u = 1,52$. Определить длину хода луча в стекле в меридиональном сечении при максимально возможном угле наклона σ .
2. В цилиндрической системе линейное увеличение в меридиональном сечении $\beta_M = -0,1^x$, а в сагиттальном сечении $\beta_\Delta = -3^x$. Расстояние между предметом и изображением 330 мм. Определить фокусные расстояния линз в меридиональном и сагиттальном сечениях (толщинами линз пренебречь). Сделать рисунок.

Пример решения задач

1. Длина хода луча в световоде в меридиональном сечении определяется по формуле:

$$d = \frac{\ell}{\cos \varepsilon_1} = \frac{\ell}{\sqrt{1 - \left(\frac{\sin \varepsilon_1}{n_c}\right)^2}} = \frac{\ell \cdot n_c}{\sqrt{n_c^2 - \sin^2 \varepsilon_1}} = \frac{\ell \cdot n_c}{\sqrt{n_c^2 - \sin^2 \sigma}}.$$

Числовая апертура световода определяется по формуле:

$$A = |\sin \sigma| = \sqrt{n_c^2 - n_u^2}.$$

Тогда длина хода луча равна

$$d = \frac{\ell \cdot n_c}{n_u} = \frac{500 \cdot 1,6}{1,52} = 526,3 \text{ мм.}$$

Ответ: $d = 526,3$ мм.

2.

1) В меридиональном сечении: составим два уравнения:

$$-a + a' = 330;$$

$$\frac{a'}{a} = \beta; \Rightarrow \frac{a'}{a} = -0,1 \Rightarrow a' = -0,1 \cdot a.$$

Отсюда находим $a = -300$ мм, $a' = 30$ мм.

Далее по формуле отрезков определяем фокусное расстояние :

$$\frac{1}{a'} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f_M'} \Rightarrow f_M' = 27,3 \text{ мм.}$$

2) В сагиттальном сечении:

$$-a + a' = 330;$$

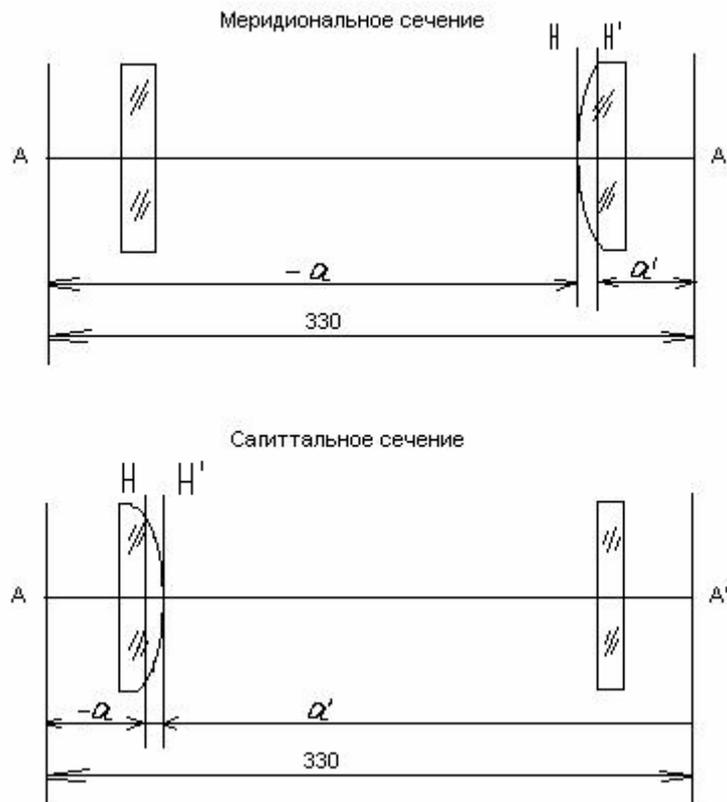
$$\frac{a'}{a} = \beta \Rightarrow \frac{a'}{a} = -3 \Rightarrow a = -82,5.$$

$$a' = 247,5 \text{ мм.}$$

По формуле отрезков определяем фокусное расстояние:

$$\frac{1}{a'} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f_S'} \Rightarrow f_S' = 61,9 \text{ мм.}$$

Ответ: $f_M' = 27,3$ мм, $f_S' = 61,9$ мм.



Домашнее задание №4

МОДУЛЬ №2

Тема 2.2 Проекционные системы

Расчёт проекционной установки с диаскопической проекцией

Задание для работы

Исходя из заданных характеристик проекционной схемы, необходимо выполнить габаритный расчёт.

По полученным данным подобрать источник света и объектив, используя каталоги и библиотеку оптических систем программы "OPAL".

Выполнить расчёт конденсора.

Составить оптическую систему и определить расстояния между компонентами.

Выполнить чертёж оптической схемы по ГОСТ 2.412-81.

Пример выполнения

Исходные данные

Номер варианта: 6.

Размер кадра: $9 \times 12 \text{ мм}^2$.

Увеличение: -30^{\times} .

Расстояние между кадром и экраном: 4 м.

Габаритный расчёт проекционной системы

$$2y = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{81 + 144} = \sqrt{225} = 15 \text{ мм.}$$

$$A = |\beta| \cdot a = 30 \cdot 9 = 270 \text{ мм};$$

$$B = |\beta| \cdot b = 30 \cdot 12 = 360 \text{ мм};$$

$$2y' = \sqrt{270^2 + 360^2} = \sqrt{202500} = 450 \text{ мм.}$$

$$S_{\text{экp}} = A \cdot B = 0,27 \cdot 0,36 = 0,0972 \text{ мм}^2.$$

$$E_{\text{экp}} = 150 \div 200 \Rightarrow E_{\text{экp}} = 190 \text{ лк.}$$

$$\Phi = E_{\text{экp}} \cdot S_{\text{экp}} = 0,0972 \cdot 190 = 18,468 \text{ лм.}$$

$$\Phi_{\text{ист}} = (10 \div 100)\Phi = 90 \cdot 18,468 = 1662,12 \text{ лм};$$

$$E_{\text{экp}} = \pi \tau L_r \sin^2 \sigma'_A; \tau = 0,2 \div 0,8 \Rightarrow \tau = 0,8.$$

$$\sin \sigma'_A = \sqrt{\frac{E_{\text{экp}}}{\pi \tau L_r}}; \sin \sigma'_A = \frac{D'}{2a'}; D' = 2a' \sqrt{\frac{E_{\text{экp}}}{\pi \tau L_r}};$$

$$\sin \sigma'_A = \sqrt{\frac{190}{\pi \cdot 0,8 \cdot 0,334 \cdot 10^7}} = 0,00509;$$

$$a = \frac{-L}{1 - \beta} = \frac{-4000}{31} = -129,03 \text{ мм.}$$

$$L = a' - a; a' = L + a; a' = 4000 - 129,03 = 3870,97 \text{ мм};$$

$$f' = \frac{a'}{1 - \beta} = \frac{3870,97}{31} = 124,87 \text{ мм.}$$

$$D' = 2a' \sin \sigma'_A = 2 \cdot 3870,97 \cdot 0,00509 = 39,41 \text{ мм.}$$

$$\text{tg} \omega' = \frac{y'}{a'} = \frac{225}{3870,97} = 0,058125;$$

$$\omega' = \text{arctg}(0,058125) = 3^\circ 20'; 2\omega' = 6^\circ 40'.$$

Выбор кинопроекционной лампы

$$\Phi_{\text{ист}} = 1662,12 \text{ лм.}$$

Кинопроекционная лампа К220-100:

Световой поток: 1700 лм,

ширина тела накала а: 9 мм,

высота тела накала в: 9 мм.

$$dS = ab = 0,009 \cdot 0,009 = 8,1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

Расчёт необходимого относительного отверстия проекционного объектива

$$\kappa = \frac{f'}{D'} = \frac{124,87}{39,41} = 3,2; 1:\kappa = 1:3,2.$$

Относительное отверстие объектива: 1:3,2.

Фокусное расстояние: 125 мм.

Угловое поле: $6^\circ 40'$.

Оптическая схема и конструктивные параметры выбранного объектива

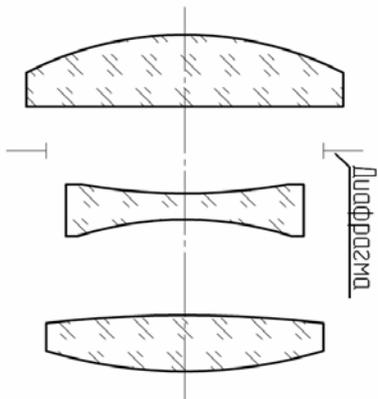
Триплет. $f' = 249$; 1:3; $2\omega = 40^\circ$.

Конструктивные параметры:

$r_1 = 87,3$		воздух
	$d_1 = 18,3$	ТК23
$r_2 = \infty$		
	$d_2 = 22,4$	воздух
$r_3 = -148,59$		
	$d_3 = 6,6$	Ф4
$r_4 = 88,51$		
	$d_4 = 24,3$	воздух
$r_5 = 301,3$		
	$d_5 = 14,3$	ТК20
$r_6 = -119,4$		
		воздух

Диафрагма расположена в первом воздушном пространстве на расстоянии 11,2 мм.

Фотообъектив "Триплет"
 1:3 $f=249$ $2\omega=40^\circ$



		n_e	Марка стекла
$r_1 = -87,3$	$d_1 = 18,3$	1,591477	ТК23
$r_2 = \infty$	$d_2 = 22,4$		
$r_3 = -14,859$	$d_3 = 6,6$	1,628471	Ф4
$r_4 = -88,51$	$d_4 = 24,3$		
$r_5 = -301,3$	$d_5 = 14,3$	1,624707	ТК20
$r_6 = -119,4$			

Диафрагма расположена в первом воздушном промежутке на расстоянии 11,2 мм

Фокусное расстояние и положение главных плоскостей отдельных линз

№	f'	S_F	S_F'	S_H	S_H'
1	14,75966	-14,75966	136,0976	0,0	-114,988
2	-87,3221	89,8351	-88,8190	2,5129	-14,969
3	138,6974	-132,3103	136,1663	6,3871	-2,5311
Объектив	249,4133	-205,9287	200,2147	4,34846	-4,91986

Иск. Дист	№ дочки	Повт	Линза	Оптическая схема объектива	Лист	Масштаб	Увелич.обл
Разрад					11		
Дроб					Лист 1	Листов	2
Точнпр					СВЪЯЗИТМО		
Начнпр					2Р		
Упр							

Коэффициент масштабирования для оптической системы:

$$k_M = \frac{f'_{расч}}{f'_{кат}} = \frac{124,87}{249,4133} = 0,501.$$

Триплет. Масштабированный, обёрнутый. $f' = 125$; $1:3$; $2\omega = 40^\circ$.

Конструктивные параметры:

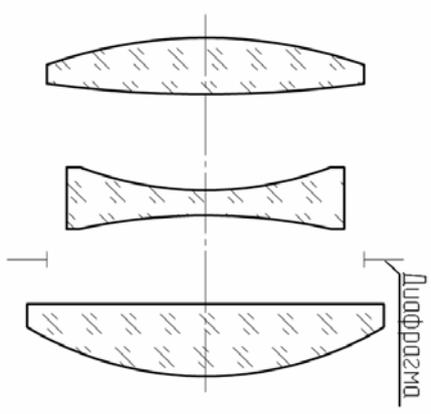
$r_1 = 59,84$		воздух
	$d_1 = 7,16$	TK20
$r_2 = -151,01$		
	$d_2 = 12,17$	воздух
$r_3 = -44,36$		
	$d_3 = 3,31$	Ф4
$r_4 = 74,47$		
	$d_4 = 11,22$	воздух
$r_5 = \infty$		
	$d_5 = 9,17$	TK23
$r_6 = -43,75$		
		воздух

Диафрагма расположена во втором воздушном промежутке на расстоянии 5,61 мм.

Фотообъектив "Гриппет" (масштабированный, обёрнутый)

1:3 $F=125$ $2\omega=40^\circ$

M2:1



Фокусное расстояние и положение главных плоскостей отдельных линз

№	f'	S_F	$S_{F'}$	S_H	$S_{H'}$
1	69,5113	-68,2440	66,3133	1,2673	-3,1980
2	-43,7641	44,5148	-45,0243	0,7507	-1,2603
3	73,9674	-68,2054	73,9674	5,7619	0,0
Объектив	125,0001	-100,3495	103,2316	24,6506	-21,7685

	d_i	n_i	Марка стекла
$r_1=59,84$	$d_1=7,6$	1,624,707	ТК20
$r_2=-151,01$	$d_2=12,17$		
$r_3=-44,36$	$d_3=3,31$	1,6284,71	Ф4
$r_4=74,47$	$d_4=11,22$		
$r_5=\infty$	$d_5=9,17$	1,5914,77	ТК23
$r_6=-4,315$			
Диаметр диафрагмы			4,99 мм

Диафрагма расположена во втором воздушном промежутке на расстоянии 5,61 мм

Имя/Дат	№ докум	Год	Лист
			2

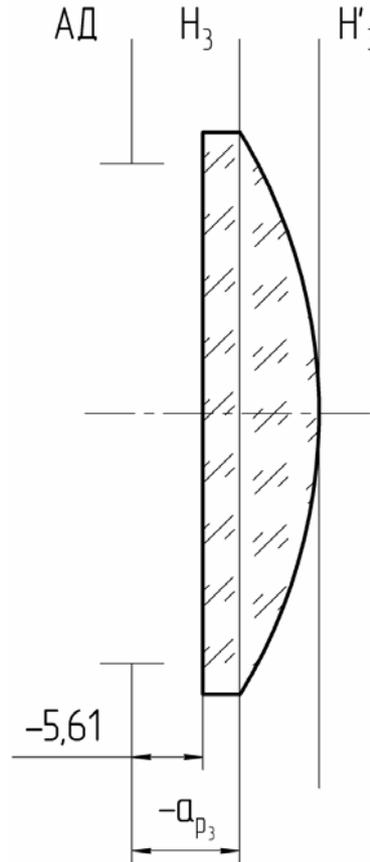
Расчёт размеров и положения зрачков объектива

$$a_{P_3} = S_{P_3} - S_{H_3} \text{ мм};$$

$$\frac{1}{a'_{P_3}} - \frac{1}{a_{P_3}} = \frac{1}{f'_3} \Rightarrow \frac{1}{a'_{P_3}} = \frac{a_{P_3} + f'_3}{a_{P_3} \cdot f'_3},$$

$$a'_{P_3} = \frac{-11,3719 \cdot 73,9674}{-11,3719 + 73,9674} = \frac{-841,1498761}{62,5955} = -13,4379 \text{ мм};$$

$$a'_{p'_3} = -13,4379 \text{ мм.}$$



$$s'_{p'_j} = s'_{p'_3} = a'_{p'_3} + s'_{H'_3} = -13,4379 + 0 = -13,4379 \text{ мм};$$

$$\beta_{p_3} = \frac{a'_{p'_3}}{a_{p_3}} = \frac{-13,4379}{-11,3719} = 1,182^x;$$

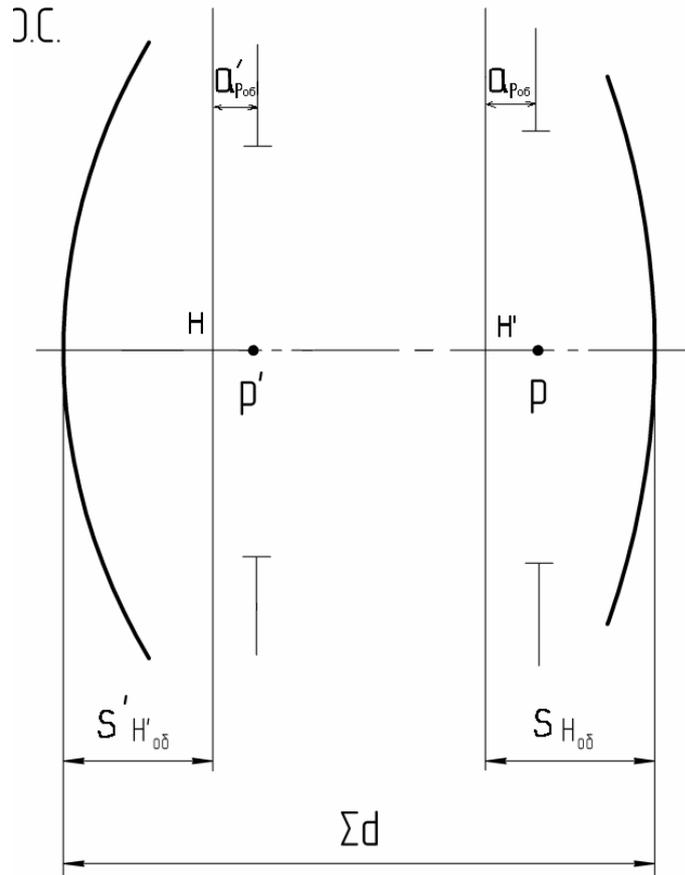
$$a'_{p'_{o\bar{o}}} = -s'_{H'_{o\bar{o}}} + s'_{p'_{o\bar{o}}} = 21,7685 - 13,4379 = 8,3306 \text{ мм};$$

$$\frac{1}{a'_{p'_j}} - \frac{1}{a_{p_{o\bar{o}}}} = \frac{1}{f'_{o\bar{o}}} \Rightarrow a_{p_{o\bar{o}}} = \frac{f'_{o\bar{o}} \cdot a'_{p'_{o\bar{o}}}}{f'_{o\bar{o}} - a'_{p'_{o\bar{o}}}};$$

$$a_{p_{o\bar{o}}} = \frac{125,0001 \cdot 8,3306}{125,0001 - 8,3306} = \frac{1041,325833}{116,6695} = 8,9254 \text{ мм};$$

$$s_{p_{o\bar{o}}} = a_{p_{o\bar{o}}} + s_{H_{o\bar{o}}} = 8,9254 + 24,6506 = 33,576 \text{ мм};$$

$$\beta_{p_{o\bar{o}}} = \frac{a'_{p'_{o\bar{o}}}}{a_{p_{o\bar{o}}}} = \frac{8,3306}{8,9254} = 0,9334^x.$$



$$D_p = \frac{D_p'}{\beta_{p_{об}}} = \frac{39,41}{0,9334} = 42,22 \text{ мм};$$

$$\beta_{p_3} = \frac{D_{АД}}{D_p} \Rightarrow D_{АД} = D_p \cdot \beta_{p_3} = 42,22 \cdot 1,182 = 49,9 \text{ мм}.$$

Расчёт суммарного угла охвата конденсора и определение его типа.

Увеличение конденсора:

$$\beta_{кон} = -\frac{D_p}{b} = -\frac{42,22}{9} = -4,69^x;$$

$$tg\omega_{об} = tg\sigma'_{кон} = \frac{y}{a_{p_{об}} - a_{ооб}} = \frac{7,5}{8,93 + 129,03} = \frac{7,5}{137,96} = 0,0544;$$

$$\sigma'_{кон} = 3^{\circ}06'; 2\sigma'_{кон} = 6^{\circ}12';$$

$$\beta_{кон} = \frac{\sin \sigma_{кон}}{\sin \sigma'_{кон}} \Rightarrow \sin \sigma_{кон} = \sin \sigma'_{кон} \cdot \beta;$$

$$\sin \sigma_{кон} = \sin 3,1 \cdot (-4,69) = -0,2536;$$

$$\sigma_{кон} = -13^{\circ}42'.$$

Суммарный угол охвата конденсора:

$$2|\sigma_{кон}| + 2|\sigma'_{кон}| = 2 \cdot 13,7 + 2 \cdot 3,1 = 27,4 + 6,2 = 33,6;$$

Суммарный угол охвата: $33^{\circ}36'$

$30^\circ < 2|\sigma_{\text{кон}}| + 2|\sigma'_{\text{кон}}| \leq 60^\circ$ - двухлинзовый конденсор.

Расчёт конденсора на минимум сферической аберрации

$$\alpha_1 = \beta_{\text{кон}} = -4,38;$$

$$\alpha_5 = 1.$$

для конденсора было выбрано стекло ЛФ5 с показателем преломления для основной длины волны $n_e = 1,578325$.

$$\alpha_{2,4} = \frac{M + 2}{2M + 1} \cdot \frac{[2k - (i - 1)]\alpha_1 + \alpha_{2k+1}}{2k};$$

$$\alpha_{3,5} = \frac{[2k - (i - 1)]\alpha_1 + \alpha_{2k+1}}{2k};$$

$$M = \frac{1}{n} = \frac{1}{1,578325} = 0,63358307;$$

$$N = \frac{M + 2}{2M + 1} = \frac{0,63358307 + 2}{2 \cdot 0,63358307 + 1} = \frac{2,63358307}{1,267166141} = 1,161618914;$$

$$\alpha_2 = 1,161618914 \cdot \frac{[2 \cdot 2 - (2 - 1)] \cdot (-4,38) + (2 - 1) \cdot 1}{4} =$$

$$= 1,161618914 \cdot \frac{-12,14}{4} = -3,526;$$

$$\alpha_3 = \frac{[2 \cdot 2 - (3 - 1)] \cdot (-4,38) + (3 - 1) \cdot 1}{4} = \frac{-6,76}{4} = -1,69;$$

$$\alpha_4 = 1,161618914 \cdot \frac{[2 \cdot 2 - (4 - 1)] \cdot (-4,38) + (4 - 1) \cdot 1}{4} =$$

$$= 1,161618914 \cdot \frac{-1,38}{4} = -0,4.$$

N	α	$\text{tg}\sigma_{\text{кон}}$	$\sigma_{\text{кон}}$
1	-4,38	-0,238272	-13°24'
2	-3,526	-0,1918144	-10°51'
3	-1,69	-0,091936	-5°15'
4	-0,4	-0,02176	-0°30'
5	1	0,0544	3°06'

Расчёт радиусов конденсора при толщинах, равных нулю:

$$d_1 = d_2 = d_3 \cong 0;$$

$$h = h_1 = h_2 = h_3 = h_4 = a'_{\text{кон}};$$

$$h = a'_{\text{кон}} = e - a_{\text{об}} + a_{p_j} = 22,0446 + 129,03 + 8,9254 = 160 \text{ мм};$$

$$e = 22,0446;$$

$$\beta_{\text{кон}} = \frac{a'_{\text{кон}}}{a_{\text{кон}}} \Rightarrow a_{\text{кон}} = \frac{a'_{\text{кон}}}{\beta_{\text{кон}}} = \frac{160}{-4,38} = -36,53 \text{ мм};$$

$$\frac{1}{f'_{\text{кон}}} = \frac{1}{a'_{\text{кон}}} - \frac{1}{a_{\text{кон}}} \Rightarrow$$

$$f'_{\text{кон}} = \frac{a'_{\text{кон}} a_{\text{кон}}}{a_{\text{кон}} - a'_{\text{кон}}} = \frac{160 \cdot (-36,53)}{-36,53 - 160} = \frac{-5844,8}{-196,53} = 29,74 \text{ мм};$$

$$r_i = \frac{n_{i+1} - n_i}{n_{i+1} \alpha_{i+1} - n_i \alpha_i} \cdot h_i; z = \frac{n_{i+1} - n_i}{n_{i+1} \alpha_{i+1} - n_i \alpha_i};$$

$$r_1 = \frac{n_2 - n_1}{n_2 \alpha_2 - n_1 \alpha_1} \cdot h_1 = \frac{1,578325 - 1}{1,578325 \cdot (-3,526) - 1 \cdot (-4,38)} \cdot 160 = -78,08 \text{ мм};$$

$$r_2 = \frac{n_3 - n_2}{n_3 \alpha_3 - n_2 \alpha_2} \cdot h_2 = \frac{1 - 1,578325}{1 \cdot (-1,69) - 1,578325 \cdot (-3,526)} \cdot 160 = -23,88 \text{ мм};$$

$$r_3 = \frac{n_4 - n_3}{n_4 \alpha_4 - n_3 \alpha_3} \cdot h_3 = \frac{1,578325 - 1}{1,578325 \cdot (-0,4) - 1 \cdot (-1,69)} \cdot 160 = 87,4 \text{ мм};$$

$$r_4 = \frac{n_5 - n_4}{n_5 \alpha_5 - n_4 \alpha_4} \cdot h_4 = \frac{1 - 1,578325}{1 \cdot 1 - 1,578325 \cdot (-0,4)} \cdot 160 = -56,72 \text{ мм}.$$

N	d _i =0		d _i ≠0	
	Z	r _i	h _i	r _i
1	-0,487966344	-78,08	160	-78,08
2	-0,149238461	-23,88	174,1	-25,98
3	0,546275043	87,4	175,79	96,03
4	-0,354511349	-56,72	177,39	-62,89

Радиусы по стандартному ряду:

$$r_1 = -78,16;$$

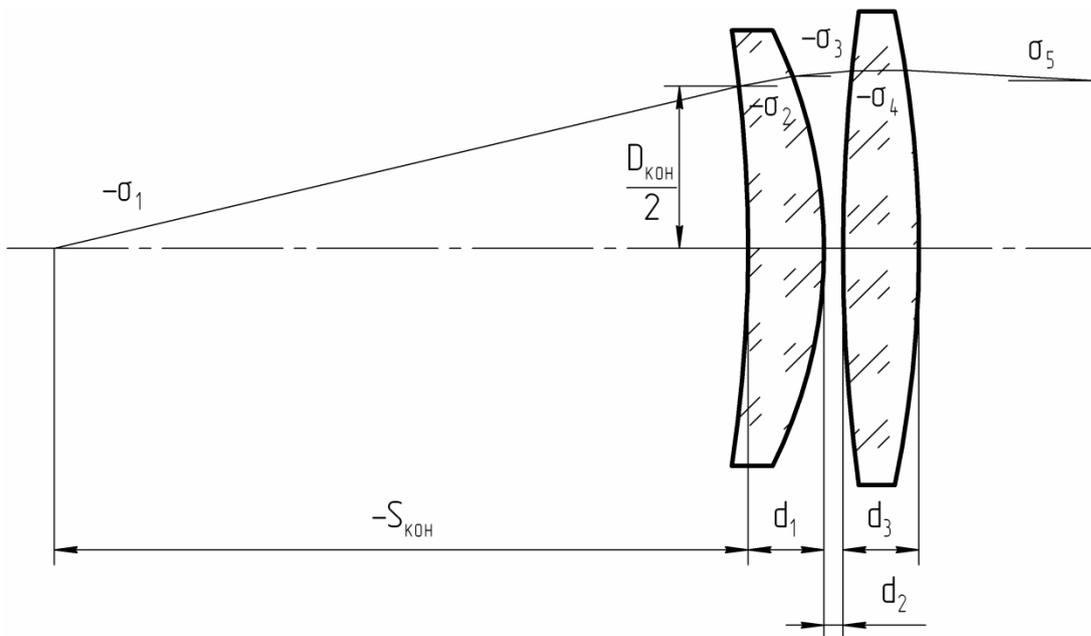
$$r_2 = -26,00;$$

$$r_3 = 95,94;$$

$$r_4 = -62,95.$$

$$s_{\text{кон}} = a_{\text{кон}};$$

$$s'_{\text{кон}} = \frac{h_{A(\text{чертеж})}}{\text{tg} \sigma_{5\text{кон}}} = \frac{9,44}{0,0544} = 173,53 \text{ мм};$$



$$d_1 = 4 \text{ мм}; d_2 = 1 \text{ мм}; d_3 = 4 \text{ мм}.$$

$$h_2 = h_1 - d_1 \alpha_2 = 160 - 4 \cdot (-3,526) = 160 + 14,104 = 174,104 \text{ мм};$$

$$h_3 = h_2 - d_2 \alpha_3 = 174,104 - 1 \cdot (-1,69) = 174,104 + 1,69 = 175,794 \text{ мм};$$

$$h_3 = h_3 - d_3 \alpha_4 = 175,794 - 4 \cdot (-0,4) = 175,794 + 1,6 = 177,394 \text{ мм}.$$

$$D_{\text{кон}} \cong 2 |s_{\text{кон}} \cdot \text{tg} \sigma_1|;$$

$$D_{\text{кон}} = 2 |-36,53 \cdot (-0,238272)| = 2 \cdot 8,7 = 17,4 \text{ мм}.$$

Определение расстояний между компонентами проекционной системы

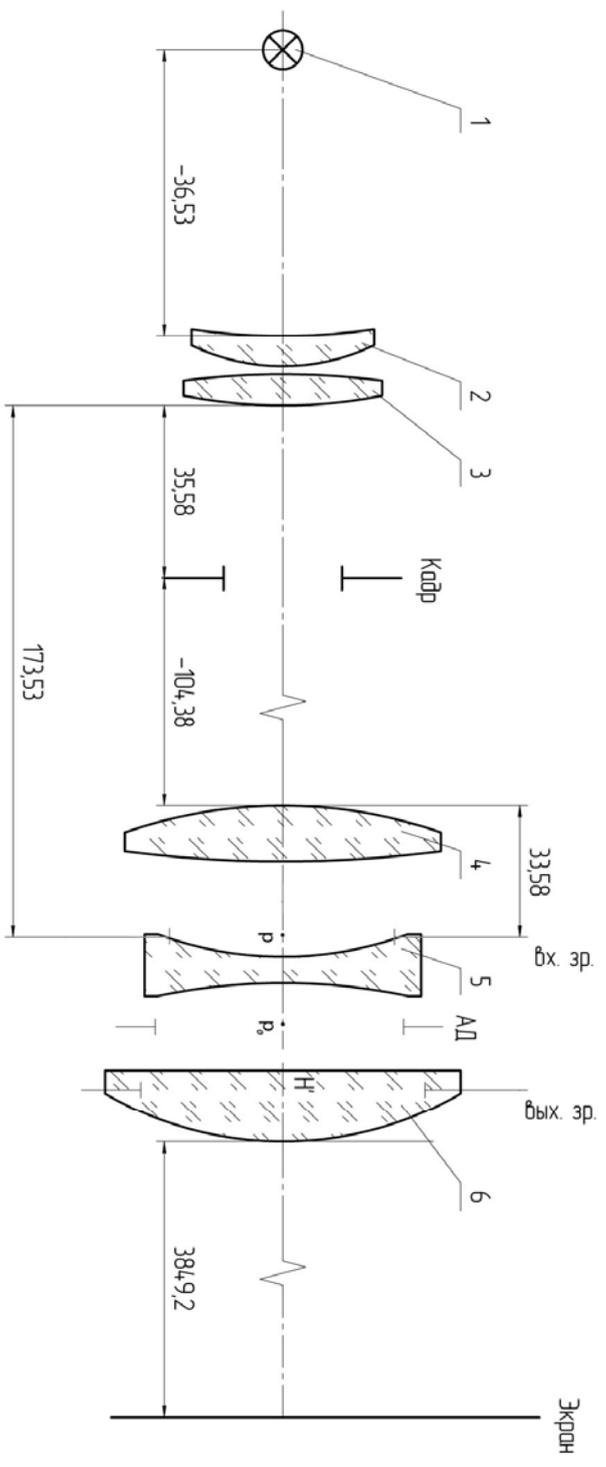
$$s_{об} = a_{об} + s_H = -129,03 + 24,6506 = -104,3794 \text{ мм};$$

$$s'_{об} = a'_{об} + s'_{H'} = 3870,97 - 21,7685 = 3849,2015 \text{ мм};$$

$$e^* = s'_{кон} - m;$$

$$m = a_{об} + a_{p_{об}} = 137,95 \text{ мм};$$

$$e^* = 173,53 - 137,95 = 35,58 \text{ мм}.$$



Увеличение объекта: -20^{\times}
 Увеличение конденсора: $-4,38^{\times}$
 Размер кадра: 9×12

№№ поз. сд. ед.	Наименование сд. единиц.	f'	S_f	S_f'
2, 3	Конденсор	33,3	-28,94	3162
4, 5, 6	Объектив	125	-100,35	103,23

Имя Лист	№ докум.	Подп.	Лист	Лист	Масштаб
Разработ	Различ. СВ				2-1
Проект	Ремонтов Г.Э				
Конструктор					
Начальник					
Читает					

Оптическая схема проекционной установки

Лист 1 из 1
СЛБ ЧИТМО
 зр. 3322