

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

## **Демонстрационный вариант**

задания заключительного (очного) этапа

по направлению Фотоника

Категория участия: «Магистратура/специалитет»  
(для поступающих в аспирантуру/ординатуру)

## Задачи тестовой части

### Задание 1

В современные оптические микроскопы можно увидеть:

- a) мономерные звенья полимерной цепи
- b) колонию бактерий
- c) клетки растения
- d) молекулу воды
- e) ничего из вышперечисленного

### Задание 2

Электронные эмиссионные спектры атомов имеют вид

- a) линейчатый



- b) полосатый



- c) непрерывный



### Задача 3 Поляризация

Плоский пучок естественного света падает на поверхность воды под углом Брюстера. При этом 0,04 светового потока отражается. Найти интенсивность преломленного луча в % от интенсивности падающего света.

### Задача 3 Модернизация ПНВ

Заказчик просит при модернизации увеличить дальность действия ПНВ при использовании прежнего ЭОП и сохранении углового поля. Как Вы поступите?

Выбрать правильный ответ:

1. заменим окуляр на окуляр с меньшим фокусным расстоянием
2. заменим объектив на объектив с большим фокусным расстоянием
3. заменим объектив на объектив с меньшим фокусным расстоянием
4. заменим объектив на объектив с БОльшим относительным отверстием

### Задача 5 Параболическое зеркало

Параболическое зеркало имеет диаметр 200 мм. В результате измерений получено, что стрелка прогиба составила 5 мм. Чему равно диафрагменное число этого зеркала?

**Задача 6** Двухзеркальный объектив Двухзеркальный объектив типа Кассегрена имеет следующие конструктивные параметры:

№	R	d
1	- 300	-90
2	- 150	

Апертурной диафрагмой является оправа второго зеркала. Найти диаметр этой оправы, если относительное отверстие объектива  $D/f' = 1:5$ . Ответ привести в мм.

### Задача 7 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 8 Микроскоп

Микроскоп укомплектован объективом 20 x 0,4 и окуляром, имеющим видимое увеличение  $\Gamma_{\text{ок}} = 12,5$  крат. Определите линейный предел разрешения микроскопа. Ответ приведите в мкм. При расчетах принять длину волны  $\lambda = 0,546$  мкм.

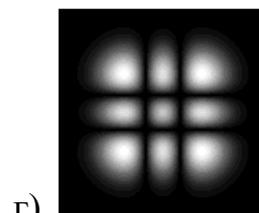
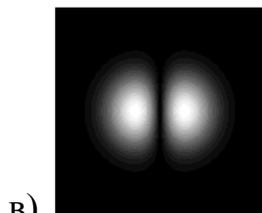
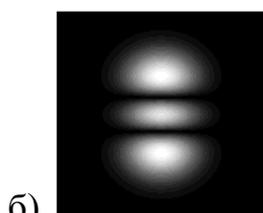
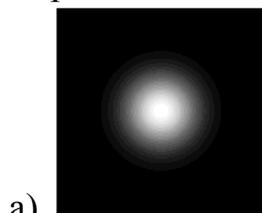
### Задача 9 Фазовый транспарант

Плоская волна линейной поляризации освещает оптическую схему, состоящую из двух последовательных элементов: фазовый транспарант и линза с фокусным расстоянием 50 см. Фазовый транспарант изготовлен следующим образом: на нем вытравлены квадраты в шахматном порядке, а другие квадратные участки оставлены нетронутыми. Толщина вытравленного слоя такова, что два луча приобретают разность фаз в  $\pi$ , если один из них проходит через травленный участок, а другой – через нетравленный. Схематично вид транспаранта показан на рисунке. Сторона квадрата составляет 3 см. Свет, который не попал на транспарант, поглощается, и на линзу не попадает.

Известно, что при фокусировке плоской волны линзой в фокусе формируется дифракционное пятно. Вопрос, какая картинка в наибольшей степени соответствует изображению плоской волны в фокусе линзы, если плоская волна пройдет через описанный транспарант.

$\pi$	0	$\pi$
0	$\pi$	0
$\pi$	0	$\pi$

Варианты ответа:



### Задача 10 Область отпечатков пальцев

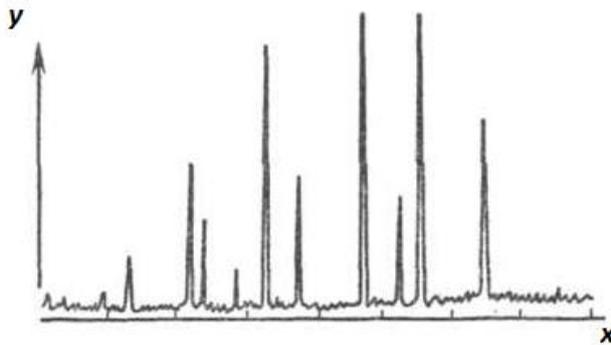
В ИК-спектрах органических соединений можно выделить три основные области, перечисленные ниже. Какую из областей называют «областью отпечатков пальцев»?

- a) 4000-2500 см<sup>-1</sup>.
- b) 2500-1500 см<sup>-1</sup>.
- c) 1500-500 см<sup>-1</sup>.

### Задача 11 Рентгенофазный анализ

Дифракционные методы исследования и, в первую очередь, рентгенофазный анализ, являются основным источником сведений о структуре вещества на атомном уровне. Такие методы позволяют выявить малейшие изменения в состоянии атомной решетки кристалла, не улавливаемые другими методами.

Результаты рентгенофазного анализа некоторого образца представлены на рисунке. Какие значения могут быть отложены по координатным осям?



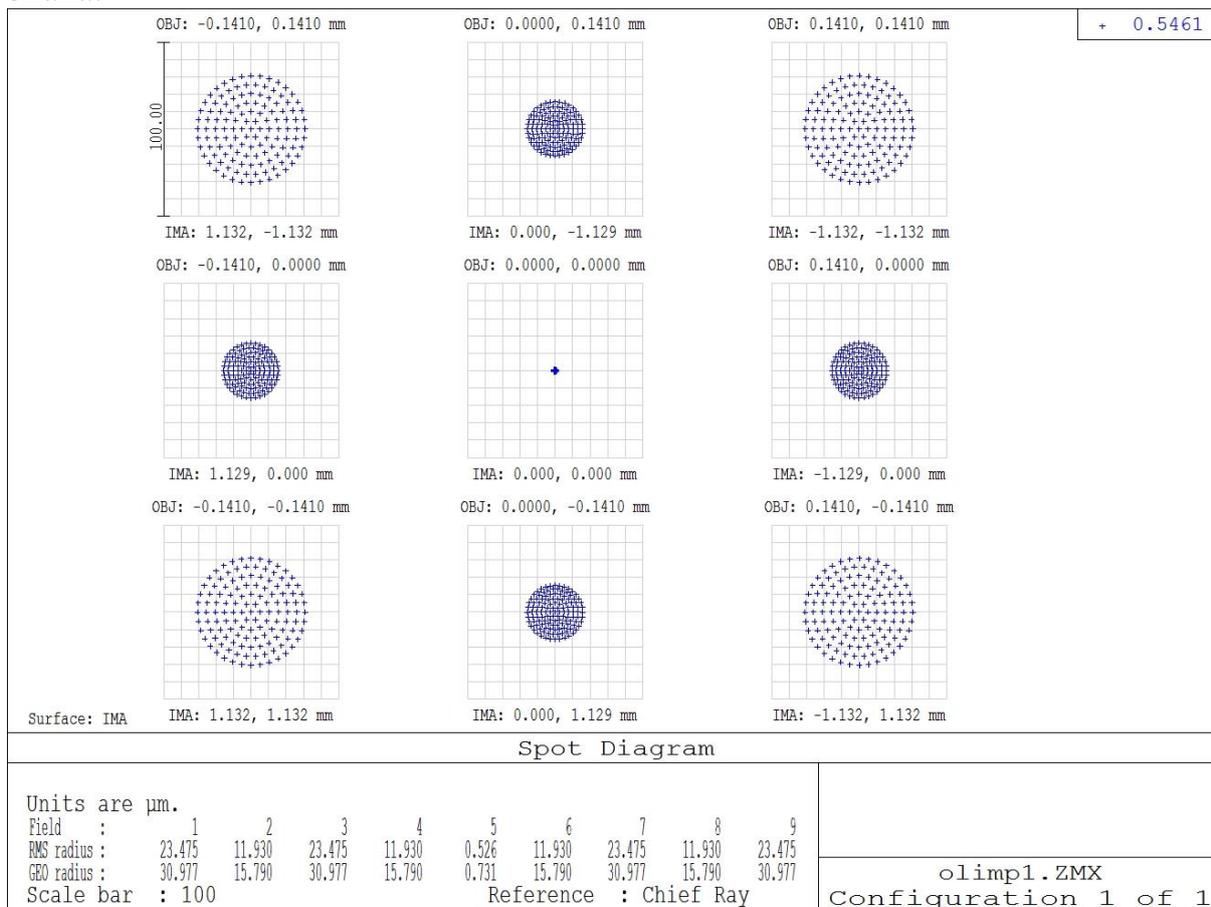
- a)  $x$ - угол дифракции,  $y$  – интенсивность
- b)  $x$ - скорость сканирования,  $y$  – длина волны
- c)  $x$ - длина волны,  $y$  – оптическая плотность
- d)  $x$ - изотопная масса,  $y$  – относительная интенсивность

### Задача 12 Увеличение телескопической системы

Лазер мощностью  $\Phi_e$  с углом расходимости  $2\omega$  создаёт энергетическую освещённость  $E_e$  на объекте, расположенном на расстоянии  $L$  от лазера. **Каким увеличением (по модулю)** должна обладать телескопическая система, устанавливаемая после лазера, чтобы увеличить энергетическую освещённость объекта в 16 раз? Энергетическими потерями в системе пренебречь. В ответе приведите два знака после запятой.

### Задача 13 Пятна рассеяния

На рисунке приведены пятна рассеяния 9 точек поля, созданные оптической системой с характеристиками: линейное увеличение  $\beta = -8$ , числовая апертура в пространстве предметов  $NA = 0.3$ , линейное поле в пространстве предметов  $2y = 0.4$  мм, угол главного луча с осью в пространстве изображений для  $y = 0,2$  мм составляет  $5^\circ$ . Центр рисунка соответствует центру изображения, размеры пятен рассеяния можно увидеть на рисунке. Оцените величину астigmaticкого отрезка  $z'_m$  для края поля ( $y = 0,2$  мм). Ответ приведите в мм, без учета знака.

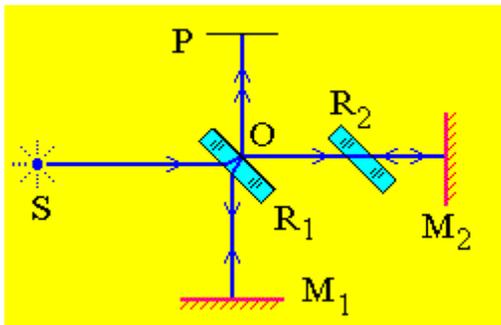


### Задача 14 Дифракционные решетки

Молодой ученый собирает в лаборатории установку – дисперсионный спектральный прибор. В его распоряжении имеется дифракционная решетка размерами (Ш x В) 30 x 20 мм, с плотностью штрихов 120 штрихов/мм, штрихи на обе решетки нанесены вертикально. При использовании в приборе будет засвечиваться вся площадь решеток. Рассчитайте разрешающую способность решетки.

### Задача 15 Интерферометр Майкельсона

Одним из возможных применений интерферометра Майкельсона – классического двухлучевого интерферометра – является измерение показателя преломления среды. Для определения показателя преломления водорода в оба пучка света интерферометра поместили кюветы длиной 10 см каждая. Из одной выкачали воздух, а вторую заполнили водородом, что привело к смещению картины на 47,5 полос. Чему равен показатель преломления водорода? Длина волны света 590 нм. Ответ введите с точностью не менее 5 знаков после запятой.

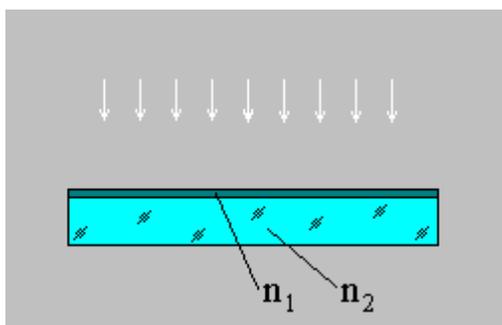


### Задача 16 Контрастность интерференционной картины

В результате интерференции двух полностью когерентных световых пучков на экране наблюдается интерференционная картина. Найти контрастность этой картины, если интенсивность одного пучка в три раза больше интенсивности другого.

### Задача 17 Просветляющее покрытие

На стеклянную поверхность ( $n_2 = 1,64$ ) необходимо нанести просветляющее покрытие. Зная, что коэффициент отражения зависит только от относительного показателя преломления и угла падения, рассчитайте показатель преломления для вещества пленки ( $n_1$ ).



### Задача 18 Прочность кристалла

Всякий предмет имеет предел прочности и рвется при некотором значении медленно нарастающей нагрузки. Оценить прочность идеального кристалла на разрыв. Параметр решетки принять равным 0.3 нм. Ответ привести в ГПа.

### Задача 19 Рассеяние в средах

Сопоставьте теории рассеяния света с авторами

- рассеяние в газах и жидкостях, сопровождающееся заметным изменением частоты
- размеры рассеивателя сравнимы с длиной волны падающего излучения
- неупругое рассеяние света на колебаниях кристаллической решетки
- размер рассеивателя менее  $\lambda/15$

Авторы:

эффект Рамана, рассеяние Ми, рассеяние Мандельштама-Бриллюэна, рассеяние Рэлея

### Задача 20 Полосы равной толщины

В *отраженном* монохроматическом свете наблюдаются полосы равной толщины в зазоре сложной формы между двумя стеклами. Определите соотношение между толщинами зазора в точках А и В, если при уменьшении длины волны света полосы начинают "стягиваться" в точку А.

1. Толщина зазора в обеих точках одинакова.
2. Ответ зависит от длины волны излучения.
3. Толщина зазора в точке В больше.
4. Толщина зазора в точке А больше.
5. Для ответа не хватает данных.



## Примеры творческих заданий

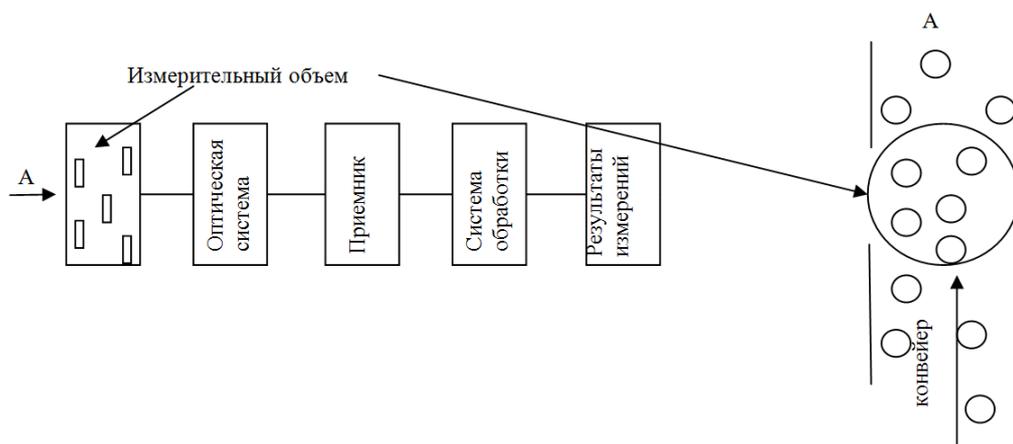
На выбор для решения предлагается 1 из 3 задач

Категория участия: «Магистратура/специалитет»

### **Задача 1. Оптическая схема для размерного контроля изделий крупносерийного производства (Автор – Т.Н. Хацевич)**

Одним из современных направлений оптотехники является создание оптико-электронных приборов (датчиков, комплексов) для систем автоматизированного контроля различных параметров и характеристик производимой продукции.

Творческое задание направлено на разработку оптической схемы для размерного контроля изделий крупносерийного производства.



Контролируемые детали, установленные на конвейере, поступают в измерительный объем (см. рисунок), имеющий форму цилиндра, ось которого совпадает с оптической осью системы, при этом диаметр цилиндра 200 мм, толщина по оси 16 мм. Габаритные размеры контролируемых деталей  $\varnothing 20 \times 5$  мм. Измерению подвергаются линейные размеры в плоскости, перпендикулярной оптической оси. Расстояние между оптической системой и измерительным объемом должно составлять не менее 50 мм и не более 200 мм. Для проведения измерений конвейер останавливается на время  $t_{и}$ .

Необходимо разработать оптическую систему, которая:

- обеспечивает возможность контроля линейных размеров всех деталей, оказавшихся в измерительном объеме. Проекции деталей на плоскость, перпендикулярную оптической оси системы, не накладываются друг на друга;
- принципиально исключает погрешность измерения, обусловленную произвольным размещением контролируемых деталей в измерительном объеме;

- обеспечивает глубину резкости, соответствующую размеру измерительного объема вдоль оптической оси, не более 0,01 мм;

- обеспечивает заднюю числовую апертуру объектива не более 0,1.

В качестве приемника предварительно выбран матричный приемник 12 Мп, шаг пикселей 2,5 мкм.

Задание:

- 1) Предложите принцип построения оптической схемы, укажите количество компонентов, положения апертурной и полевой диафрагм, входного и выходного зрачков, приведите ход лучей в оптической схеме (в тонких компонентах). Обоснуйте, что предложенная схема принципиально исключает погрешность измерения, обусловленную произвольным размещением контролируемой детали в измерительном объеме.
- 2) Предложите такие значения параметров и характеристик схемы (увеличение, фокусные расстояния компонентов, диаметры диафрагм, расстояния между компонентами и др.), которые обеспечивают выполнение условий задачи. Подтвердите это расчетами. Проверьте согласованность оптической схемы и приемника, который указан в качестве предварительно выбранного, или уточните требования к приемнику.
- 3) Сформулируйте технически реализуемые требования к системе обработки изображений с целью минимизации погрешности измерений и оцените погрешность измерения линейных размеров, которую может обеспечить предложенная вами схема.

*Критерии оценки:*

*Принципиально указано на необходимость использования телецентрического хода главных лучей. Приведена схема, в которой задний фокус первого компонента и передний фокус второго компонента совмещены, в этой же точке размещен центр апертурной диафрагмы. До 10 баллов*

*Приведены значения параметров схемы - До 10 баллов*

*Сделана только попытка решения - от 1 до 3 баллов*

## Задача 2. Лазерный резонатор (автор – Лазарев В.А.)

Резонатор лазера с поперечной ламповой накачкой состоит из выходного (плоского) зеркала и «глухого» вогнутого сферического (радиус кривизны  $R = 400$  см) зеркала, установленных на расстоянии  $d = 100$  см.

- 1) Определите параметры устойчивости заданного резонатора и установите, является ли он устойчивым.
- 2) Найдите радиус  $w$  пучка излучения на выходном зеркале и угол его расходимости при генерации основной поперечной моды ( $\lambda = 1$  мкм).
- 3) У Вас есть три активных элемента, отличающихся лишь диаметром: 2, 3 и 4 мм. Определите, какой из этих элементов Вам лучше использовать? Элемент устанавливается около сферического зеркала.
- 4) Для переноса перетяжки пучка на расстояние 100 мм от выходного зеркала используется одиночная линза. Определите её фокусное расстояние.
- 5). Перетяжка пучка с помощью линзы (см. п. 4) перенесена на подложку, которая представляет собой плоскопараллельную кварцевую пластину с просветляющим покрытием. Определите необходимую минимальную «лучевую стойкость» (предельную интенсивность излучения, которую выдерживает соответствующий элемент или покрытие) для такого покрытия, если мощность выходного излучения лазера составляет 1 Вт.

*Критерии оценки:*

*Определены параметры устойчивости +2 балла*

*Рассчитан радиус пучка и расходимость + 2 балла*

*Выбран активный элемент, даны необходимые пояснения +3 балла*

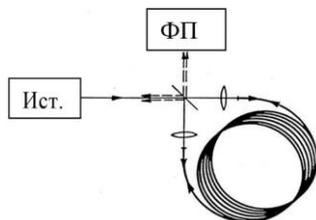
*Определено фокусное расстояние линзы + 4 балла*

*Выведена формула связи полной мощности и интенсивности на оси в гауссовом пучке +4 балла*

*Определена необходимая лучевая стойкость + 5 баллов*

### Задача 3. Волоконно-оптический гироскоп (Автор – Е.А.Ефремова)

В приборах навигации широко применяются оптические технологии, в частности лазерные гироскопы, которые обладают очень высокой чувствительностью, но отличаются высокой стоимостью и достаточно большими габаритами. Для большинства приложений используется менее чувствительные, но дешевые волоконно-оптические гироскопы (ВОГ).



Действие всех оптических гироскопов основано на эффекте Саньяка, который состоит в том, что для встречных волн, распространяющихся в противоположных направлениях, в замкнутом контуре появляется сдвиг фаз, если этот замкнутый контур вращается с некоторой угловой частотой  $\omega$ , а именно:

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta L}{\lambda}, \text{ где } \Delta L \text{ – оптическая разность хода между встречными волнами.}$$

- 1) Выведите формулы (пренебрегая релятивистскими эффектами) зависимости разности фаз от площади  $S$ , ограниченной одним витком оптоволокна, и круговой частоты вращения ВОГ  $\Omega$ .
- 2) Оцените минимально допустимые размеры такого волоконного гироскопа (радиус его кольца), если используется одномодовое волокно с показателем преломления  $n=1.5$  и диаметром  $d=1\text{мм}$ .
- 3) Определите необходимую длину волокна при минимально возможном радиусе, если чувствительность ВОГ к скорости вращения, выраженная в единицах  $\Delta\varphi_c/\Omega_\mu$ , равна  $1\text{мкрад}$  (то есть при  $\Omega = \Omega_\mu$ , см. примечание).
- 4) Определить минимальную необходимую энергию источника для обеспечения чувствительности, определённой в п.3, то есть считать, что чувствительность приемника ограничена фотонным дробовым шумом.
- 5)

**Примечание:** чувствительность ВОГ к скорости вращения, выраженная в единицах  $\Delta\varphi_c/\Omega$ , имеет размерность времени, измеряется в секундах и иногда выражается в специфических единицах  $\Omega_\mu$ . При скорости вращения, равной  $\Omega_\mu$ , разность фаз встречных волн равна  $1\text{ мкрад}$ , что хорошо соответствует оценке шумового предела или нестабильности сдвига нуля ВОГ, лежащих обычно в диапазоне от  $0,1$  до  $10\text{ мкрад}$ )

#### Критерии оценки:

- 1) Получены формулы зависимости разности фаз + 8 баллов.
- 2) Выполнена оценка минимально допустимых размеров волоконного гироскопа + 2 балла.
- 3) Определена необходимая длина волокна при минимально возможном радиусе + 3 балла
- 4) Определена минимальная необходимая энергия источника + 7 баллов.