

# Волновая оптика

# Интерференция свет

*11 класс*

2014 год

# Цели урока:

- \* Рассмотреть физическую сущность интерференции волн;
- \* Выделить свойства и средства описания явления интерференции света;
- \* Продолжить формирование представлений о единстве электромагнитных волн и света;
- \* Уметь разъяснять условия наблюдения интерференции света;
- \* Знакомство с биографией и научной работой Томаса Юнга;
- \* Наблюдения явления интерференции в природе.



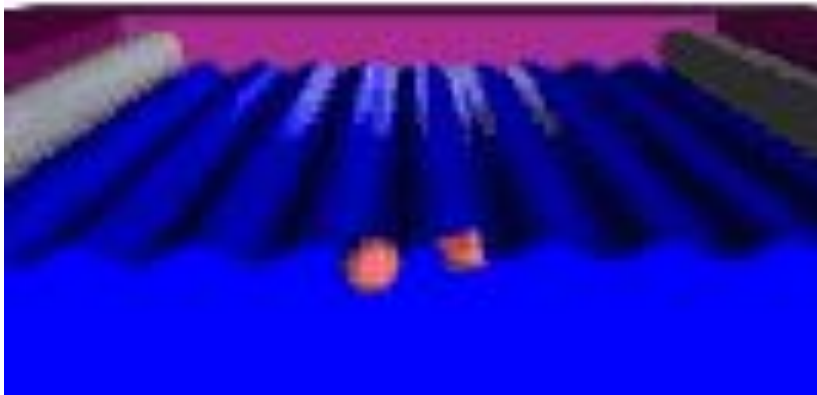
# Ответить на вопросы:

- \* - Что такое свет в теории Ньютона?
- \* - Что такое свет в волновой теории?
- \* - В чём заключается корпускулярно-волновой дуализм?
- \* - Что называют дисперсией света?

# Интерференция механических волн



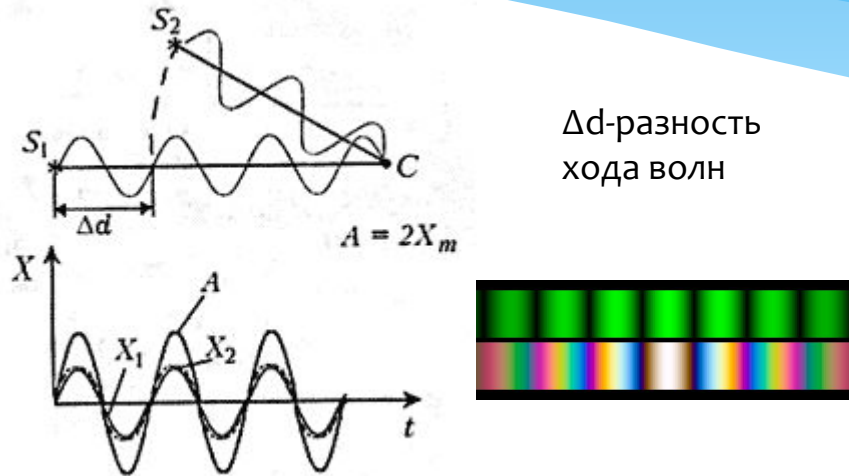
- \* На поверхности воды, когда
- \* поблизости колеблются два
- \* поплавка. Волна в одних местах усиливается, а в других - ослабляется.



- \* Интерференция от двух источников

# Условия максимума и минимума

Условие максимума:



$\Delta d$ -разность  
хода волн

$$A = 2X_m$$

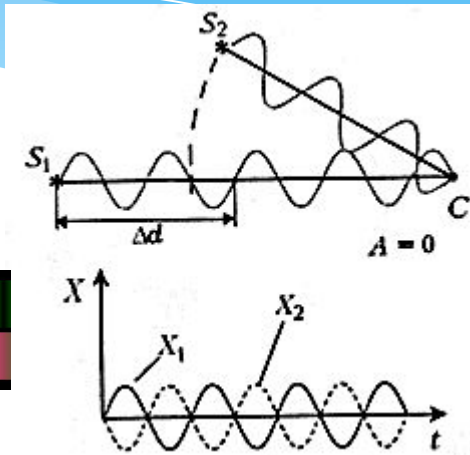
Разность хода волн равна **целому числу**  
**длин волн** или **чётному числу**  
**длин полуволн**:

$$d_2 - d_1 = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda$$

$$(k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3...)$$

В рассматриваемой точке С приходят с одинаковыми фазами и усиливают друг друга-амплитуда колебаний точки **максимальна** и равна удвоенной амплитуде.

Условия минимума:



Разность хода равна **нечётному**  
**числу длин полуволн**:

$$d_2 - d_1 = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

$$(k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3...)$$

Волны приходят в точку в противофазе и гасят друг друга. Амплитуда в точке С равна нулю:  $A=0$ .

# Интерференция света

Такие явления называют **интерференцией волн**, а саму картину- **интерференционной**. Для образования устойчивой интерференционной картины **необходимо**, чтобы волны, испускаемые источником, имели **одинаковую частоту и разность фаз их колебаний была постоянной**.

Источники, удовлетворяющие этим условиям, называют **когерентными**.

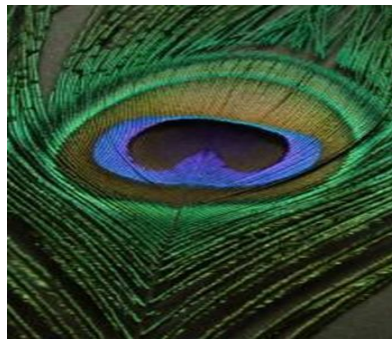
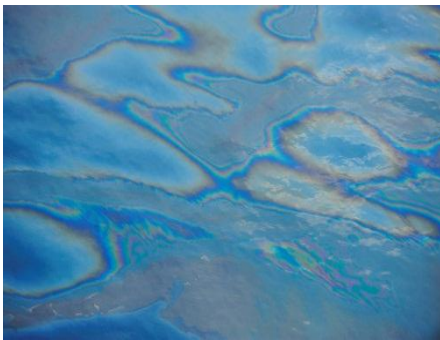
**Интерференция** - («inter» - между, взаимно и «ferens» - несущий, переносящий) сложение (перекрывание) двух или нескольких когерентных волн.



Почему свет, идущий от двух электрических ламп не даёт интерференционную картину?

# Способы получения и наблюдения интерференции света

- \* 1) **разделение волны по фронту** (опыт Юнга, бипризма Френеля, зеркала Ллойда);
- \* 2) **разделение волны по амплитуде** (по ходу волны)-интерференция в тонких плёнках (мыльные пузыри, бензиново-масляные плёнки, крылья насекомых, клин, кольца Ньютона).





# Томас Юнг

Томас Юнг был удивительным человеком: он был не только одним из лучших физиков своего времени, но ещё и расшифровывал египетские иероглифы, лечил людей, исследовал механизм зрения, был ловким наездником и даже ... акробатом и канатоходцем! Он играл почти на всех музыкальных инструментах и ещё в юности изучил самостоятельно больше **десяти** языков.

Его **девизом** было:

\* «Если это может кто-то, то это смогу и я!»





# Опыт Юнга 1802 г

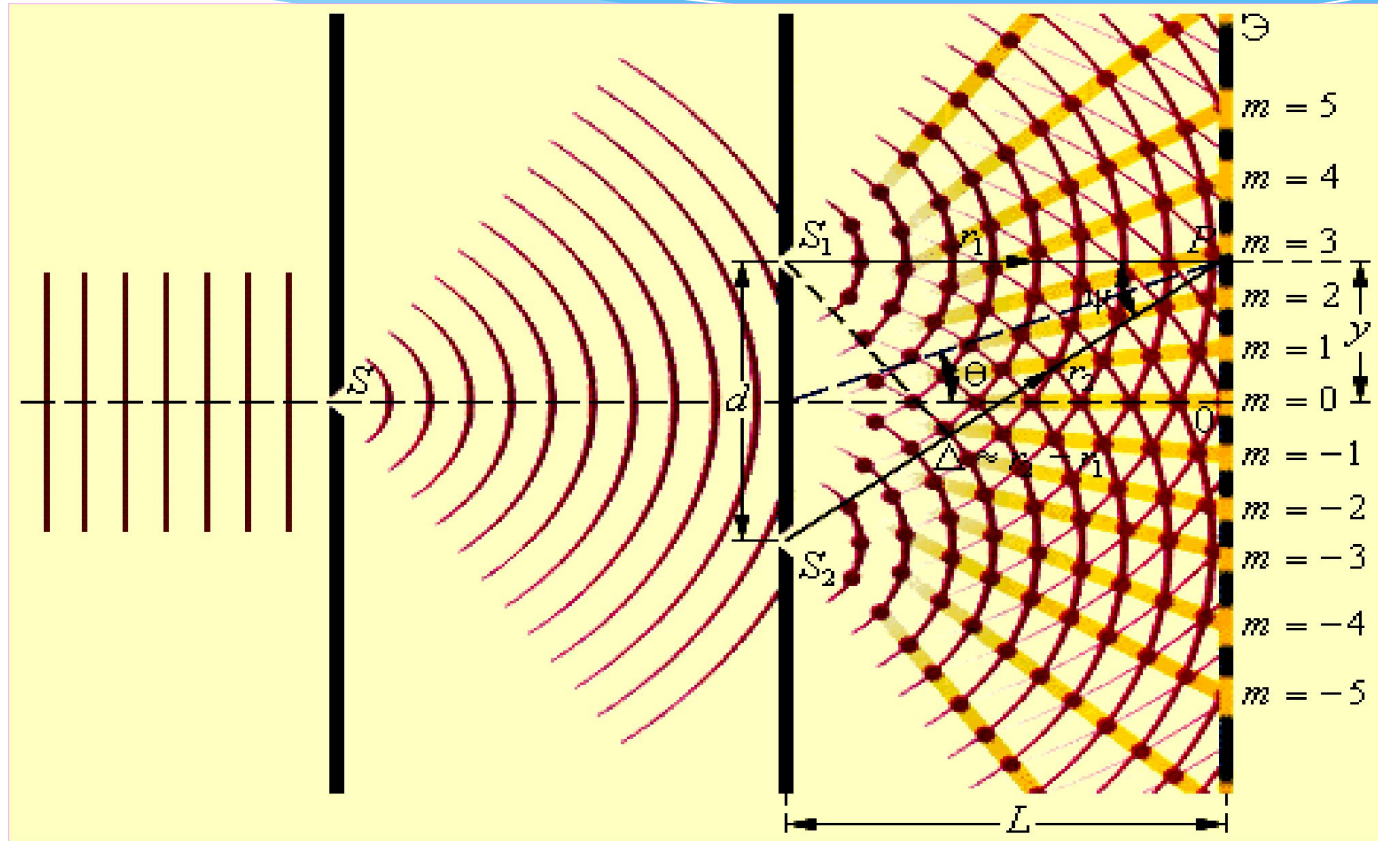


Рис. 1

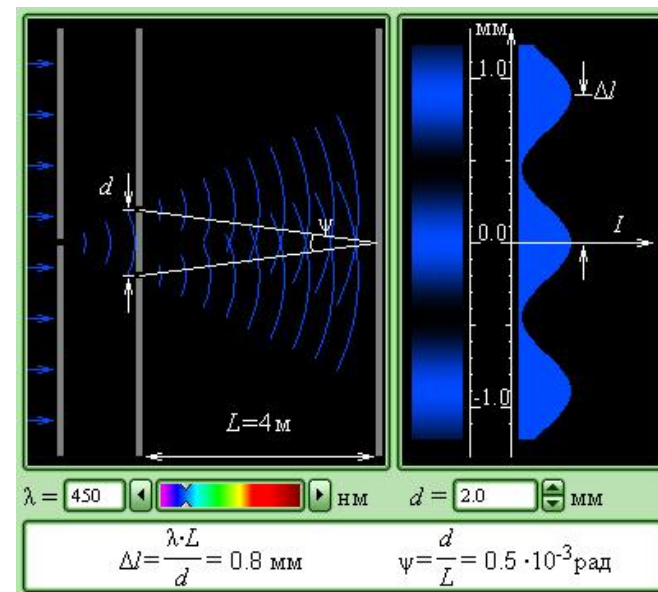
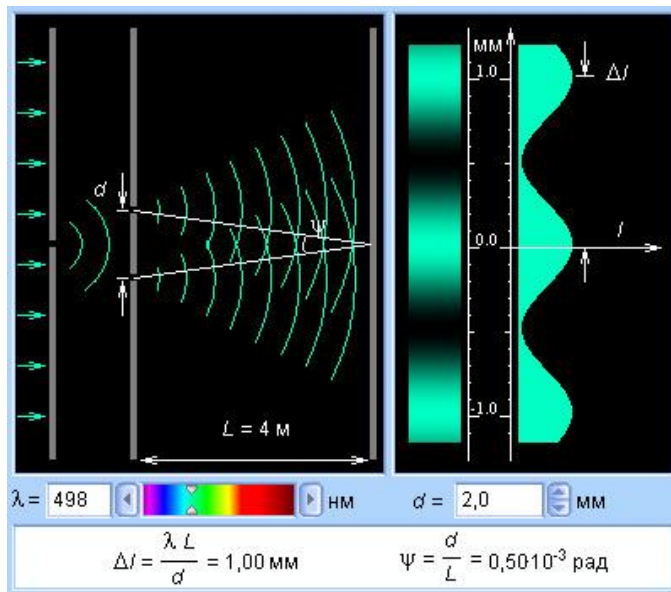
Впервые измерены длины световых волн!



# Опыт Юнга

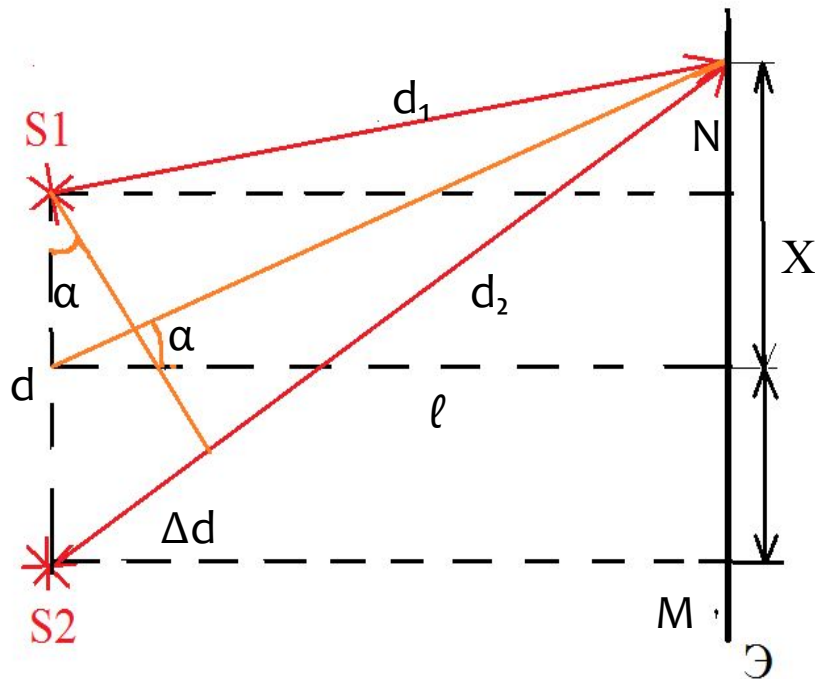
В результате деления фронта волны, идущие от щелей в результате деления фронта волны световые волны, идущие от щелей  $S_1$  и  $S_2$ , оказывались когерентными, создавая на экране устойчивую интерференционную картину...

Томас Юнг



Вследствие интерференции происходит **перераспределение энергии в пространстве.**

# Расчёт интерференционной картины в опыте Юнга



Разность хода можно выразить через тригонометрические соотношения

$$\Delta d = d \cdot \sin \alpha = d \cdot \frac{x}{\ell}$$

$$\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha \approx \frac{x}{\ell}$$

$$\Delta d = k \cdot \lambda$$

$$x = \frac{\Delta d \ell}{d}$$

$$\lambda = d \cdot \frac{x}{\ell} \rightarrow$$

$$x = \frac{\lambda \cdot \ell}{d}$$

Расстояние между интерференционными полосами зависит от длины волны  $\lambda$ , расстояния от мнимых источников до экрана  $\ell$  и расстояния между источниками  $d$



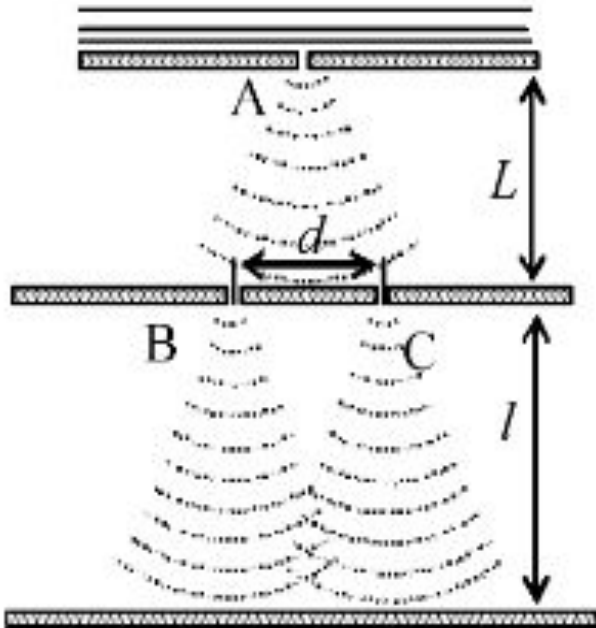
# Решение задач

## Часть А – базовый уровень

\* В классическом опыте Юнга по дифракции пучок света, прошедший через узкое отверстие А, освещает отверстия В и С, за которыми на экране возникает интерференционная картина (см. рисунок).

Если уменьшить расстояние  $l$  вдвое, то

- 1) расстояние между интерференционными полосами уменьшится
- 2) расстояние между интерференционными полосами увеличится
- 3) интерференционная картина не изменится
- 4) интерференционная картина сместится по экрану вправо, сохранив свой вид





# Решение задач

## Часть А- повышенный уровень

На плоскую непрозрачную пластину с двумя щелями падает по нормали плоская монохроматическая волна из зелёной части видимого спектра. За пластиной на параллельном ей экране наблюдается интерференционная картина. Если использовать монохроматический свет из красной части видимого спектра, то

- 1) Расстояние между интерференционными полосами увеличится
- 2) Расстояние между интерференционными полосами уменьшится
- 3) Расстояние между интерференционными полосами не изменится
- 4) Интерференционная картина исчезнет



# Решение задач

## Часть А - базовый уровень

\* В классическом опыте Юнга по дифракции пучок света, прошедший через узкое отверстие А, освещает отверстия В и С, за которыми на экране возникает интерференционная картина (см. рисунок).

\*

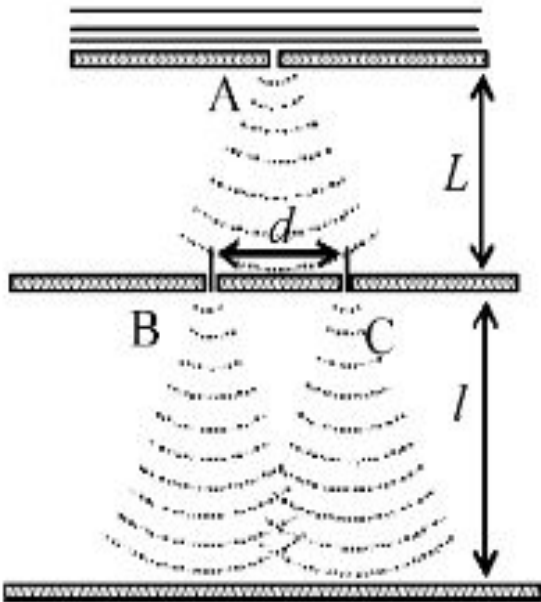
Если уменьшить расстояние  $d$  вдвое, то

- 1) интерференционная картина сместится по экрану вправо, сохранив свой вид
- 2) интерференционная картина не изменится
- 3) расстояние между интерференционными полосами увеличится
- 4) расстояние между интерференционными полосами уменьшится

### Решение

Вид интерференционной картины зависит от расстояния  $d$  между точечными источниками когерентного излучения, коими являются точки В и С, из которых расходятся сферические волны, и от длины волны излучения. Максимумы интерференционной картины определяются условием того, что оптическая разность хода кратна  $\lambda$ . При уменьшении расстояния  $d$  разность хода начинает меняться медленнее при "движении" вдоль экрана точки наблюдения интерференции. Следовательно, расстояние между интерференционными полосами увеличивается.

\*



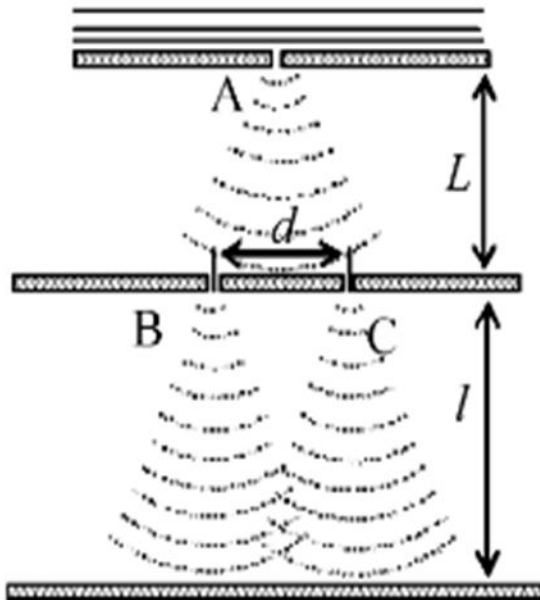


# Решение задач

## Часть А – базовый уровень

Как изменится интерференционная картина в опыте Юнга, если всю систему, освещаемых монохроматическим светом, опустить в воду

- 1) расстояние между полосами увеличится
- 2) расстояние между полосами уменьшится
- 3) появится радужная окраска
- 4) все полосы исчезнут, кроме нулевого максимума



**Ответ:** Ширина полос уменьшится в  $n$  раз, где  $n$  – показатель преломления воды.



# Решение задач

При изучении наук задача  
полезнее правил...

И. НЬЮТОН

В некоторую точку на экране приходит два когерентного излучения с оптической разностью хода  $2,0$  мкм. Что происходит: усиление или ослабление света, если в неё приходят: а) красные лучи с длиной волны  $760$  нм; б) жёлтые лучи длиной волны  $600$  нм; в) фиолетовые с длиной волны  $400$  нм.

Дано:

$$\Delta d = 2 \text{ мкм}$$

$$\text{а) } \lambda = 760 \text{ нм}$$

$$\text{б) } \lambda = 600 \text{ нм}$$

$$\text{в) } \lambda = 400 \text{ нм}$$

---

Усилится или  
ослабится  
свет -?

Решение:

$$\Delta d = k\lambda \Rightarrow k = \frac{\Delta d}{\lambda}$$

$$\text{а) } k = 2,6 - \text{ослабление,}$$

$$\text{б) } k = 3,3 - \text{ослабление}$$

$$\text{в) } k = 5 - \text{усиление}$$

Ответ: а) ослабление,  
б) ослабление  
в) усиление





# Решение задач

При изучении наук задача  
полезнее правил...

И. НЬЮТОН

В некоторую точку на экране приходит два когерентного излучения с оптической разностью хода 1,2 мкм. Длина волны этих лучей в вакууме 600 нм. Определите, что произойдёт в этой точке в результате интерференции в трёх случаях: а) свет идёт в воздухе; б) свет идёт в воде; в) свет идёт в стекле с показателем преломления 1,5.

Дано:

$$\Delta d = 1,2 \text{ мкм}$$

$$\lambda_0 = 600 \text{ нм}$$

1)  $n = 1$

2)  $n = 1,33$

3)  $n = 1,5$

Решение:

$$\Delta d = k\lambda$$

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

$$n\Delta d = k\lambda$$

$$k = n \frac{\Delta d}{\lambda}$$

- а)  $k = 2$  - усиление,  
б)  $k = 2,6$  - ослабление  
в)  $k = 3$  - усиление

Усилится или  
ослабится  
свет -?

# Решение задач

Два когерентных источника  $S_1$  и  $S_2$  испускают свет с длиной волны  $\lambda = 500\text{нм}$ . На каком расстоянии от точки  $O$  на экране располагается первый максимум освещенности, если расстояние между источниками  $d = 0,5\text{ мм}$ , а расстояние от каждого источника до экрана равно  $2\text{ м}$ .

*Дано*

$$k = 1$$

$$\lambda = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$l = 2 \text{ м}$$

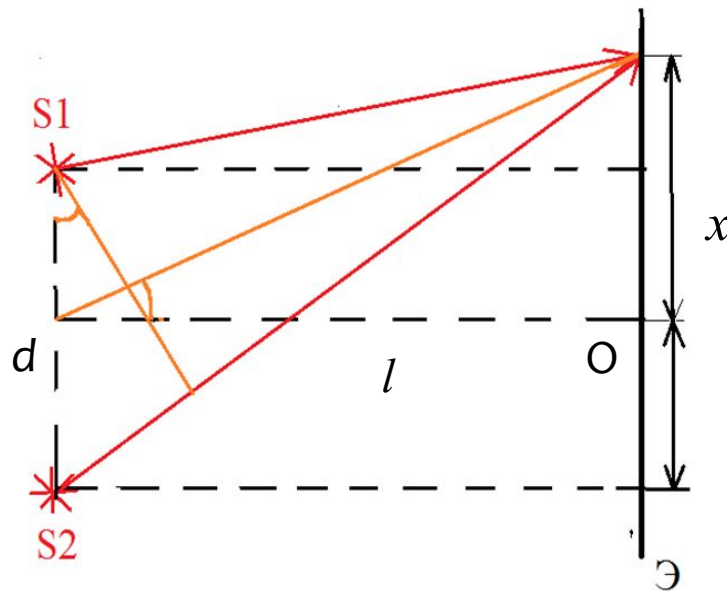
$$d = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

---

$$x = ?$$

*Решение:*

$$x = \frac{\Delta d \ell}{d} = \frac{k \lambda \ell}{d} = 2 \text{ мм}$$

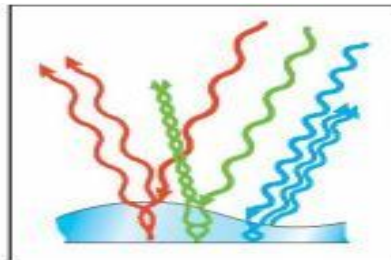
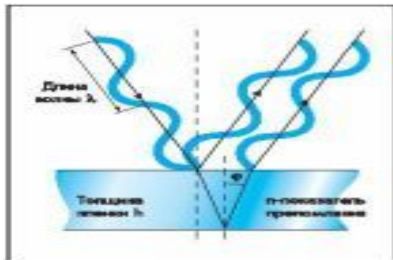
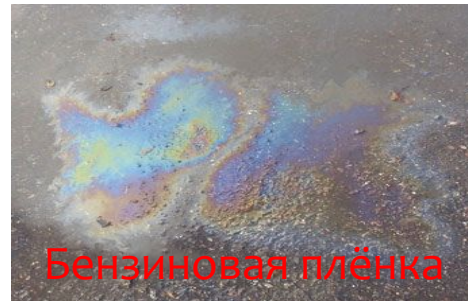
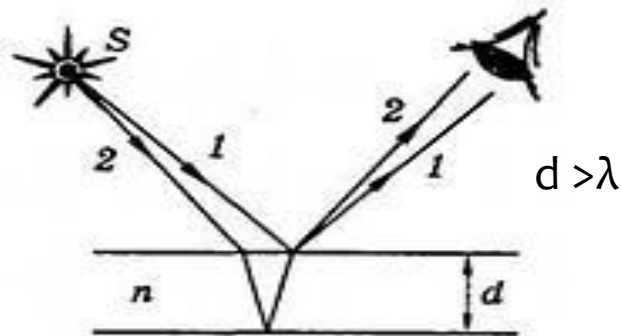


*Ответ: 2 мм*

# Интерференция в тонких плёнках

**Причина:** отражение от внешней поверхности плёнки, а другая — от внутренней.

- \* **Тонкая плёнка** — мыльные пузыри, бензиново-масляная плёнка на поверхности воды, крылья насекомых и т.д.



Различные цвета тонких пленок — результат интерференции двух волн, отражающихся от нижней и верхней поверхностей пленки.



# Интерференция света

*...Когерентные волны от одного источника возникают при отражении света от передней и задней поверхностей тонких пленок(масляные пленки и пленки жира на воде, крылья насекомых, мыльные пузыри)...*

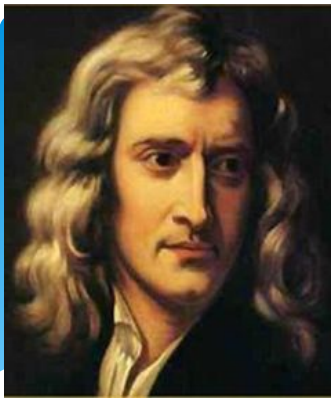
Томас Юнг

Сияя гладкой пленкой,  
Растягиваясь вширь,  
Выходит нежный, тонкий,  
Раскрашенный пузырь.

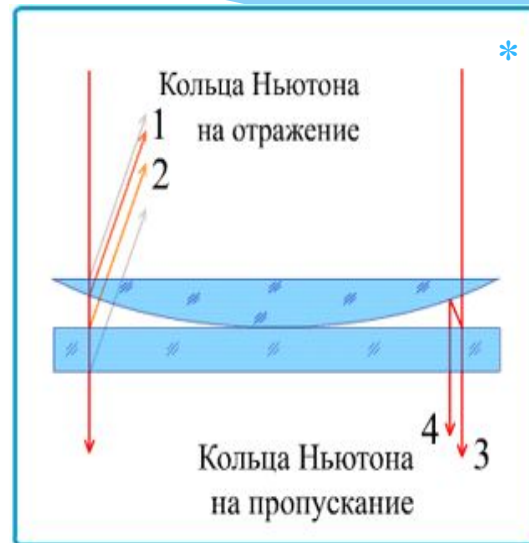
Горит, как хвост павлиний.  
Каких цветов в нем нет!  
Лиловый, красный, синий,  
Зеленый, желтый цвет.

Самуил Маршак





# Кольца «Ньютона»



Интерференционные полосы равной толщины в форме колец, расположенных concentрически вокруг точки касания двух сферических поверхностей, либо плоскости и сферы. Впервые описаны в 1675 г. И. Ньютоном. Интерференция происходит в тонком зазоре (обычно воздушном), разделяющим соприкасающиеся поверхности; этот зазор играет роль тонкой плёнки.

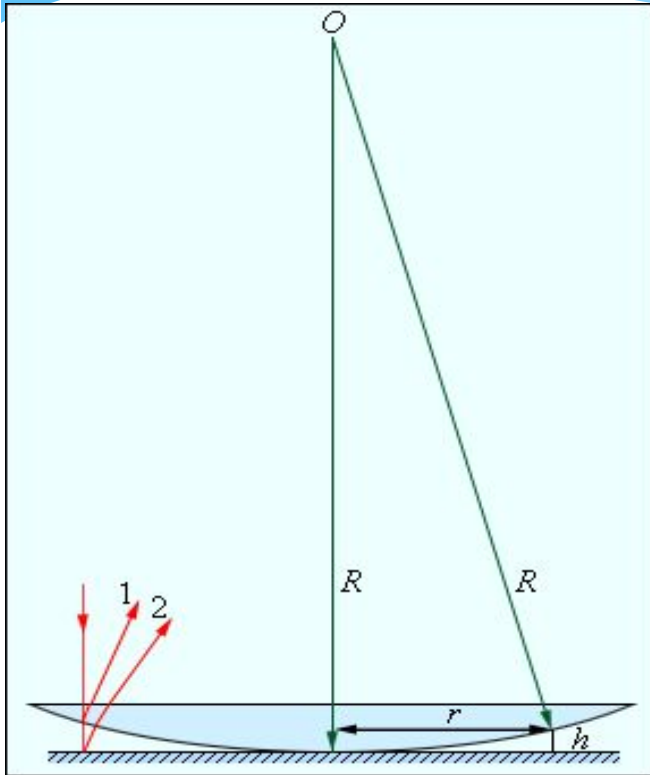


Опыт Ньютона

Радиусы колец увеличиваются при переходе от фиолетового конца спектра к красному.

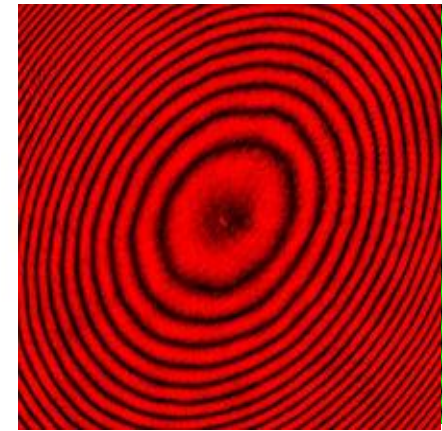
# Кольца Ньютона

**Кольца Ньютона** - интерференционная картина, возникающая при отражении света в тонкой воздушной прослойке между плоской стеклянной пластиной и плосковыпуклой линзой большого радиуса кривизны

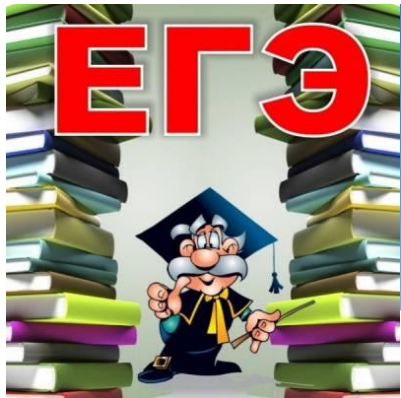


$$r = \sqrt{Rk\lambda}$$

$r$  - радиус кольца,  
 $R$  - радиус кривизны выпуклой поверхности линзы.



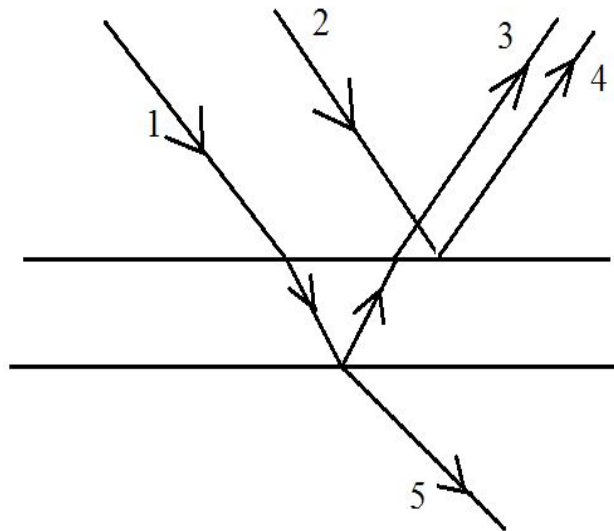
Интерференционная картина имеет вид концентрических колец, получивших название **колец Ньютона**



# Решение задач

## Часть А – базовый уровень

При отражении от тонкой плёнки интерферируют лучи



1) 1 и 2

2) 2 и 3

3) 3 и 4

4) 4 и 5



# Решение задач

## Часть А- базовый уровень

Какие из перечисленных ниже явлений объясняется интерференцией света?

- а) радужная окраска тонких мыльных плёнок
- б) кольца Ньютона
- в) появление светлого пятна в центре тени от непрозрачного диска
- г) отклонение световых лучей в область геометрической тени

- 1) только а
- 2) а и б
- 3) а, б, в и г
- 4) в и г





# Решение задач

## Часть А – базовый уровень

Световые волны когерентны, если у них

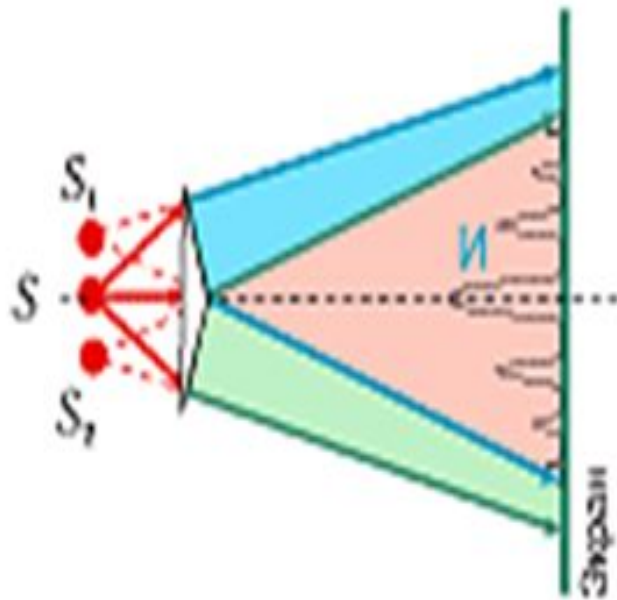
- 1) совпадают амплитуды
- 2) совпадают частоты
- 3) постоянен сдвиг фаз
- 4) совпадают частоты и постоянен сдвиг фаз

Свет переходит из воздуха в стекло с показателем преломления  $n$ .  
Какое из следующих утверждений справедливо?

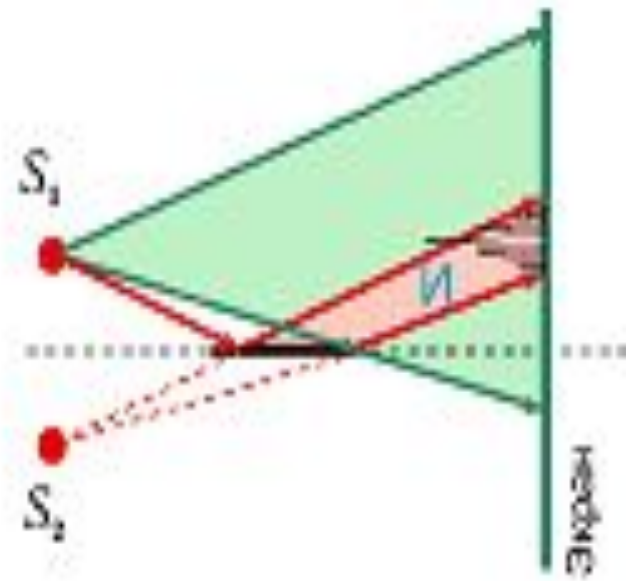
- 1) Частота и скорость света уменьшится в  $n$  раз
- 2) Частота и скорость света увеличится в  $n$  раз
- 3) Частота не изменится, а скорость света уменьшится в  $n$  раз
- 4) Частота не изменится, а скорость света увеличится в  $n$  раз

# Способы получения когерентных волн

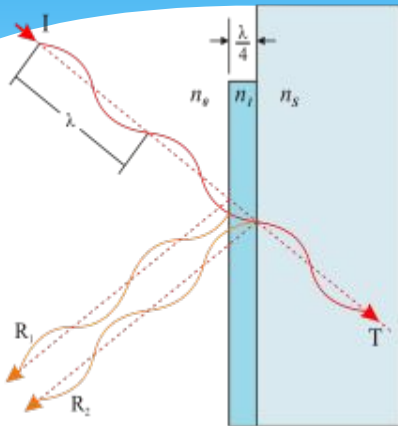
Бипризма Френеля



Зеркало Ллойда



# «Просветление» оптики



Уменьшение отражения света поверхности в результате нанесения на неё специальной плёнки.

Условие минимума интерференции для падающего и отражённого лучей:

(формула 1)

$$\Delta d = (2m + 1) \frac{\lambda}{2} = 2dn$$

где  $d$  - толщина плёнки,  $n$  - показатель преломления вещества плёнки. Из этого выражения получается:

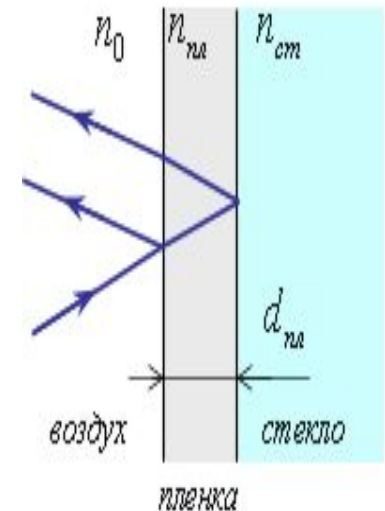
(формула 2)

$$d = \frac{\lambda}{4n}$$

Кстати, для максимального эффекта, показатель преломления плёнки должен быть равен:

(формула 3)

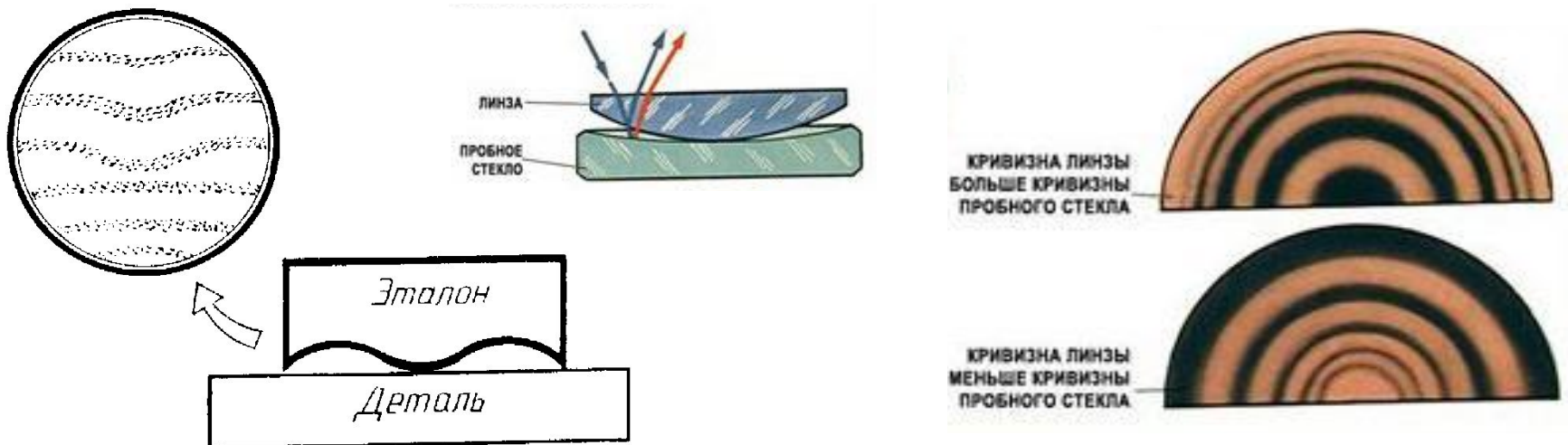
$$n = \sqrt{n_{ст}}$$



Почему линза, покрытая просветляющей плёнкой, кажется фиолетовой при рассмотрении её в отражённом свете?

# Применение интерференции

**Проверка качества обработки поверхностей.** С помощью интерференции можно оценить качество обработки поверхности изделия с точностью до  $1/10$  длины волны, т. е. с точностью до  $10^{-6}$  см. Для этого нужно создать тонкую клиновидную прослойку воздуха между поверхностью образца и очень гладкой эталонной пластиной. Тогда неровности поверхности размером до  $10^{-6}$  см вызовут заметные искривления интерференционных полос, образующихся при отражении света от проверяемой поверхности и нижней грани.



# Решение задач

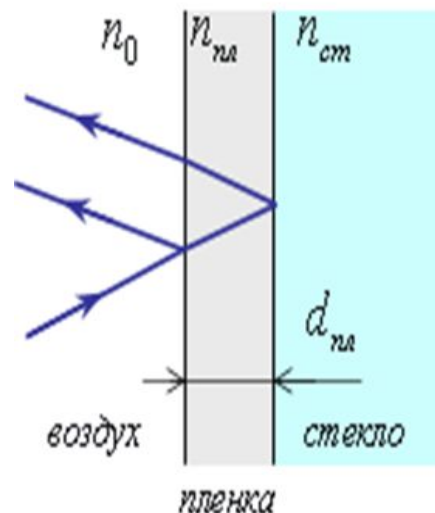
## Часть А – повышенный уровень

Определите толщину плёнки с показателем преломления 1,4, если для монохроматического света длиной  $6 \cdot 10^{-7}$  м получается просветление оптики линзы.

Дано:  
 $n=1,4$   
 $\lambda = 6 \cdot 10^{-7}$  м  
-----  
d -?

Решение:

$$d = \frac{\lambda}{4n}$$



Ответ:  $d = 1,07 \cdot 10^{-7}$  м



# Решение задач

## Часть А – базовый уровень

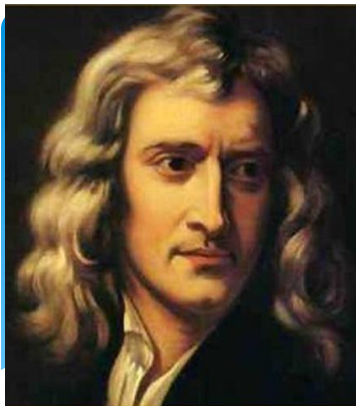
Просветление объективов оптических систем основано на явлении

- 1) интерференция света
- 2) дисперсия света
- 3) поляризация света
- 4) дифракция света



Почему меняется окраска крыльев насекомого при рассмотрении их под разными углами?

**Ответ.** При отражении лучей от прозрачной плёнки, покрывающей крылья насекомого, образуется интерференционная картина. Положение полос равного наклона меняется, если смотреть на крылья под разными углами.



# При изучении наук задача полезнее правил...

И. НЬЮТОН

При наблюдении интерференции света от двух когерентных источников монохроматического света с длиной волны 520 нм на экране на отрезке длиной 4 см наблюдается 8,5 полос. Определите расстояние между источниками света, если расстояние от них до экрана равно 2,75 м.

Дано:

$$\lambda = 520 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

$$x = 4 \text{ см}$$

$$k = 8,5$$

$$\ell = 2,75 \text{ м}$$

---

$$d = ?$$

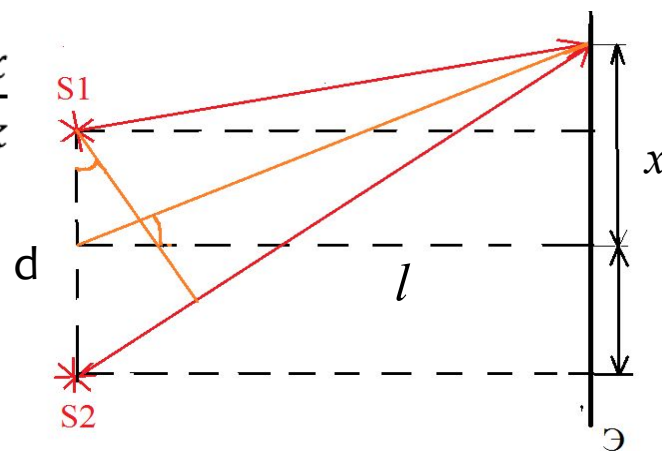
Решение:

Ширина одной полосы

$$\Delta x = \frac{x}{k}$$

$$d = \frac{k\lambda\ell}{x} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Ответ:  $3 \cdot 10^{-4} \text{ м}$



# Решение задач

## Часть С – ключевая задача

Между краями двух отшлифованных квадратных стеклянных пластинок со стороной  $L=16$  см зажат волос. Противоположные концы пластинок соприкасаются. Перпендикулярно поверхности верхней пластинки падает монохроматический пучок света с длиной волны  $\lambda=0,7$  мкм. Чему равен диаметр  $D$  волоса, если при наблюдении сверху на пластине видны интерференционные полосы, расстояние между которыми  $s = 0,8$  мм?

Дано:

$L= 16$  см

$\lambda=0,7$  мкм

$s=0,8$  мм

$D=?$

Анализ:

Интерференционная картина возникает вследствие сложения волн, отражённых от поверхностей, ограничивающих воздушный клин переменной толщины.



Отражённые волны взаимно усиливают друг друга, если

$$\Delta d = k\lambda$$

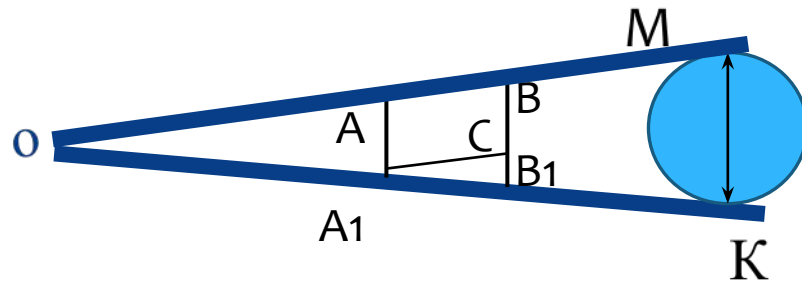


# Решение задач

\* Разность хода волн, отражённых в точках А и А<sub>1</sub>, равна  $k\lambda$ .

Волна, отражённая в точке А<sub>1</sub>, дважды проходит расстояние

АА<sub>1</sub> (от точки А к А<sub>1</sub> и обратно).



$$D \quad 2AA_1 = k\lambda, \text{ откуда } AA_1 = k\frac{\lambda}{2}$$

$$BB_1 = (k+1)\frac{\lambda}{2}, \quad BB_1 - AA_1 = \frac{\lambda}{2}$$

$CB_1 = \frac{\lambda}{2}$ ;  $\triangle A_1CB_1$  подобна  $\triangle OMK$ . Мы получим

$$\frac{D}{\lambda/2} = \frac{L}{s} \implies D = \frac{L\lambda}{2s} = 7 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Ответ:  $D = 0,07$  мм.

# Подведём итоги

1. Что называют интерференцией волн? При каких условиях происходит это явление?
2. Какие волны называют когерентными?
3. Что называют разностью хода волн?
4. Сформулируйте и запишите условия образования максимумов при наложении когерентных волн.
5. Сформулируйте и запишите условия образования минимумов при наложении когерентных волн.
6. Опишите опыт Юнга.
7. Сделав рисунок, объясните интерференцию света в тонких плёнках.
8. Приведите примеры практического применения интерференции света.

# Используемая литература:

- \* 1. Физика 11 кл. Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский, - М.: Просвещение, 2012г.
- \* 2. Сборник задач по физике. /Сост. Г.Н. Степонова. – М.: Просвещение, 1998г.
- \* 3. Физика в 11 классе: Модели уроков. / Ю.А. Сауров. – М.: Просвещение, 2005г.
- \* 4. Волновая оптика. Н. А. Кормаков. г. Москва, «Физика», №30/99.
- \* 5. Физика 11 кл. Л.Э Генденштейн, Ю.И. Дик, М.: Мнемозина, 2013 г.
- \* 5. [school.xvatit.com](http://school.xvatit.com)
- \* 6. [allforchildren.ru](http://allforchildren.ru) «Сто тысяч «Почему» [why.107.php](http://why.107.php).

# Благодарю за внимание!

Презентация выполнена  
учителем физики  
высшей квалификационной категории  
МОБУ СОШ д. Казмашево  
Республика Башкортостан  
Абзелиловский район  
Зайнуллиной Ф. Ф.