

2019/20 учебный год

**Всероссийская олимпиада студентов «Я – профессионал»**

**Демонстрационный вариант**

задания заключительного (очного) этапа

по направлению Фотоника

Категория участия: «Бакалавриат» (для поступающих в магистратуру)

## Задачи тестовой части

### Задача 1 Линза и светящийся диск

На расстоянии 5 м от экрана расположен светящийся диск диаметром 10 мм, излучающий по закону Ламберта. Между источником света и экраном поместили собирающую линзу диаметром 20 мм и с ее помощью получили на экране изображение диска. Оказалось, что освещенность изображения равна освещенности линзы. Определите фокусное расстояние линзы. Ответ введите в мм с точностью до одного знака.

### Задача 2 Афокальная линза

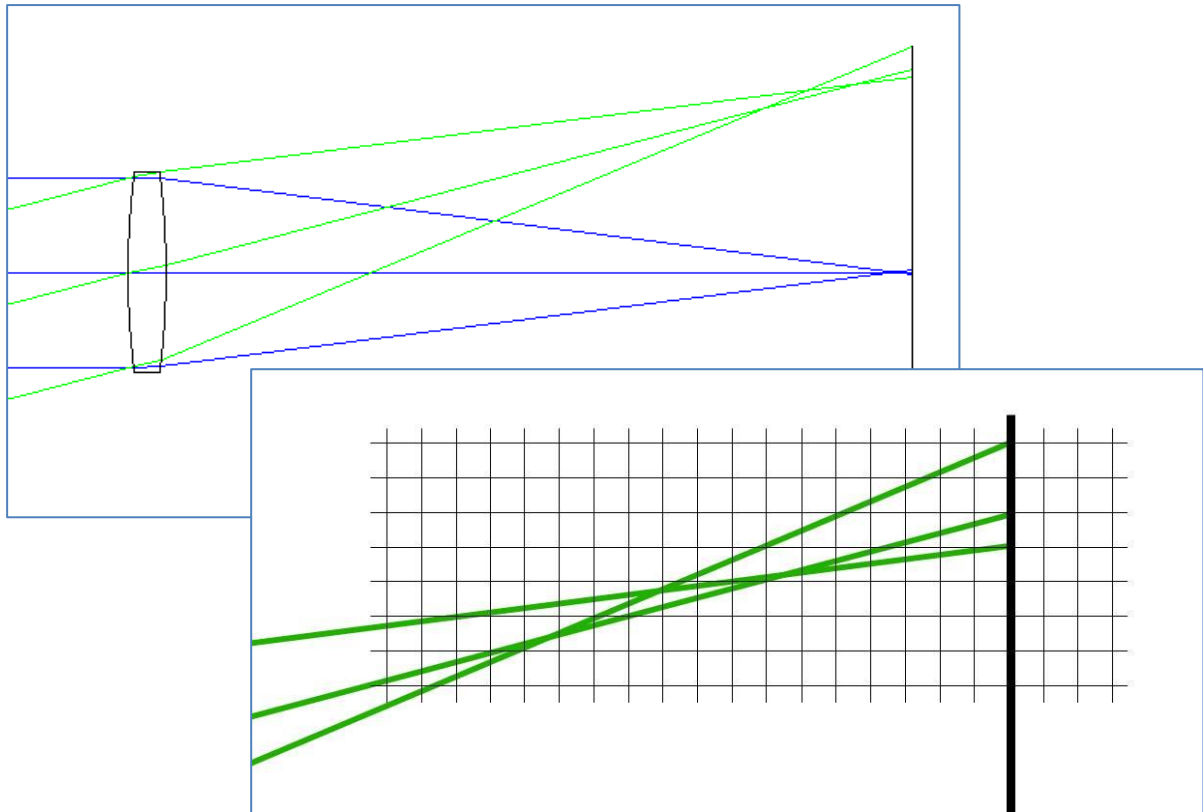
При какой толщине по оси двояковыпуклая линза с одинаковыми радиусами будет афокальной? Найти эту толщину, если обе поверхности линзы имеют радиус кривизны  $|R| = 10$  мм, линза изготовлена из стекла с показателем преломления  $n = 1,5$ . Ответ приведите в мм

### Задача 3 Принцип компарирования

Принцип компарирования (Аббе) устанавливает требование :

- а) к расположению апертурной диафрагмы в оптической системе отсчетного микроскопа;
- б) к взаимному расположению осей эталона и контролируемого объекта;
- в) к взаимному расположению осей визирного и отсчетного микроскопов;
- г) к осветительным устройствам отсчетного и визирного микроскопов;
- д) ни одно из этих утверждений.

#### Задача 4 Кома линзы



На рисунке показан ход лучей в линзе и увеличенный фрагмент этого рисунка с наложенной сеткой. Цена деления сетки 0,5 мм. Чему равна меридиональная кома? Ответ ввести в миллиметрах

#### Задача 5 Свойства полупроводников

Почему полупроводник при воздействии лазерного излучения по своим оптическим свойствам приближается к металлам?

- 1) увеличение концентрации свободных электронов изменяет электрические и оптические характеристики полупроводников
- 2) уменьшение концентрации свободных электронов изменяет электрические и оптические характеристики полупроводников
- 3) уменьшается ширина запрещенной зоны

#### Задача 6 Цвет стекла

Сопоставь красители и соответствующие цвета стекол:

Красители:

Металлическое коллоидное золото

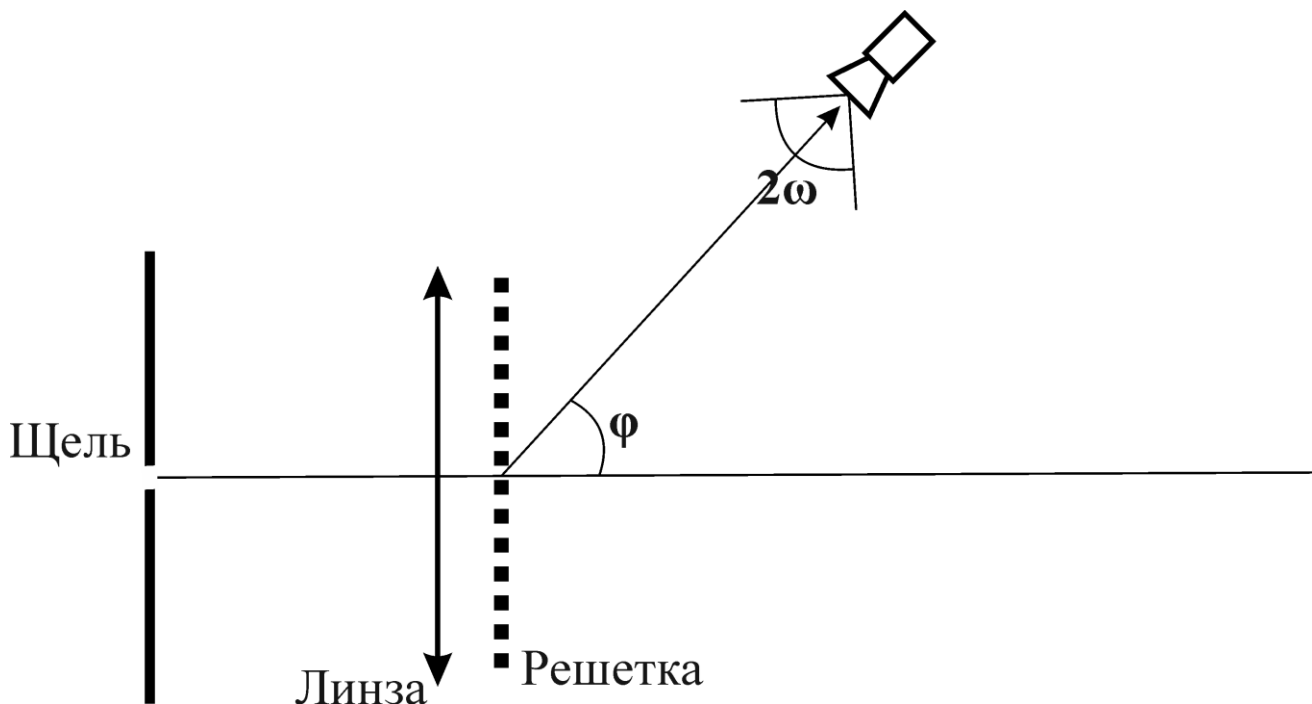
Металлическое коллоидное серебро

Оксид кобальта (CoO)

Цвет стекла: красный, желтый, синий

### Задача 7 Спектроскоп

В самодельном спектрооскопе дифракционной решеткой может служить кусок DVD диска, а приемником – камера смартфона. Решетка работает на пропускание: с нее снят отражательный слой. Частота дорожек диска составляет 1351 штрихов на мм. В каком максимальном порядке дифракции можно наблюдать спектр диапазона 400-700 нм? Определите, какой требуется минимальный угол поля зрения  $2\omega$  объектива камеры, если плоская волна от щели падает перпендикулярно на кусок компакт-диска. Выберите правильный ответ



- а) порядок 1,  $2\omega=40$  градусов.
- б) порядок 2,  $2\omega=20$  градусов.
- в) порядок 3,  $2\omega=40$  градусов.
- г) невозможно наблюдать спектр.

### Задача 8 Видимое увеличение лупы

Выражение для видимого увеличения лупы  $\Gamma=250/f'_л$  относится к случаю расположения:

- а) зрачка глаза в заднем фокусе лупы;
- б) зрачка глаза рядом (вплотную) с лупой;
- в) предмета в переднем фокусе лупы;
- г) к любому из трех;
- д) ни к одному из трех.

### **Задача 9 Лазер с полуконфокальным резонатором**

В лазере на углекислом газе ( $\text{CO}_2$ -лазере), работающем на длине волны 10,6 мкм, используется полуконфокальный резонатор длиной 2 м. Вычислите диаметр пятна на зеркалах резонатора (в мм). В ответе приведите максимальное значение из двух.

### **Задача 10 Лазерный нагрев материалов**

Отметьте особенности, характерные для лазерного нагрева материалов:

- 1) отличается от других видов нагрева по своей физической сущности;
- 2) перенос тепла в твердом теле не осуществляется механизмами теплопроводности;
- 3) сопровождается изменением оптических свойств материала;
- 4) имеет высокие скорости нагревания и охлаждения;
- 5) имеет большие пространственные градиенты температуры

### **Задача 11 Запись голограмм**

При записи голограммы структура с диэлектрическими плоскостями, параллельными поверхности среды, образуется

- a) всегда
- b) никогда
- c) при записи во встречных пучках
- d) при записи в параллельных пучках
- e) при многолучевой записи
- f) при записи в попутных пучках

### Задача 12 Свойства кристаллов

Неотъемлемым признаком кристаллического строения твердого тела является симметрия его структуры. Симметрия кристаллов проявляется не только в их структуре и свойствах в реальном трёхмерном пространстве, но также и при описании энергетического спектра электронов кристалла, при анализе процессов дифракции рентгеновских лучей, дифракции нейтронов и дифракции электронов в кристаллах. Какая ось поворота является запрещенной в кристаллических материалах?

А) 3

Б) 4

В) 5

Г) 6

### Задача 13 Антибликовое покрытие

На поверхность стеклянной призмы нанесли антибликовое покрытие толщиной 100 нм с показателем преломления  $n$  меньшим, чем у стекла. При каком значении показателя преломления  $n$  это покрытие будет «просветляющим», если свет с длиной волны 600 нм падает нормально к поверхности призмы?

### Задача 14 Кольца Ньютона

В установке по наблюдению колец Ньютона в проходящем свете наблюдается интерференционная картина, показанная на рис. 1. После того, как были изменены условия эксперимента, наблюдаемая картина также поменялась (рис. 2). Выберите возможные изменения проведения эксперимента из предложенного списка. Изначально установка находится в воздухе и состоит из плосковыпуклой линзы и плоскопараллельной пластины, выполненных из стекла.

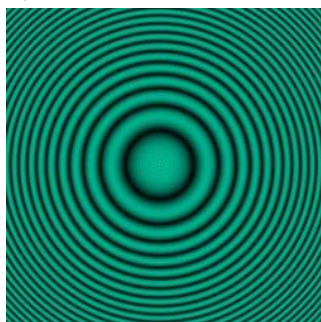


Рис. 1

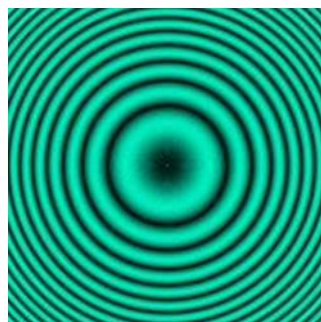


Рис. 2

1. Картина наблюдается в отраженном свете, пространство между линзой и пластиной заполнили средой с показателем преломления большим чем у воздуха.
2. Картина наблюдается в отраженном свете, заменили линзу на такую же, но большего радиуса кривизны.
3. Картина наблюдается в проходящем свете, заменили линзу на такую же, но большего радиуса кривизны.
4. Картина наблюдается в проходящем свете, пространство между линзой и пластиной заполнили средой с показателем преломления большим, чем у воздуха.

### Задача 15 Наночастицы

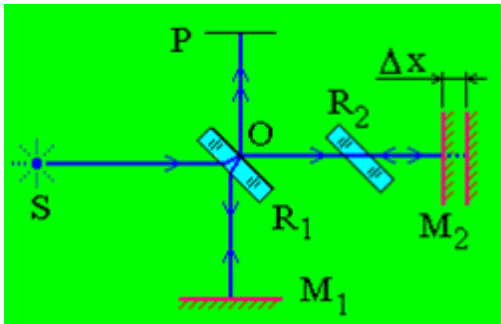
Две наночастицы из одинакового материала имеют размеры  $R_1 = 10$  нм и  $R_2 = 20$  нм. Частицы помещены в поле напряженностью  $\vec{E}_0$ . Определите отношение дипольных моментов этих частиц  $\frac{p_2}{p_1}$ .

### Задача 16 Эталон Фабри-Перо

Вам понадобился эталон Фабри-Перо, максимальное значение коэффициента отражения которого равно  $R = 80\%$ . Найдите необходимые для этого коэффициенты отражения зеркал  $R_1 = R_2$ .

### Задача 17 Интерферометр Майкельсона

Длина волны света впервые была измерена в 1887 г. с помощью интерферометра Майкельсона – классического двухлучевого интерферометра. Длину волны можно определить, наблюдая, на сколько полос сместится интерференционная картина при движении одного из зеркал. Определите длину волны источника, если при подвижке зеркала  $M_2$  на  $\Delta X = 6$  мкм интерференционная картина сдвинулась на 20 полос. Приведите ответ в нанометрах.



### Задача 18 Увеличение снимка

Каким будет допустимое увеличение изображения, полученного с помощью камеры, где матрица имеет характеристики: размер  $22.3 \times 14.9$  мм<sup>2</sup>, число пикселей  $5184 \times 3456$ , если в дальнейшем снимок будет рассматриваться с расстояния 1,5 м? В ответе приведите полученное значение по модулю.

### Задача 19 Характеристики микроскопа

Для рассматривания объекта исследования исследователь установил в микроскопе объектив  $20 \times 0.4$  и окуляр  $\Gamma_{ок} = 15^{\times}$ . Угловое поле в пространстве изображений  $2\omega' = 40^{\circ}$ . Определите линейное поле  $2u$  в пространстве предметов?

### Задача 20 Видимая яркость

Четыре спектральные линии: С (0.656 мкм), D (0.587 мкм), е (0.546 мкм), F (0.486 мкм) излучают одинаковый лучистый поток 0.1 Вт. Расположите эти спектральные линии в порядке возрастания видимой яркости – от меньшей к большей.



## **Примеры творческих заданий**

### **На выбор для решения предлагается 1 из 3 задач**

*Категория участия: «Бакалавриат»*

#### **Задача 1. Афокальная насадка (Автор – Хацевич Т.Н.)**

Одной из современных тенденций оплотехники является создание приборов, обеспечивающих возможность быстрой смены увеличения в процессе эксплуатации приборов. Это позволяет использовать малое увеличение и, соответственно, большое поле зрения для обзора пространства предметов и поиска объектов, а большое увеличение при меньшем поле зрения – для детального рассмотрения объектов.

Предложите способ построения (принципиальную схему) афокального модуля, устанавливаемого перед телескопической системой. Телескопическая система имеет увеличение +5 крат, диаметр входного зрачка 20 мм. Предполагается несъемное крепление афокального модуля в приборе. Афокальный модуль должен обеспечить смену увеличения, при этом перепад увеличений прибора должен составить 4, диаметр выходного зрачка прибора должен сохраняться неизменным для смены увеличения. Длина афокального модуля (для тонких компонентов) вдоль оптической оси не должна превышать 60 мм. Особое условие: для смены увеличения необходимо использовать подвижку внутреннего компонента афокального модуля, характер подвижки – перемещение вдоль оптической оси.

- 1) Предложите оптическую схему в тонких компонентах в двух положениях (для двух увеличений). На схеме укажите, какие увеличения будет иметь афокальный модуль и прибор в целом в каждом из положений.
- 2) Укажите значения фокусных расстояний компонентов схемы, расстояния между компонентами, значение подвижки. Докажите, что длина афокального модуля вдоль оптической оси не превышает 60 мм (в тонких компонентах).
- 3) Докажите, что перепад увеличений прибора составляет 4.
- 4) Приведите формулы для расчета увеличений афокального модуля, исходя из параметров его компонентов.

*Критерии оценки решений:*

*Приведена принципиальная схема* до 5 б

*Приведены формулы для расчета* до 5 б

*Приведены значения требуемых величин* до 10 б

*Решения, не обеспечивающие сохранение прямого изображения, 0 б.*

*За попытку решения оценка дается от 1 до 3 баллов.*

## **Задача 2. Лазерная микрообработка (авторы – Д.А. Синев, Г.В. Одинцова, В.В. Коваль)**

Современные методы лазерной микрообработки (LIBWE, LIPAA, LIMP и др.) позволяют осуществлять прецизионное управляемое формирование микроэлементов заданной конфигурации на поверхностях и в объёме оптических, функциональных и конструкционных материалов. В том числе, это касается даже таких материалов, обрабатывать которые с помощью лазерного излучения раньше было затруднительно.

- 1) Предложите метод лазерной записи дифракционного оптического элемента на поверхности пластины плавленного кварца, опишите физические механизмы. При записи использовать серийную технологическую лазерную установку на базе волоконного Yb-лазера.
- 2) Оптическая схема содержит систему сканирующих зеркал с максимальным углом отклонения  $\pm 11^\circ$  и объектив с плоским полем (F-Theta lens) и фокусным расстоянием 25 см. Длина волны лазерного излучения 1,07 мкм; длительность импульсов 200 нс; форма импульсов – прямоугольная; частота следования импульсов 100 кГц; максимальная средняя мощность 20 Вт, диаметр пучка на выходе лазера - 5 мм (распределение в профиле пучка – гауссово, излучение дифракционно ограниченное с качеством пучка  $M^2 = 1$ ). Оцените значения максимального поля обработки (мм × мм) и максимальной осевой плотности мощности излучения (Вт/см<sup>2</sup>) в фокальной плоскости объектива, достижимой с указанными параметрами лазерного источника и оптической системы.
- 3) С помощью рассматриваемого метода могут быть сформированы оптические элементы, к примеру, для обеспечения одновременной многолучевой лазерной обработки. Предложите конфигурацию записываемой дифракционной решетки с синусоидальным профилем поверхности (период, глубина рельефа) и схему оптической системы (расположение элементов, фокусные расстояния), чтобы в плоскости обработки сформировать 3 равноудаленных пятна одинаковой интенсивности диаметром 10 мкм, расстояние между центрами которых составило бы 250 мкм. Линзы считать тонкими с бесконечной апертурой, дифракционный элемент встраивается в вышеописанную установку на базе волоконного Yb-лазера.

### **Критерии оценки:**

- 1) Предложен физически и технически обоснованный метод лазерной записи дифракционного оптического элемента на поверхности пластины плавленного кварца излучением волоконного Yb-лазера; + 6 баллов
- 2) Описаны физические механизмы, позволяющие осуществить запись; + 2 балла
- 3) Правильно оценено значение максимального поля обработки (мм × мм) и максимальной осевой плотности мощности излучения (Вт/см<sup>2</sup>) в фокальной плоскости объектива + 6 баллов.
- 4) Правильно определена конфигурация записываемой дифракционной решетки с синусоидальным профилем поверхности (период, глубина рельефа) и схема оптической системы (расположение элементов, фокусные расстояния) для выполнения задачи + 6 баллов

### Задача 3. AXICON (Коническая линза) (Автор – А.А. Зинчик)

В 1954 году Джоном был предложен новый тип оптической линзы конической поверхности, закрепившейся в настоящее время с названием – аксикон. Такая линза обладает рядом уникальных свойств, а именно: фокусирует свет в отрезок, преобразует Гауссов пучок в бездифракционный Бесселев пучок. Эти свойства аксикона, в частности, нашли свое применение в «оптическом пинцете» для манипулирования микро- и нанообъектами.



- 1) Геометрическим построением покажите, что область фокусировки такой линзы – это отрезок.
- 2) Найдите величину этого отрезка в зависимости от угла раствора конуса  $\alpha = 60^\circ$  и диаметра поперечного сечения падающего пучка  $D_{\text{св.пучка}} = 2 \text{ мм}$  (диаметр основания аксикона  $D_{\text{акс}} > D_{\text{св.пучка}}$ ), считая волновой фронт плоским. Считать конус преломляющей поверхностью с показателем преломления  $n = 1.5$  и рассматривать падение пучка света со стороны плоского основания.
- 3) Найдите пространственную фазовую передаточную функцию аксикона  $\phi(x, y)$ , в случае нормального падения излучения со стороны плоского торца для плоской монохроматической волны, распространяющейся в направлении  $z$ . Считать материал аксикона прозрачным.
- 4) Исходя из принципов волновой оптики, качественно определите и изобразите картину интенсивности в плоскости, перпендикулярной оси конуса, для плоского фронта монохроматической падающей волны в области фокусировки.
- 5) Исходя из дифракционных представлений, оцените минимальный поперечный размер сфокусированного пучка центральной моды.

#### Критерии оценки:

- 1) показано, покажите, что область фокусировки отрезок + 2 балла.
- 2) Определена величина отрезка +3 балла.
- 3) Найдена пространственная фазовая передаточная функция +5 баллов
- 4) Изображена картина интенсивности +4 балла
- 5) Выполнена оценка минимального поперечного размера сфокусированного пучка центральной моды. +6 баллов