

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)**

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЭТАП КОНКУРСА
ПРЕДОФЕССИОНАЛЬНЫХ УМЕНИЙ
«Предпрофессиональная мастерская академического, кадетского и
педагогического профилей»**

В номинации «Академический класс»

Авторы

Буркова Е.Г., Кравцов А.В., Леонов В.В.

Москва – 2021

Регламент и структура теоретической части ПШЭ



Время выполнения: **90 минут**

(с двумя автоматическими паузами по **5 минут**)

Часть 1

Текст (естественные и точные науки)

3 задания;

Часть 2 (математика, физика, информатика)

6 заданий на выбор, из них

4 задания обязательны.

Часть 3 (специальные знания)

6 заданий на выбор, из них

4 задания обязательны.



Максимальный первичный балл за работу - 20

Часть 1 (максимальный балл 4):

задание 1 – 2 балла, 1 балл (если не совпадает один символ)

задание 2 – 1 балл,

задание 3 – 1 балл.

Часть 2 (максимальный балл 8):

за каждое задание - 2 балла

Часть 3 (максимальный балл 8):

за каждое задание - 2 балла



Прочитайте текст и выполните задания 1-3.

Спекл-эффект

Все предметы, отражающие свет, можно разделить на зеркально и на диффузно отражающие (рассеивающие). Именно к последнему типу относится большинство окружающих нас предметов. Условие диффузного отражения, т. е. такого, при котором освещающее излучение рассеивается в достаточно большом телесном угле, заключается в том, чтобы среднеквадратическая высота микроструктуры поверхности была больше длины волны этого излучения. Ещё в середине XX века академиком И.В. Обреимовым было показано, что микроструктура поверхности объектов определяет картину диффузного отражения, которая описывается случайной функцией пространственных координат.

Часть 1. Текст



Вскоре после изобретения лазеров было замечено, что эта случайная зависимость переносится и на лазерное излучение, рассеянное такой поверхностью. В результате образуется так называемый **спекл-эффект** (рис. 1), представляющий собой случайную модуляцию интенсивности рассеянного излучения и наблюдающийся как в плоскости изображения, так и в любой промежуточной плоскости оптической системы или свободного пространства. (В переводе с английского «спекл» означает зерно, пятно.)

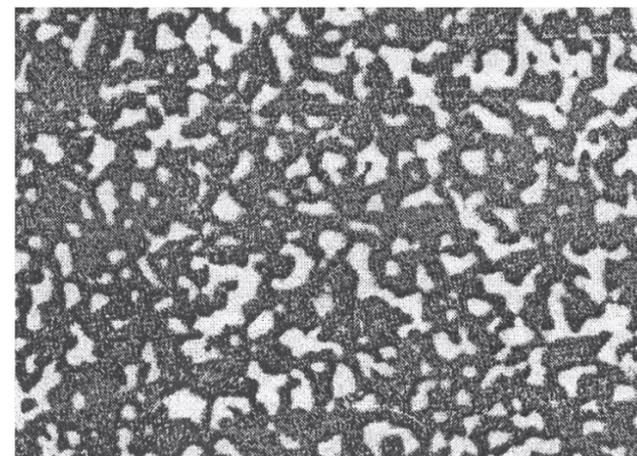


Рис. 1. Спекл-эффект в свободном пространстве, полученный при освещении излучением лазера круга диаметром 2 мм на матовом стекле

Спекл-эффект можно наблюдать не только в отражённом излучении, но и в прошедшем, например, через матовое стекло.

На первый взгляд может показаться, что эти хаотически распределённые световые пятна не поддаются точному научному описанию и могут быть полезны только в изобразительном искусстве. Однако и здесь физики нашли «пищу» для своего пытливого ума. Их заинтересовали такие вопросы: что влияет на средний размер световых пятен в спекл-структуре? какие параметры оптической системы нужно менять для получения желаемой картины? Оказалось, что спекл-эффект тесно связан с явлением дифракции на отверстиях.

Часть 1. Текст



Напомним, что при прохождении монохроматических лучей 1, 2 (рис. 2) через малое круглое отверстие в непрозрачном экране 3 в плоскости изображения 4 будет наблюдаться дифракционная картина. При этом размер светового пятна дифракционного максимума будет равен

$$\delta = \left(\frac{\lambda}{d} \right) b. \quad (1)$$

Здесь λ – длина волны падающего света, b – расстояние от него до плоскости наблюдения, d – диаметр отверстия.

В достаточно сложных теоретических работах было показано, что средний размер элементов спекл-структуры совпадает с размером дифракционного максимума. Значит, их размер может быть оценён по формуле (1). В этом случае под d следует понимать диаметр светового пучка, падающего на матовое стекло. В демонстрационном эксперименте, схема которого показана на рис. 3, размер d легко регулируется.

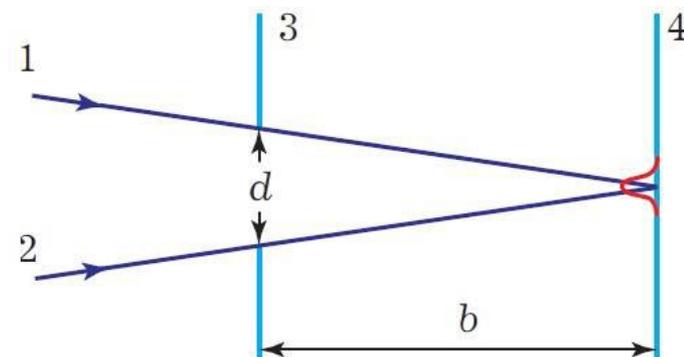


Рис. 2. К определению среднего размера спекл-структуры

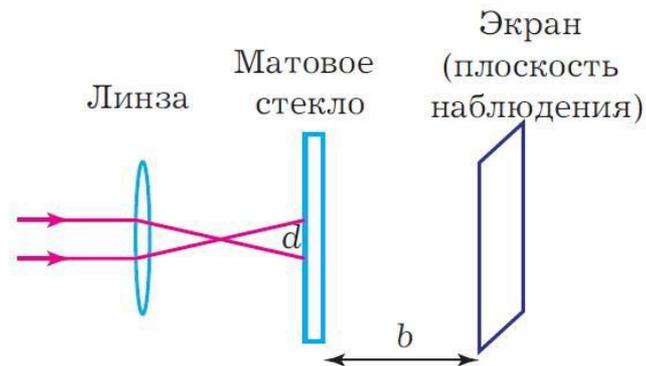


Рис. 3. Схема демонстрации спекл-эффекта

Часть 1. Текст



Действительно, если матовое стекло сместить в заднюю фокальную плоскость линзы (d – мало), то в плоскости наблюдения, например на листе белой бумаги, будет всего 1–2 элемента спекл-структуры. Удаление матового стекла от этой плоскости приводит к увеличению d и, соответственно, к уменьшению δ . Особенно красивая картина наблюдается, если сделать δ равным нескольким миллиметрам, – тогда она будет напоминать вид звёздного неба в ясную погоду. Если же смещать матовое стекло перпендикулярно плоскости рисунка, то одни яркие элементы спекл-структуры будут гаснуть, а вместо них вспыхивать другие.

Другая интересная возможность – иное освещение участка матового стекла, что приводит к изменению формы усреднённого элемента спекл-структуры, случайно меняющейся в разных координатах (рис. 4). Таким образом, с помощью спекл-эффекта можно получать различные рисунки и композиции.

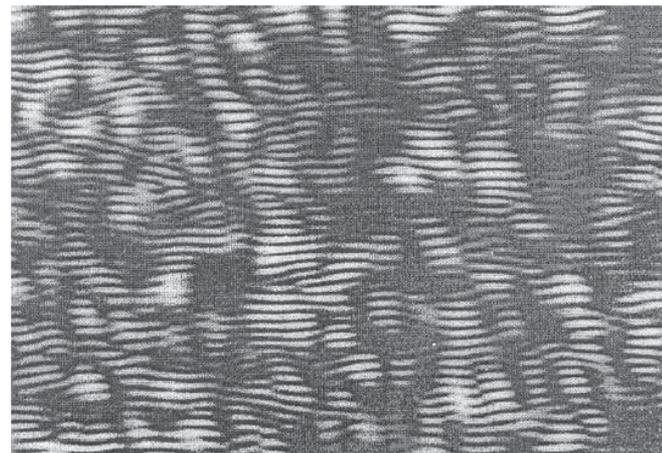


Рис. 4. Спекл-структура, полученная в свободном пространстве при освещении на матовом стекле двух круглых отверстий, расстояние между которыми в несколько раз больше, чем их диаметр

Часть 1. Текст



Дополнительные возможности открывает компьютерная обработка спекл-структуры. Действительно, спекл-эффект наблюдается в когерентном лазерном излучении, и поэтому его «картинка» одноцветная. При помощи компьютерной обработки к ней можно добавить фон другого цвета, ввести полутона в псевдоцвета, т.е. каждому полутону поставить в соответствие свой цвет. Можно также «законтрастировать» спекл-структуру. Так, на рис. 5 представлен спекл-эффект, полученный при повышении контраста и добавлении однородного серого фона.



Рис. 5. Спекл-структура, полученная в свободном пространстве в случае освещения щелевого участка на матовом стекле при дополнительной компьютерной обработке

Часть 1. Текст



Спекл-эффект находит широкое применение в измерительной технике. Так, на его основе разработано новое направление в интерферометрии – спекл-интерферометрия. Это один из методов пространственной интерферометрии, основанный на анализе зернистой структуры изображения объекта. Предложен в 1970 году Антуаном Лабейри. Метод позволил решить ряд задач, считавшихся в принципе неразрешимыми в классической и голографической интерферометрии. Например, оказалось возможным сравнивать по размерам и форме образцовое и контролируемые изделия, обладающие шероховатой поверхностью. Одним из полезных применений спекл-эффекта может быть проверка подлинности бумажных документов. Ведь шероховатость каждого клочка бумаги уникальна, и спекл-структура для неё является аналогом отпечатков пальцев для человека.

Часть 1. Задание 1



1

Установите соответствие между теоретическими утверждениями и следствиями из них. Для каждого элемента первого столбца укажите один элемент второго столбца.

Теоретическое утверждение	Следствие
А) Спекл-эффект Б) Спекл-структура В) Спекл-интерферометрия	1) Картина, на которой отчётливо наблюдаются светлые пятна, крапинки, которые разделены тёмными участками изображения 2) Метод пространственной интерферометрии, основанный на анализе зернистой структуры изображения объекта 3) Случайная модуляция интенсивности рассеянного излучения, наблюдающаяся в плоскости изображения

Ответ:

А	Б	В
3	1	2

Часть 1. Задание 2, 3



2

Во сколько раз увеличится средний размер светлого пятна в спекл-структуре, если длину волны увеличить в 3 раза, а диаметр светового пучка, образующегося на матовом стекле, – в 2 раза?

Ответ: 1,5

3

Определите длину волны падающего света, если диаметр светового пучка равен 0,5 мм, средний размер элемента спекл-структуры – 2 мм, а расстояние между матовым стеклом и экраном составляет 2 м. Ответ дайте в мкм.

Ответ: 0,5

Часть 2. Спецификация



№	Тип	Предмет	Проверяемые умения
4	ВО	Математика, физика	Исследовать и анализировать информацию, заданную графически
5	ВО	Информатика, математика	Решать задачи на построение логических связей и цепочек рассуждений
6	КО	Математика, информатика	Решать задачи на построение математической модели по заданной текстовой информации. Решать задачи на алгоритмизацию
7	КО	Физика, математика	Решать задачи по исследованию математической модели физического процесса
8	КО	Физика	Решать задачи по механике
9	КО	Информатика, математика	Решать задачи на комбинаторику, основы теории вероятностей

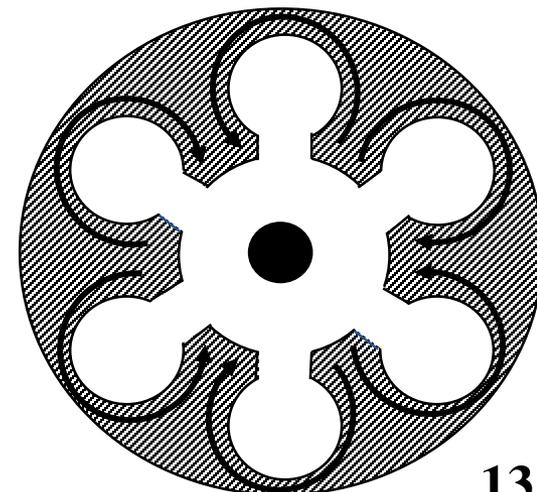
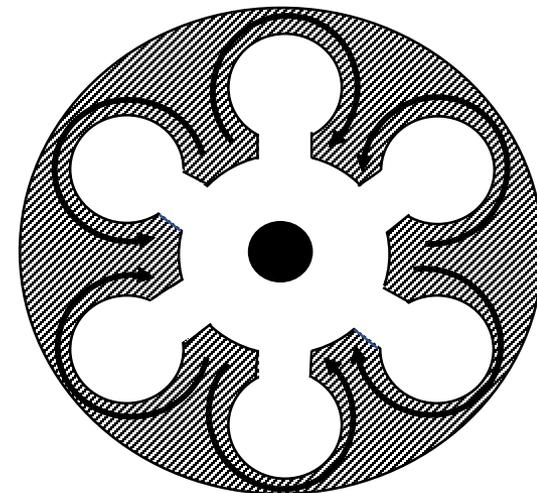
*ВО – задание с выбором ответа,
КО – задание с кратким ответом.*

Часть 2. Задание 4

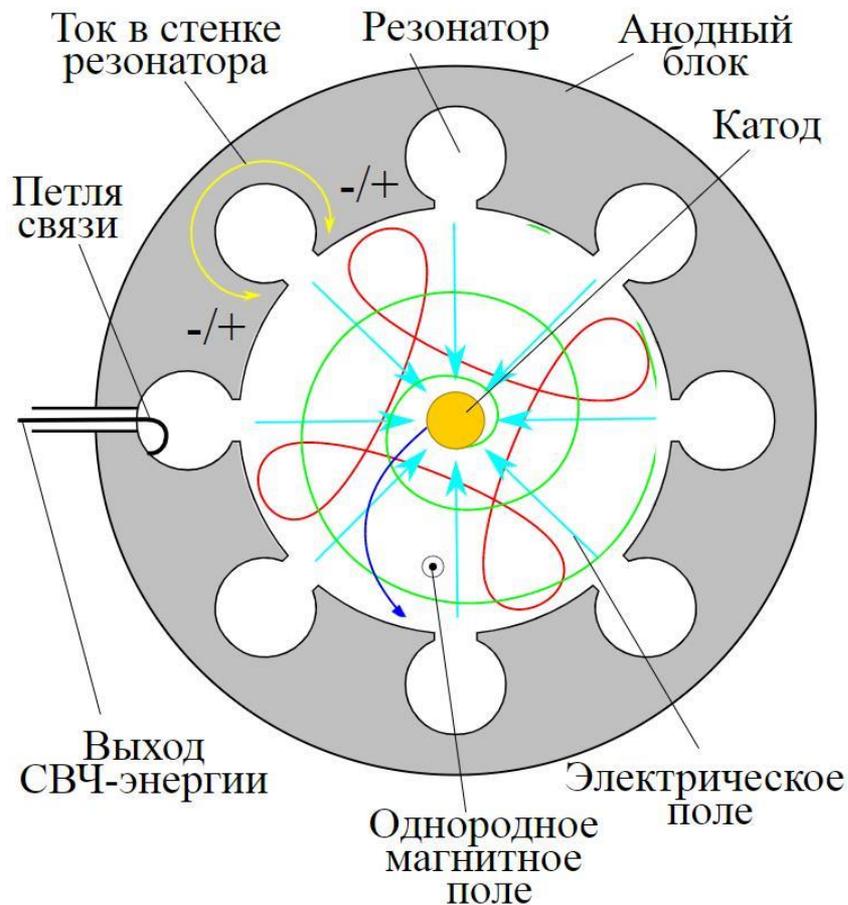


№	Тип	Предмет	Проверяемые умения
4	ВО	Математика, физика	Исследовать и анализировать информацию, заданную графически

На рисунках изображён поперечный разрез магнетрона – вакуумного диода, излучающего периодические импульсы СВЧ. В центре разогретый катод, испускающий электроны. Его окружает анод сложной симметричной формы. Цилиндрический зазор между ними заполнен внешним магнитным полем, перпендикулярным плоскости рисунка. Там же находится облако электронов, испущенных катодом. Электроны в магнитном поле двигаются по замкнутым траекториям, не попадая на анод и не возвращаясь на катод. Движение и форма электронного облака согласована с периодически протекающими по аноду токами. Форма облака в плоскости рисунка представляет собой правильный «цветок» с симметрично расположенными «лепестками». В зависимости от направления внешнего магнитного поля «цветок» вращается либо по, либо против часовой стрелки. На рисунке изображены состояния максимальных токов катода в моменты времени отличающиеся периодом излучения. Сколько лепестков у электронного «цветка»?



Часть 2. Задание 4. Решение



Ответ:

- 6
- 12
- 8
- **3**

Часть 2. Задание 7



№	Тип	Предмет	Проверяемые умения
7	КО	Физика, математика	Решать задачи по исследованию математической модели физического процесса

Варикап – полупроводниковый диод, который изменяет свою ёмкость пропорционально величине приложенного напряжения. Для настройки колебательного контура на радиостанцию используют два варикапа, соединённых последовательно. Ёмкость первого варикапа C_1 меняется в диапазоне от 150 до 300 пФ, а ёмкость второго C_2 – от 350 до 450 пФ. Общая ёмкость колебательного контура C в этом случае связана с ёмкостями варикапов следующим соотношением:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

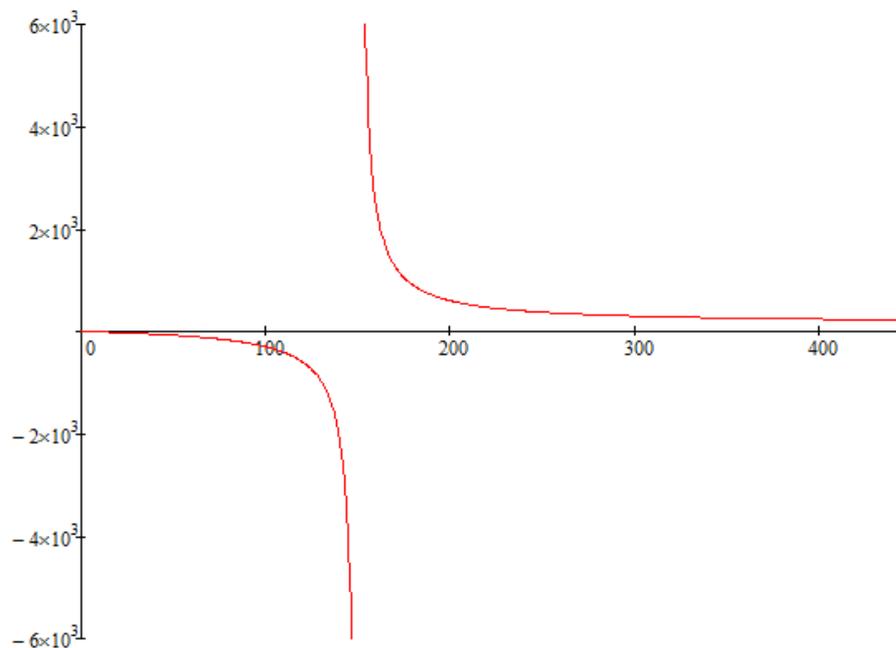
Укажите наименьшую ёмкость C_1 , при которой возможна настройка колебательного контура данными варикапами, если для этого необходимо, чтобы результирующая ёмкость была равна 150 пФ. Ответ выразите в пФ.

Часть 2. Задание 7. Решение



$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \rightarrow C_1 = \frac{CC_2}{C_2 - C}$$

Исследуем функцию



$$C_1 = \frac{150 \cdot 10^{-12} 450 \cdot 10^{-12}}{450 \cdot 10^{-12} - 150 \cdot 10^{-12}} = 225 \text{ пФ}$$

Часть 2. Задание 8



№	Тип	Предмет	Проверяемые умения
8	КО	Физика	Решать задачи по механике

Клин массой, равной 100 г, лежит на гладкой горизонтальной поверхности. Угол наклона к горизонту тоже гладкой плоскости клина равен 30° . На наклонную плоскость клина налетает шарик массой, равной 20 г, со скоростью 10 м/с перпендикулярно ей. Определить импульс, переданный горизонтальной поверхности в результате упругого соударения.

Часть 2. Задание 8. Решение



Запишем закон сохранения импульса в проекции на ось x и закон сохранения энергии

$$\begin{cases} mv_0 \sin(\alpha) = MU - mv \sin(\alpha) & (1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} mv_0^2 = mv^2 + MU^2 & (2) \end{cases}$$

Разделим (2) на (1)

$$\frac{v_0 - v}{\sin(\alpha)} = U$$

$$v_0 - v = U \sin(\alpha) \quad (3)$$

Подставим (3) в (1)

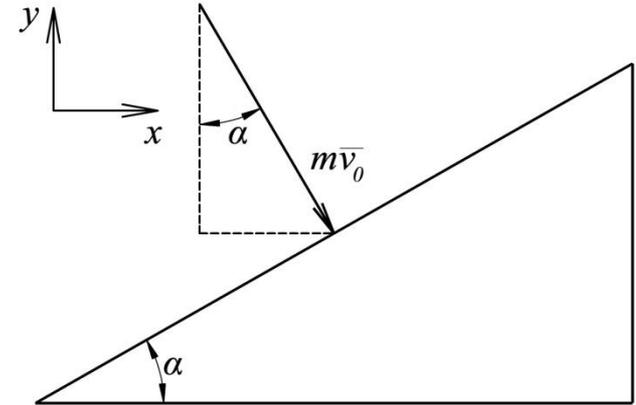
$$mv_0 \sin(\alpha) = \frac{M(v_0 - v)}{\sin(\alpha)} - mv \sin(\alpha)$$

$$mv_0 \sin^2(\alpha) = Mv_0 - Mv - mv \sin^2(\alpha)$$

$$v = \frac{v_0(M - m \sin^2(\alpha))}{M + m \sin^2(\alpha)}$$

$$\Delta p = m(v - v_0) \cos(\alpha) = m \cos(\alpha) \frac{M + m \sin^2(\alpha) + M - m \sin^2(\alpha)}{M + m \sin^2(\alpha)} v_0$$

$$\Delta p = \frac{2Mmv_0 \cos(\alpha)}{M + m \sin^2(\alpha)} = 0,33 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$$



Часть 3. Спецификация



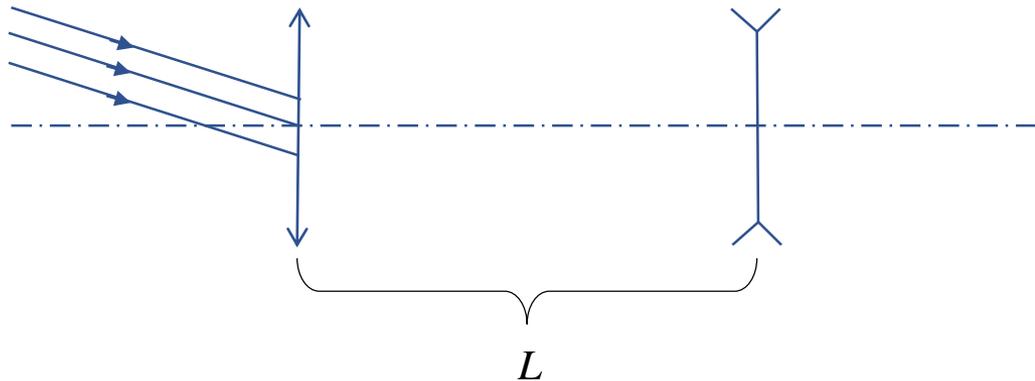
№	Тип	Предмет	Проверяемые умения
10	КО	Математика	Решать экстремальные задачи по геометрии
11	КО	Физика	Решать задачи по геометрической оптике
12	КО	Информатика, математика	Решать задачи по основам теории множеств или основам теории графов
13	КО	Математика	Решать задачи на числа (делимость, игры, процессы)
14	КО	Физика	Применять метод математической индукции при решении физических задач
15	КО	Информатика, математика	Выполнять операции и перевод между различными системами счисления. Решать задачи на основы шифрования

Часть 3. Задание 11



№	Тип	Предмет	Проверяемые умения
11	КО	Физика	Решать задачи по геометрической оптике

Пучок лучей, идущих от очень далёкого небесного тела попадает в объектив телескопа. Фокусное расстояние объектива равно $F_1 = 1$ м. Окуляр в виде рассеивающей линзы с фокусным расстоянием $F_2 = 0,099$ м находится на расстоянии $L = 0,9$ м от объектива. На каком расстоянии от окуляра находится изображение источника пучка лучей?



Часть 3. Задание 11. Решение



$$-\frac{1}{F_1 - L} + \frac{1}{f} = -\frac{1}{F_2}$$

$$f = \frac{F_2(F_1 - L)}{F_2 - F_1 + L} = \frac{0,099(1 - 0,9)}{0,099 - 1 + 0,9} = -0,099 \text{ м}$$

Часть 3. Задание 14



№	Тип	Предмет	Проверяемые умения
14	КО	Физика	Применять метод математической индукции при решении физических задач

Фонариком от мобильного телефона освещают стеклопакет с тремя одинаковыми стёклами. За изображениями фонарика в стеклопакете наблюдают под таким углом зрения, что интенсивность каждого отражённого луча составляет 20% от интенсивности соответствующего падающего. Чему равна интенсивность самого дальнего изображения фонарика, исключая отражения между отдельными стёклами? Интенсивность луча фонарика равна 10^5 Вт/м². Пороговое значение интенсивности, видимой глазом, принять за 10^2 Вт/м². Ответ дать в 10^2 Вт/м² с точностью до 0,1.

Часть 3. Задание 14. Решение



Обозначим:

- Интенсивность падающего на стеклопакет луча: $I_0 = 10^5 \text{ Вт/м}^2$
- Пороговая интенсивность: $I_{\min} = 10^2 \text{ Вт/м}^2$
- Искомая интенсивность самого дальнего изображения I^*

Изобразим ход лучей на первом на пути света стекле.

По условию отражённая и падающая интенсивности связаны соотношением: $I_r = 0,2 \cdot I_i$. Следовательно, прошедшая интенсивность (интенсивность преломлённого луча) $I_p = 0,8 \cdot I_i$.

Луч, соответствующий второму изображению s'_1 в первом стекле, формируется в результате одного преломления, одного отражения и ещё одного преломления. Значит, его интенсивность

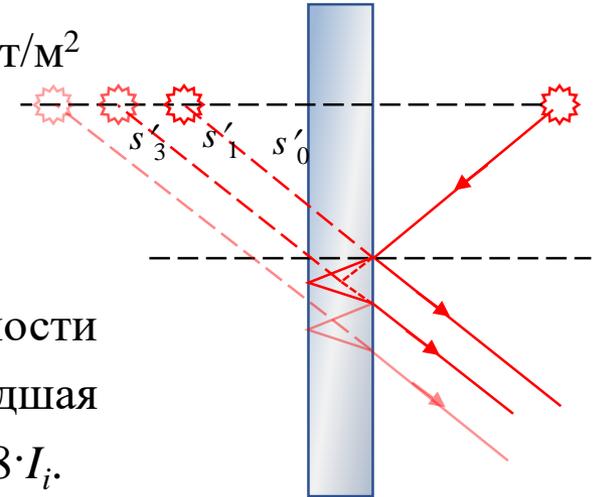
$$I'_1 = 0,8 \cdot 0,2 \cdot 0,8 \cdot I_0 = 0,128 \cdot I_0$$

Любой луч, испытывающий отражения внутри стекла и после этого попадающий в глаз наблюдателя, испытывает два преломления и нечётное количество $2n-1$, n натуральное, отражений. Значит,

$$I'_{2n-1} = 0,8^2 \cdot 0,2^{2n-1} \cdot I_0 = 0,64 \cdot 0,2^{2n-1} \cdot I_0$$

Отсюда интенсивность луча, соответствующего изображению s'_3

$$I'_3 = 0,64 \cdot 0,2^3 \cdot I_0 = 5,12 \cdot 10^{-3} \cdot I_0 = 5,12 \cdot 10^{-3} \cdot 10^5 = 5,12 \cdot 10^2 \text{ Вт/м}^2$$



Часть 3. Задание 14. Решение (продолжение)



Таким образом, $I'_3 > I_{\min}$, и изображение s'_3 будет видно.

Интенсивность следующего кратного изображения в первом стекле

$$I'_5 = 0,64 \cdot 0,2^5 \cdot I_0 = 20,5 \text{ Вт/м}^2$$

Это значение меньше порогового, значит, s'_3 будет самым дальним видимым изображением источника в первом стекле.

Понятно, что самые дальние изображения получаются на самом дальнем стекле. При прохождении каждого стекла луч испытывает два преломления. Значит, для того чтобы достигнуть самого дальнего стекла, он должен преодолеть два предыдущих стекла, следовательно, испытать 4 преломления. Поэтому входная интенсивность третьего стекла

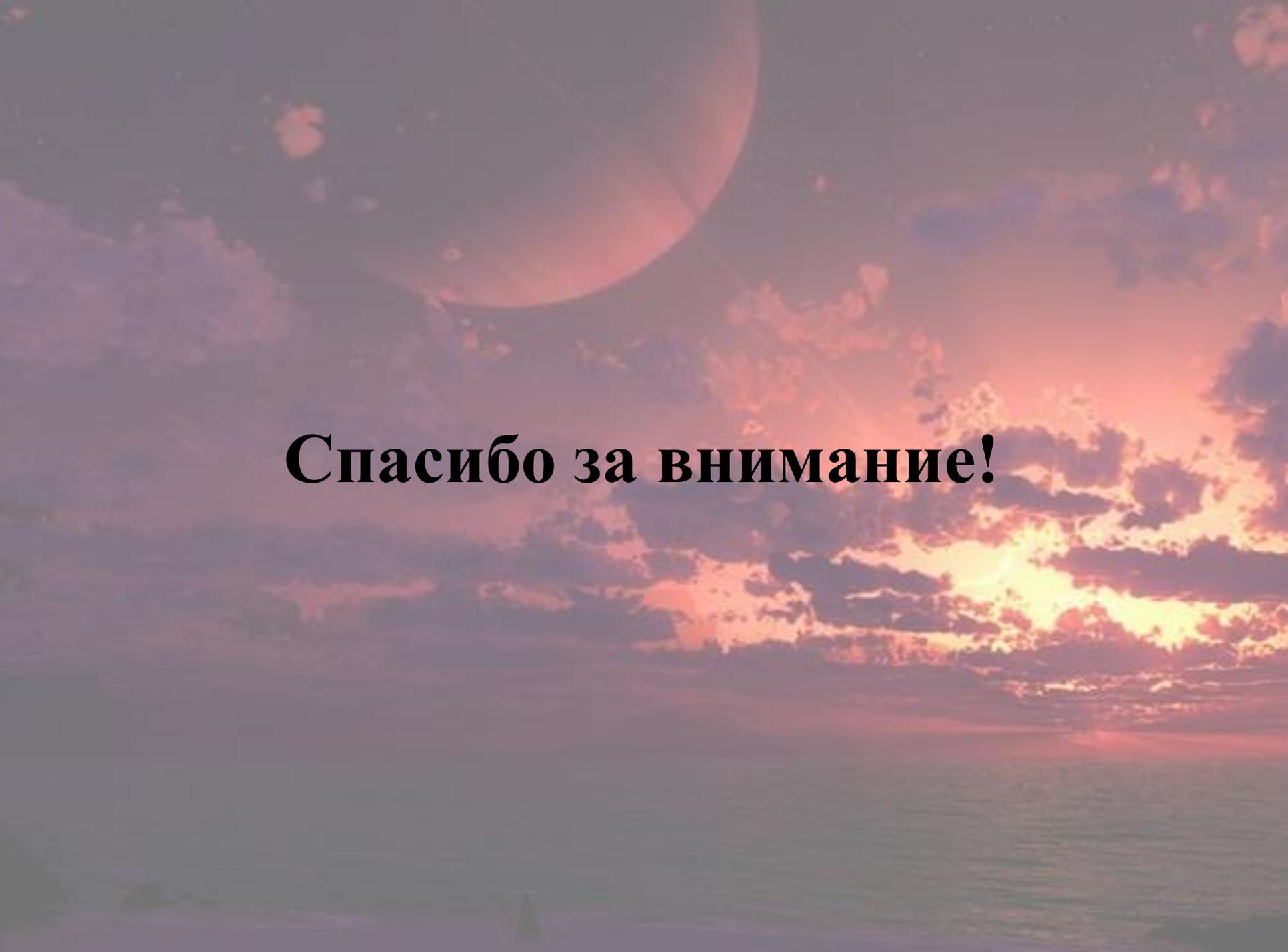
$$I'''_0 = I_0 \cdot 0,8^4 = 4096 \cdot 10^{-4} \cdot I_0 = 0,4 \cdot I_0$$

То есть, интенсивность всех изображений в третьем стекле будут в 0,4 раза отличаться от соответствующих интенсивностей в первом. Проверим интенсивность, возможно, самого дальнего:

$$I'''_3 = 0,4 \cdot I'_3 = 0,4 \cdot 5,12 \cdot 10^2 = 2,0 \cdot 10^2 \text{ Вт/м}^2.$$

Полученное значение больше порогового, значит, это искомая интенсивность.

Ответ: $2,0 \cdot 10^2 \text{ Вт/м}^2$.

A sunset over the ocean with a large, faint moon in the sky. The sky is filled with colorful clouds in shades of orange, red, and purple. The sun is low on the horizon, creating a bright glow. The ocean is visible in the foreground, and a small sailboat is visible on the water.

Спасибо за внимание!