

## *Основные схемы интерферометров*

- Для интерференции света необходима прежде всего когерентность пучков. Излучения двух различных источников оптического диапазона вообще некогерентны и интерференционной картины не дают
- Для наблюдения интерференции пучок света с помощью того или иного устройства пространственно разделяется на два или большее число когерентных лучей, которые проходят различные оптические пути, а затем сводятся вместе

# *Интерферометр Ньютона*

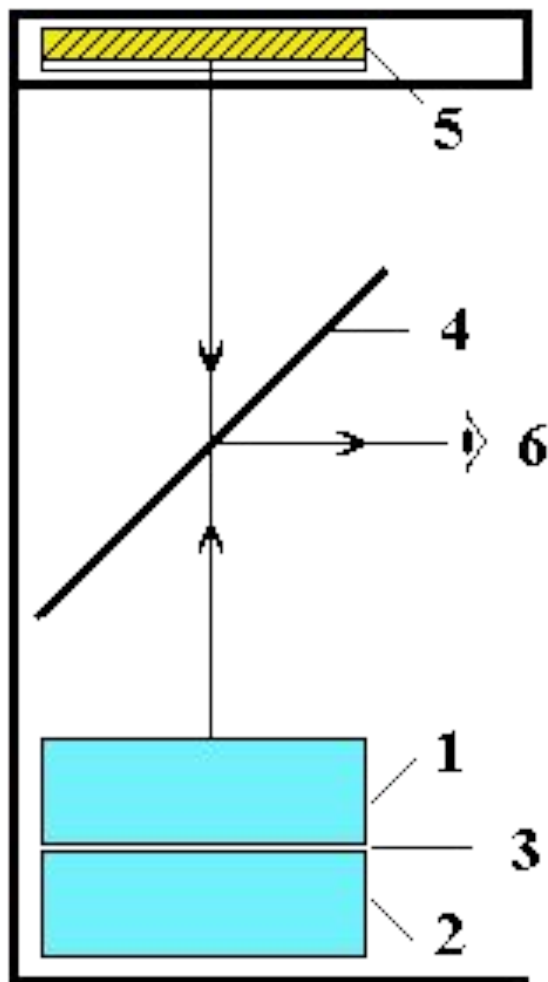
- Интерферометр Ньютона содержит две оптические полированные поверхности, находящиеся в контакте и освещенные монохроматическим светом
- Одна из поверхностей эталонная, другая должна соответствовать сфере противоположного знака. В этих условиях воздушный зазор обычно равен нескольким длинам световой волны.
- Контроль в различных схемах интерферометра Ньютона заключается в определении величины зазора путем интерпретации интерференционных колец



## Исаак Ньютон (1643—1727)

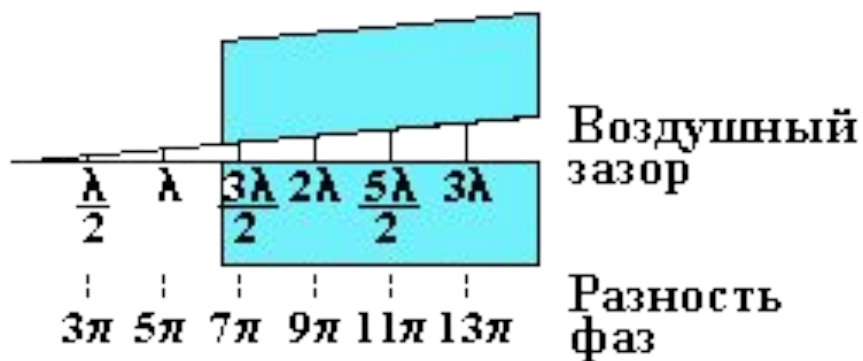
- ( 04.01.1643 года - 31.03.1727 года ) Великобритания
- Выдающийся английский учёный, заложивший основы современного естествознания, создатель классической физики
- член Лондонского королевского общества (1627), президент (с 1703)
- Работы относятся к механике, оптике, астрономии, математике
- Научное творчество Ньютона сыграло исключительно важную роль в истории развития физики
- В его честь названа единица сила в Международной системе единиц - ньютон.

- 
- Наиболее часто интерферометр Ньютона применяется для контроля плоских поверхностей и контроля поверхностей небольших линз во время их полирования
  - Эталонные поверхности пробного стекла могут быть и асферическими. Их используют, как правило, при изготовлении выпуклых асферик, так как вогнутую поверхность изготовить и проконтролировать легче
-

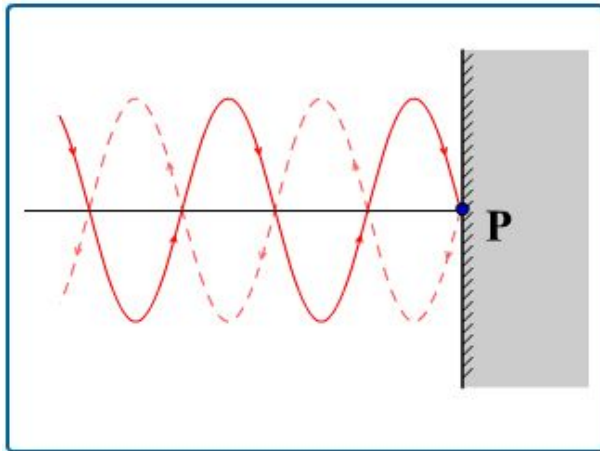


1. Пробная поверхность
2. Контролируемая поверхность
3. Линия контакта поверхностей
4. Светоделитель
5. Монохроматический источник света
6. Глаз наблюдателя

[Programm/L\\_newton/fla42.swf](#)

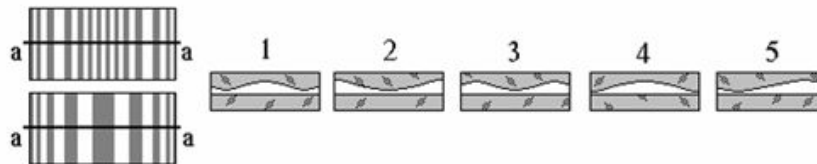


- Очевидно, что разность хода между интерферирующими лучами равна удвоенной толщине зазора  $d$  (если зазор заполнен, то  $2dn$ ). При расчете положения максимумов и минимумов необходимо учитывать дополнительный фазовый сдвиг на  $\pi$ , образующийся при отражении от более плотной среды



[Programm\L\\_newton\fla44.swf](#)

- Определите, какие два зазора из представленных пяти соответствуют данным системам интерференционных полос равной толщины



- В зазоре между сферической линзой и плоскостью образуются так называемые *кольца Ньютона*. Их лучше наблюдать в отраженном свете, при этом в центре картины за счет фазового скачка при отражении образуется темное пятно

max  $2dn + \frac{\lambda}{2} = 2m \frac{\lambda}{2}$

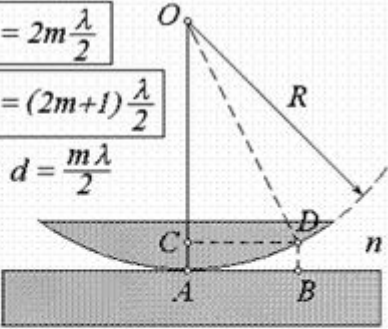
min  $2dn + \frac{\lambda}{2} = (2m+1) \frac{\lambda}{2}$

при  $n=1$   $d = \frac{m\lambda}{2}$

$OA = OD = R$   
 $CA = DB = d$   
 $AB = CD = r$

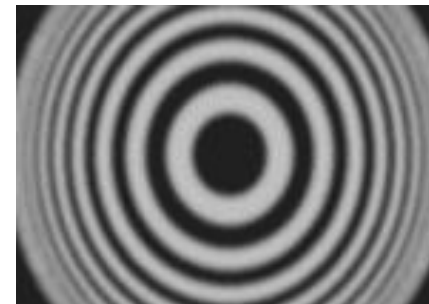
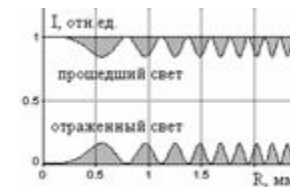
$R^2 = r_m^2 + (R - \frac{m\lambda}{2})^2$      $r_m^2 = Rm\lambda - \frac{m^2\lambda^2}{4}$

тогда, для темных колец  
 $m = 0, 1, 2, 3, \dots$



[Programm\L\\_newton\fla46.swf](#)

- Так как толщина зазора  $d$  меняется *нелинейно* (при малых толщинах можно считать функцию  $d$  от поперечной координаты *квадратичной*), то и система колец постепенно сгущается от центра к периферии
- Заметим, что в отсутствии поглощения в стекле, картины колец в отраженном и прошедшем свете являются *дополнительными*, т.е. в любой точке зазора сумма их интенсивностей постоянна и равна интенсивности падающей плоской волны

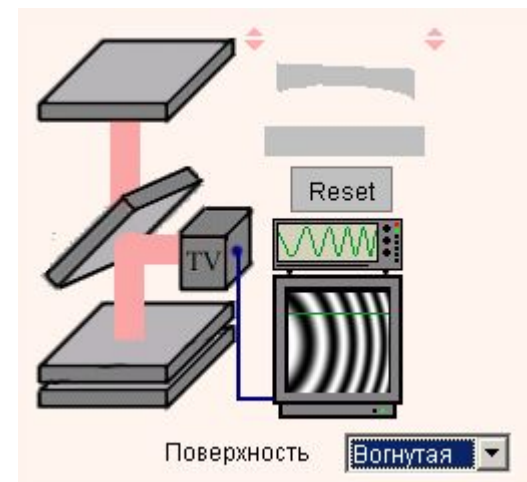




- 
- Несколько первых колец (3-4) можно наблюдать при освещении белым светом, при этом явно выражена их *хроматичность* (окрашенность), усиливающаяся к краям
  - Ширина ньютоновских колец увеличивается при возрастании длины волны освещающего излучения, а их контрастность, как обычно, возрастает при использовании средств спектральной селекции (светофильтры, дуговые лампы и т.п.)
-

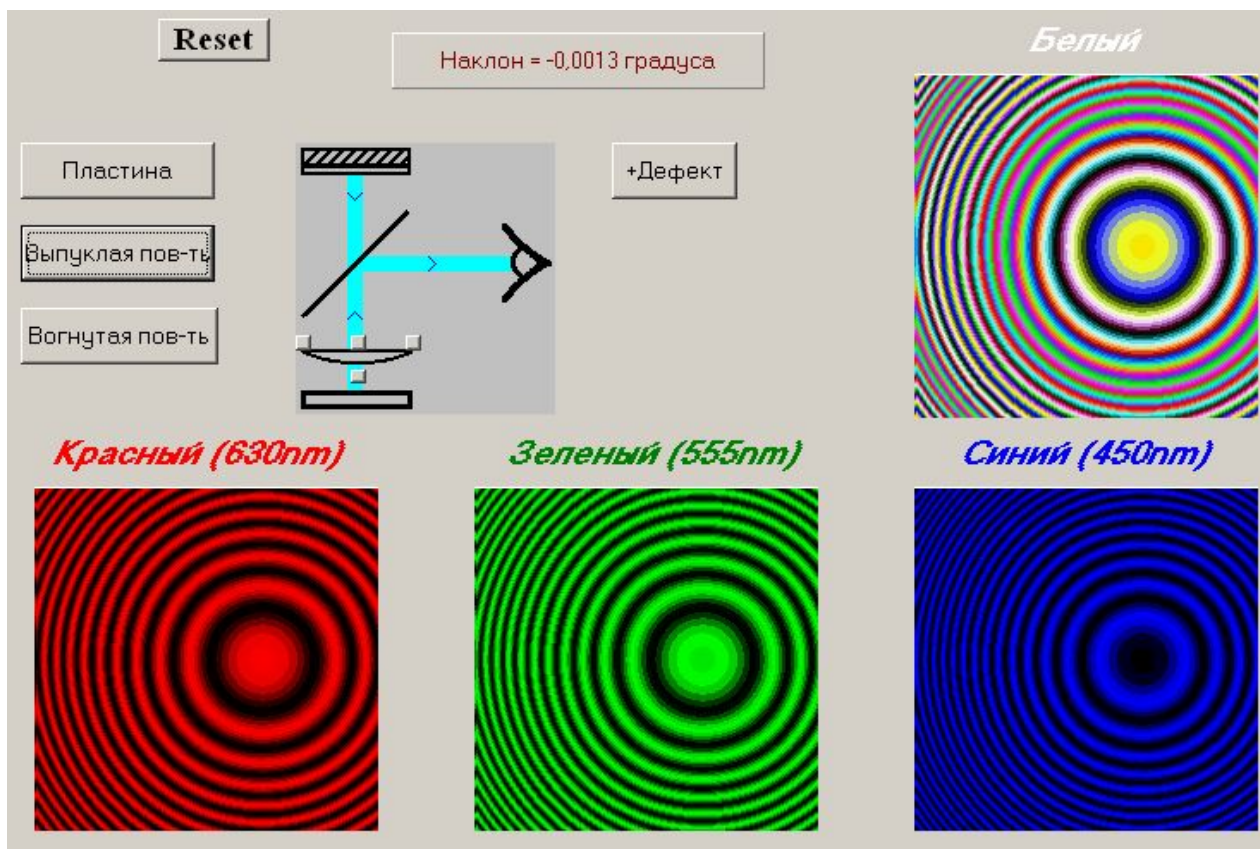
- Необходимо также знать, является ли контролируемая поверхность *выпуклой* или *вогнутой*
- Это можно установить нажатием деревянной палочкой на край верхней плоскости. Если поверхность выпуклая, центр системы полос передвигается к точке нажатия, и наоборот. При втором способе нажимают на верхнюю поверхность в центре системы полос. Если поверхность выпуклая, диаметр колец увеличивается и наоборот

## Лабораторная работа 1 [Programm/L\\_newton/nuton2.html](Programm/L_newton/nuton2.html)



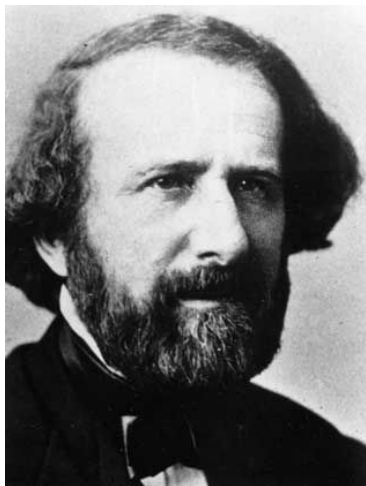
## Лабораторная работа 2

(Необходимо запустить файл nuton2pilast.exe в директории L\_newton2\Nuton2plast\ nuton2pilast.exe)



# *Интерферометр Физо*

- В 1851 году Физо поставил интерференционный измерительный эксперимент, который Майкельсон назвал одним из самых остроумных опытов, когда-либо произведенных в физике
- Решалась задача о влиянии движения среды на скорость распространения света

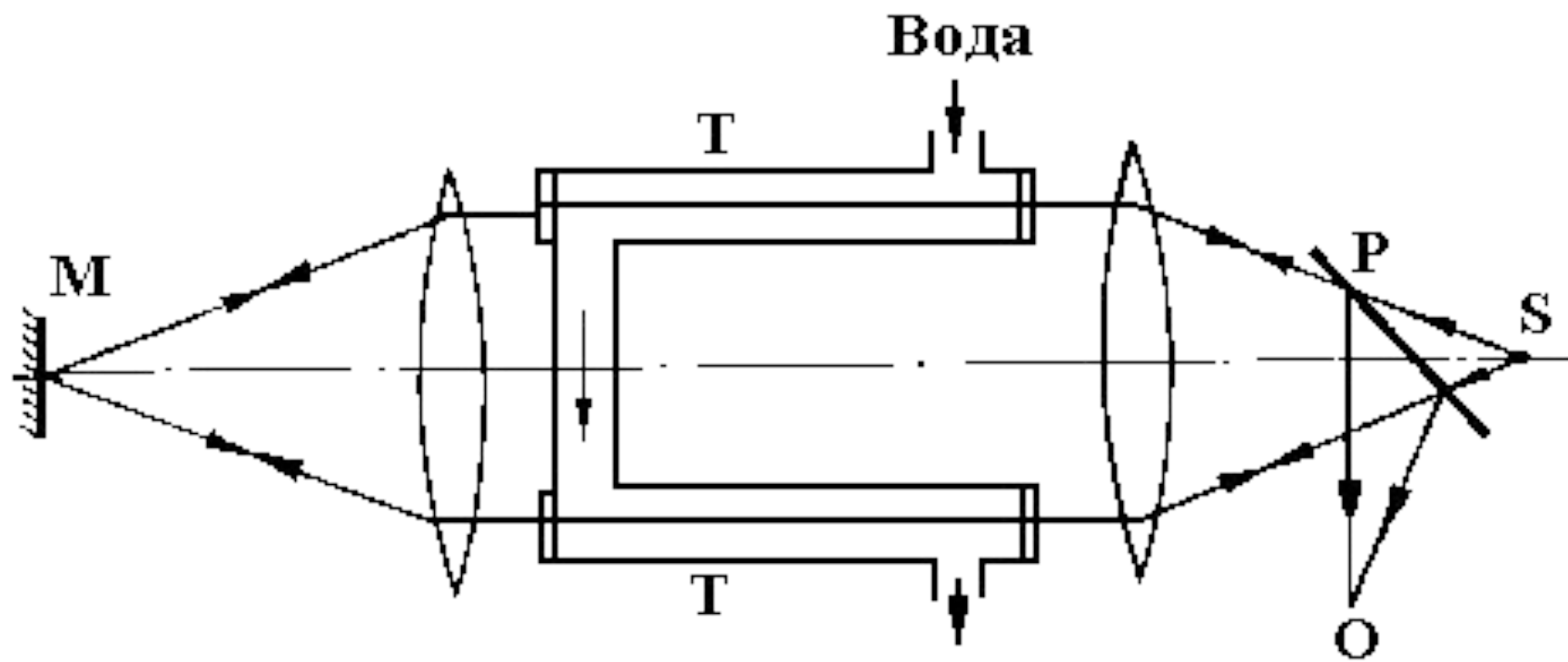


**Физо Арман Ипполит Луи**  
*Fizeau, Armand-Hippolyte-Louis*  
*(1819—1896)*  
французский физик-оптик

- Родился 23 сентября 1819 в Париже в семье профессора медицины
- Мечтая пойти по стопам отца, поступил на медицинский факультет Парижского университета. Из-за болезни был вынужден прервать учебу и уехать из столицы. Когда же он вернулся в Париж, то отказался от изучения медицины и решил заняться физикой
- Поступил в Коллеж де Франс, где прослушал курс лекций известного физика-экспериментатора В.Реньо, посещал лекции в Политехнической школе. Учился в Парижской обсерватории под руководством Ф.Араго. В 1863 стал профессором Политехнической школы в Париже

- Первым серьезным достижением Физо в оптике были опыты по интерференции света с использованием монохроматического излучения. Они были поставлены им в 1846 совместно с Фуко, однако сотрудничество ученых длилось недолго, вскоре они порознь занялись проблемой измерения скорости света в земных условиях
- В 1849 Физо поставил ставший классическим опыт по определению скорости света с помощью зубчатого колеса (метод Физо). Еще до постановки этого опыта, в 1848, Физо опубликовал теоретическую работу, в которой независимо от Доплера сформулировал идею о зависимости частоты света, воспринимаемой наблюдателем, от относительного движения источника и наблюдателя
- Первым измерил скорость света в земных условиях
- Интерес к оптике движущихся тел привел Физо к постановке опытов по исследованию распространения света в движущейся воде. Он установил влияние движения среды (воды) на скорость света (опыт Физо, 1851). Этим опытом он доказал, что свет частично увлекается средой, и это сыграло важную роль в подтверждении релятивистской формулы сложения скоростей

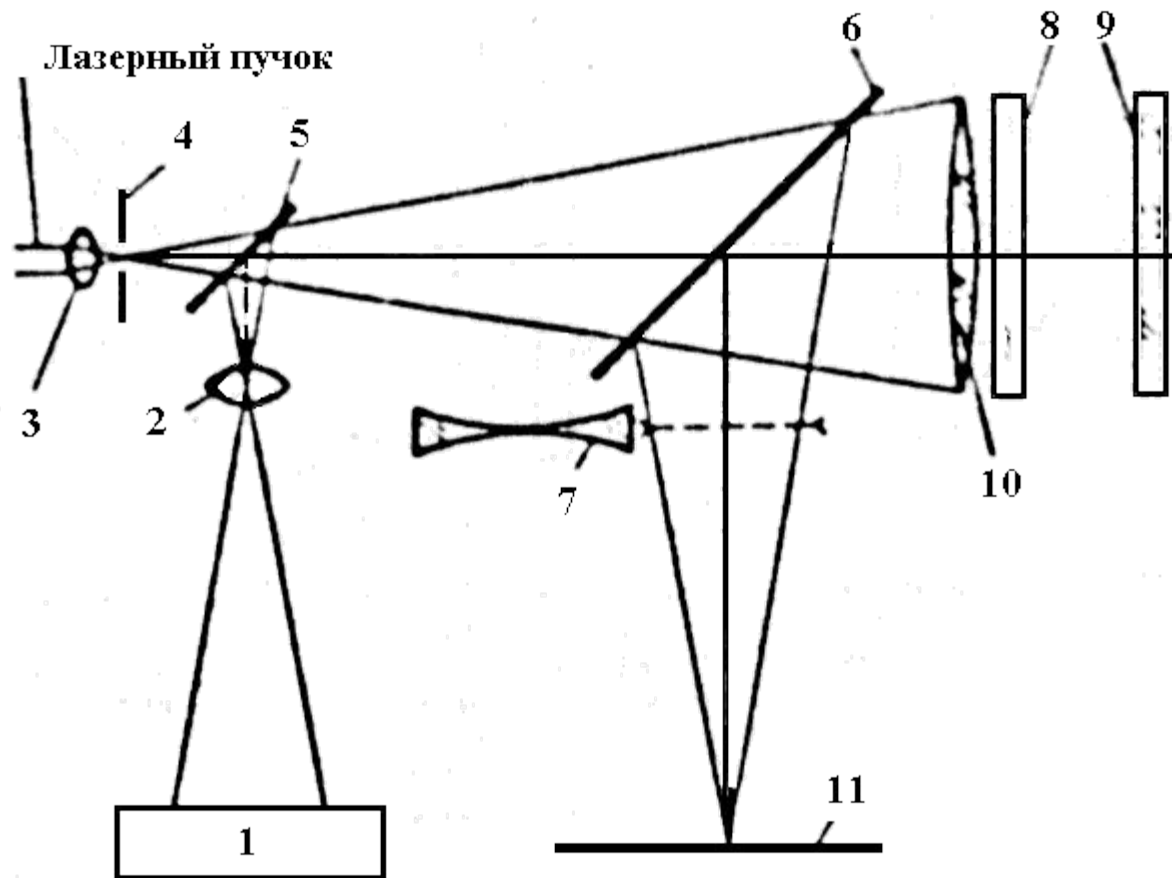
- Дал верную интерпретацию эффекта Доплера в оптике (эффект Доплера – Физо, 1848)
  - Обнаружил фраунгоферовы линии в инфракрасной части спектра (вместе с Л. Фуко, 1844-47)
  - Разработал метод наблюдения интерференции при больших разностях хода лучей (1849) и интерференционный метод измерения коэффициентов расширения твердых тел и углового диаметра звезд (1852)
  - Сконструировал много приборов: индукционную катушку, интерференционный спектроскоп, дилатометр; он также исследовал кристаллы, занимаясь фотографией
  - В 1875 Физо был избран членом Лондонского королевского общества, в 1866 награжден медалью Румфорда
-





- Свет от источника **S** проходил через две полутораметровые трубки **T**, по которым со скоростью нескольких метров в секунду пропусклась вода
  - Зеркало **M** отражало лучи так, чтобы они менялись местами, через те же трубки возвращалась назад и интерферировали в области **O**
  - Так как оба луча проходили один и тот же путь, то нестабильность его оптических характеристик не влияла на смещение интерференционных полос. Это смещение определялось только скоростью воды, поскольку один луч двигался по течению, а другой – против
  - Опыт показал, что свет частично увлекается движущейся средой. Коэффициент увлечения света движущейся средой, предложенный **Физо**, получается из релятивистской формулы сложения скоростей
-

- 
- *Интерферометр Физо* позволяет получить интерференционную картину при значительно большем воздушном зазоре, чем интерферометр Ньютона
  - При этом повышаются требования к системе освещения, поэтому в интерферометре Физо необходима коллимирующая система
  - Этот тип интерферометров наиболее часто встречается в измерительных системах для контроля оптических поверхностей
-



## Лазерный интерферометр Физо для контроля плоских поверхностей

(1. Устройство регистрации, 2. Фотообъектив, 3. Микрообъектив, 4. Пространственный фильтр (точечная диафрагма), 5,6. Светоделитель, 7. Отрицательная линза, 8. Эталонная плоскость, 9. Контролируемая плоскость, 10. Объектив коллиматора, 11. Матовый экран для наблюдения полос)

# *Интерферометр Майкельсона*

- В конце XIX - начале XX века Альберт Майкельсон в поисках "эфирного ветра" изобрел интерферометр
- В физике конца 19 века предполагалось, что свет распространяется в некоторой универсальной среде – эфире
- При этом ряд явлений, например опыт Физо, приводил к заключению, что эфир неподвижен или частично увлекается телами при их движении
- Согласно гипотезе неподвижного эфира, можно наблюдать "эфирный ветер" при движении Земли сквозь эфир, и скорость света по отношению к Земле должна зависеть от направления светового луча относительно направления ее движения в эфире

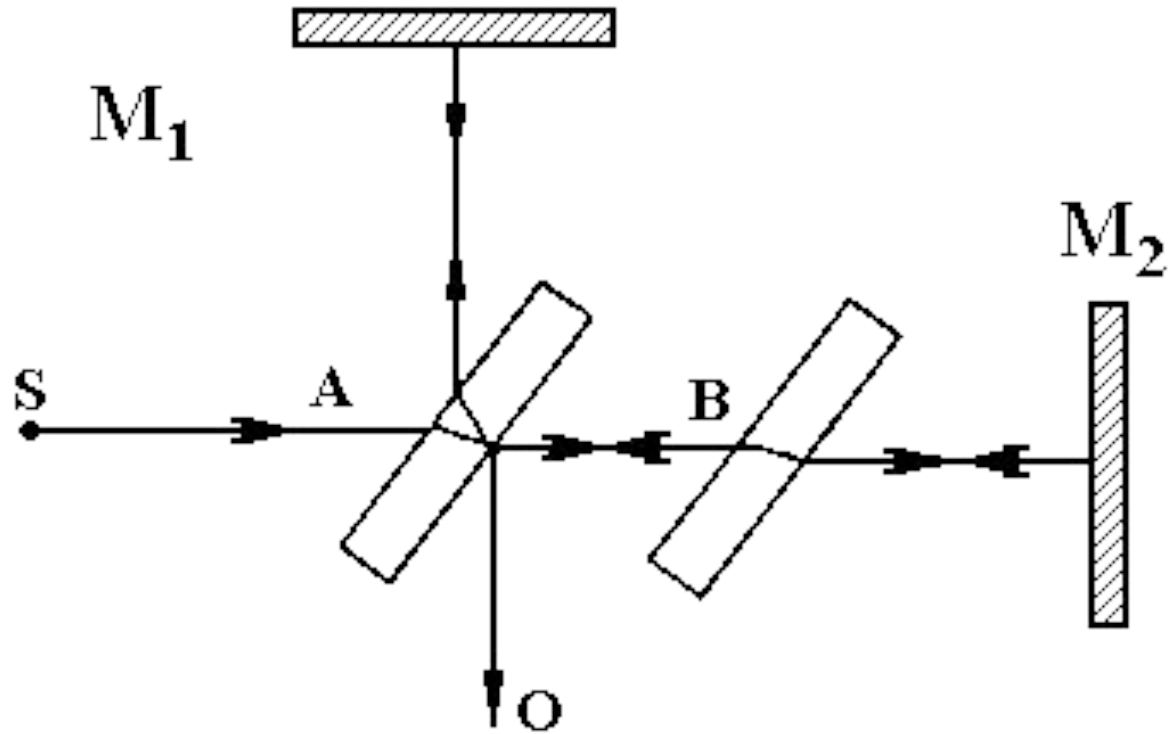


# *Майкельсон Альберт Абрахам*

*(1852—1931)*

- Майкельсон, Майкелсон (Michelson) Альберт Абрахам (19.12.1852, Стрельно, ныне Стшельно, Польша, — 9.5.1931, Пасадена, Калифорния), американский физик. В 1854 с родителями переехал в США
- В 1873 окончил Военно-морскую академию США, в 1873—81 служил на флоте и преподавал в Военно-морской академии. В 1880—82 совершенствовал свои знания в университетах Берлина, Гейдельберга, Парижа. В 1883—89 профессор Школы прикладных наук в Кливленде; в 1889—92 — университета в Вустере (Массачусетс); в 1892—1929 — университета в Чикаго. В 1923—27 президент Национальной АН США
- В 1878—82 и 1924—26 провёл измерения скорости света, долгое время остававшиеся непревзойдёнными по точности

- В 1881 экспериментально доказал и совместно с Э.У.Морли (1885—87) подтвердил независимость скорости света от скорости движения Земли, что послужило основой для отрицания существования эфира и создания специальной теории относительности, где постоянство скорости света принято как постулат
- Применил изобретённый им интерферометр, с помощью которого в 1892—93 провёл измерения спектральных линий различных элементов
- Предложил в качестве эталона длины взять длину волны красной линии кадмия. Построил спектральный прибор сверхвысокой разрешающей силы.
- создатель точных оптических приборов (интерферометр, эшелон), используемых для измерения скорости света и положения линий в спектрах
- *лауреат Нобелевской премии* (1907) за созданные им оптические приборы и проведённые с их помощью исследования
- в последние годы жизни занимался определением угловых диаметров звезд, для чего создал звездный интерферометр
- определил скорость вращения Земли (1925)
- впервые измерил диаметр звезды-гиганта Бетельгейзе (совместно с Ф. Пизом, 1926)



- Луч от источника  $S$  светоделительной пластинкой  $A$  делится пополам в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Отразившись от зеркал  $M_1$  и  $M_2$ , оба луча интерферируют в направлении  $O$
- Пластинка  $B$  вводится для того, чтобы пути обоих лучей были одинаковыми

- Если расположить интерферометр так, чтобы направление одного луча совпадает с вектором скорости вращения Земли вокруг Солнца (30 км/с), другое - перпендикулярно ему, то различное время прохождения лучей должно привести к разности хода и смещению интерференционных полос
- Если эфир неподвижен, то при повороте прибора на 90 гр. разность хода лучей должна менять знак. Результаты были отрицательными, и Майкельсон вынужден был сделать вывод, что гипотеза покоящегося эфира ошибочна
- Майкельсон также использовал этот интерферометр для определения с высокой точностью длины волны красной линии кадмия (Майкельсон А.А. Исследования по оптике. -М.-Л.: Государственное издательство, 1928)



- Если интерферометр настроен на полосы бесконечной ширины (т.е. угол между интерферирующими пучками равен нулю), то при перемещении одного из зеркал  $M_1$  или  $M_2$  вдоль оси, падающего на него пучка света, результирующая интенсивность  $I$  будет периодически меняться с изменением разности хода лучей

$$\delta = (\delta_1 - \delta_2)$$

по следующей формуле

$$I(\delta) = I_0 + I_m \cos \frac{4\pi}{\lambda} (\delta_1 - \delta_2)$$

- Переходу от светлого поля к темному соответствует изменение разности хода на  $\frac{\lambda}{2}$ , где  $\lambda$  – длина волны, падающего на интерферометр света

- Для случая смещения зеркала в пространстве, выражение для интенсивности суммарной волны может быть переписано в виде:

$$I(\Delta X) = I_0 + I_m \cos\left(2\pi \frac{2\Delta X}{\lambda} - \varphi_1\right)$$

- где  $\varphi_1$  - начальная фаза интерференции
- Регистрируя за время перемещения зеркала число  $N$  (число полных периодов изменения интенсивности), и зная значения длины волны  $\lambda$ , можно с точностью до целого числа длин волн определить  $\delta$

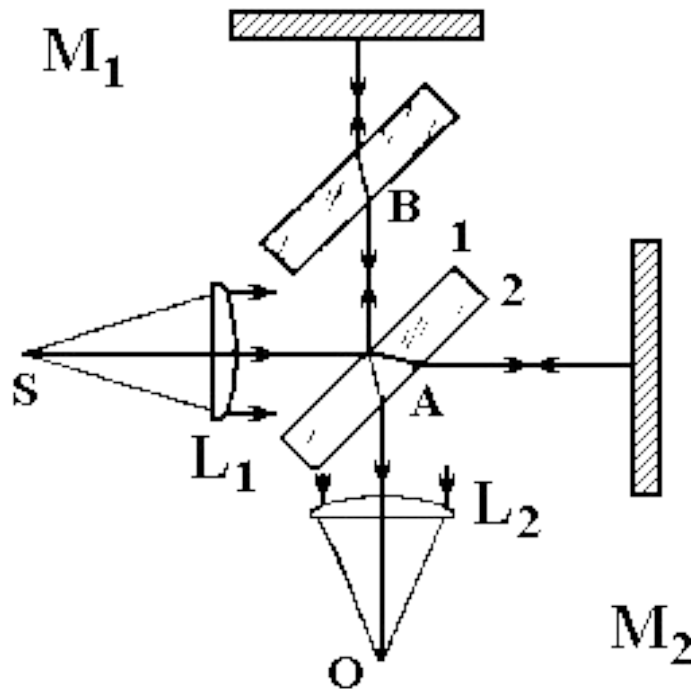
$$\delta = N\lambda$$

- И, наоборот, можно определить длину световой волны, если точно известна величина смещения  $\Delta X$  :

$$\lambda = 2\Delta X / N$$

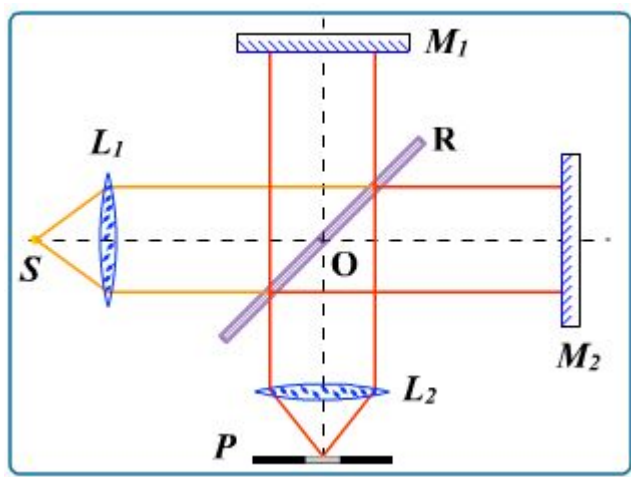
# Интерферометр Тваймана-Грина

- Интерферометр Тваймана-Грина является модификацией интерферометра Майкельсона. Он был предложен и запатентован Твайманом и Грином в 1919 г. для контроля призм и микрообъективов

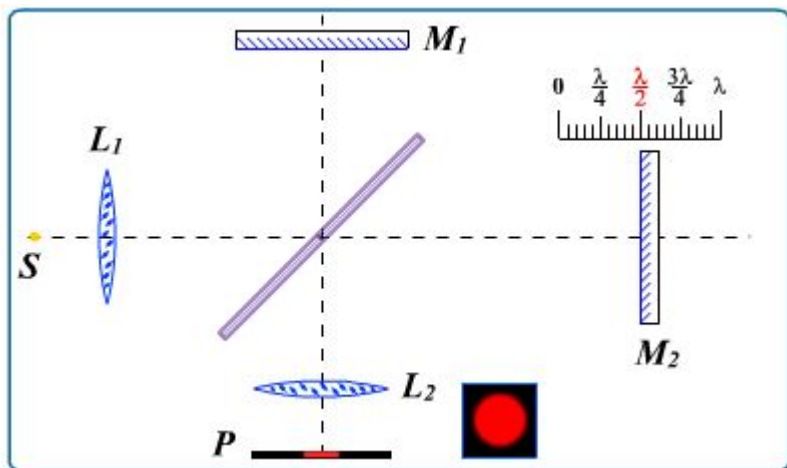


- 1 - источник света;
- 2 - компенсатор;
- 3 - глаз наблюдателя;
- M1 и M2 - зеркала;
- L1 и L2 - объективы

- Пучок света от монохроматического точечного источника света коллимируется объективом  $L_1$  для создания плоского волнового фронта, который затем разделяется светоделителем на две части
- Отразившись от зеркал  $M_1$  и  $M_2$ , лучи сходятся на полупрозрачной поверхности  $A$  и образуют две интерференционные картины
- Одна картина направляется к объективу  $L_2$ , другая возвращается к источнику света. Апертура объектива  $L_2$  такова, что интерференционная картина заполняет все поле зрения



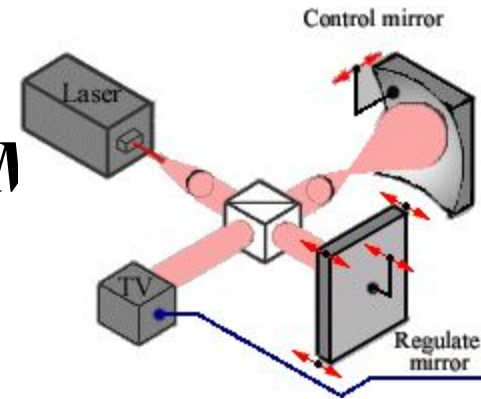
Programm\L\_tgProgramm\L  
\_tg\Programm\L\_tg\fla57.s  
wf



[Programm\L\\_tgProgramm\L\\_tg\fla5Pr  
ogramm\L\\_tg\fla58Progra  
mm\L\\_tg\fla58.swf](#)

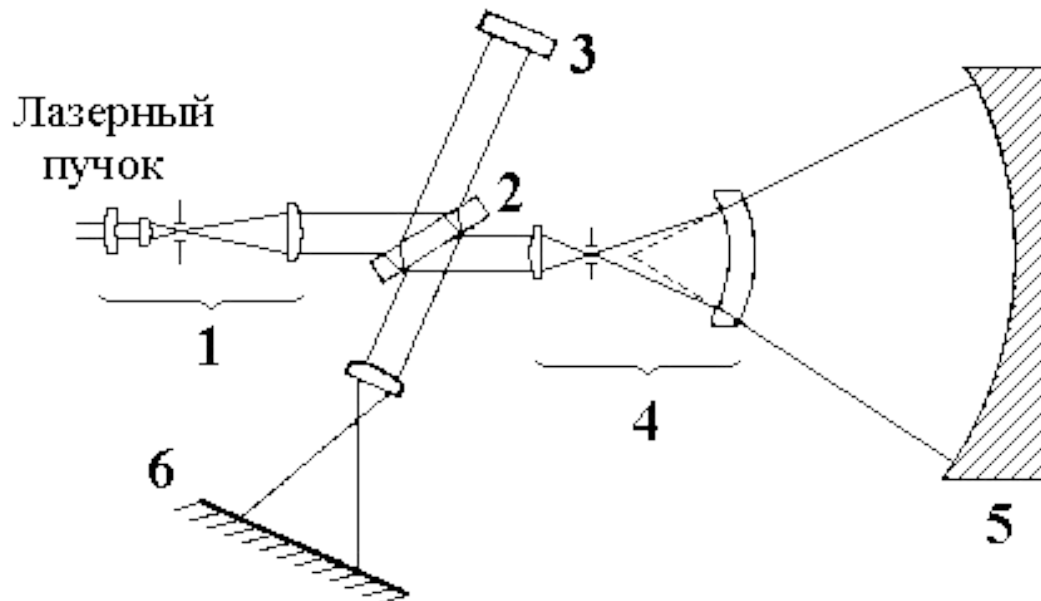
- Съюстированный равноплечий интерферометр дает равномерную засветку поля зрения в плоскости наблюдения  $P$  (бесконечная полоса нулевого порядка)
- В случае наклона одного из зеркал в поле зрения появляются полосы

# Модель интерферометра *интерферометра* Programm\L\_tg\TG.htm



- С помощью трех красных стрелок в углах опорного зеркала можно изменять угол между интерферирующими пучками. При этом на экране монитора отображается интерференционная картина, а на экране осциллографа отображается график по указанной строке
- С помощью стрелки в центре можно задавать фазовый сдвиг для всего зеркала
- Можно выбрать тип объектной плоскости: плоский, выпуклый и вогнутый
- Кнопка Reset сбрасывает состояние подвижек зеркала в начальное положение. С помощью кнопки Info можно посмотреть текущее состояние углов наклона опорного зеркала

- С появлением лазера в оптических цехах вошло в практику использование интерферометров Тваймана-Грина с большой разностью оптического хода. На рисунке изображен неравноплечий интерферометр для производственного контроля оптических деталей



**Рис. Неравноплечий интерферометр Хьюстона**

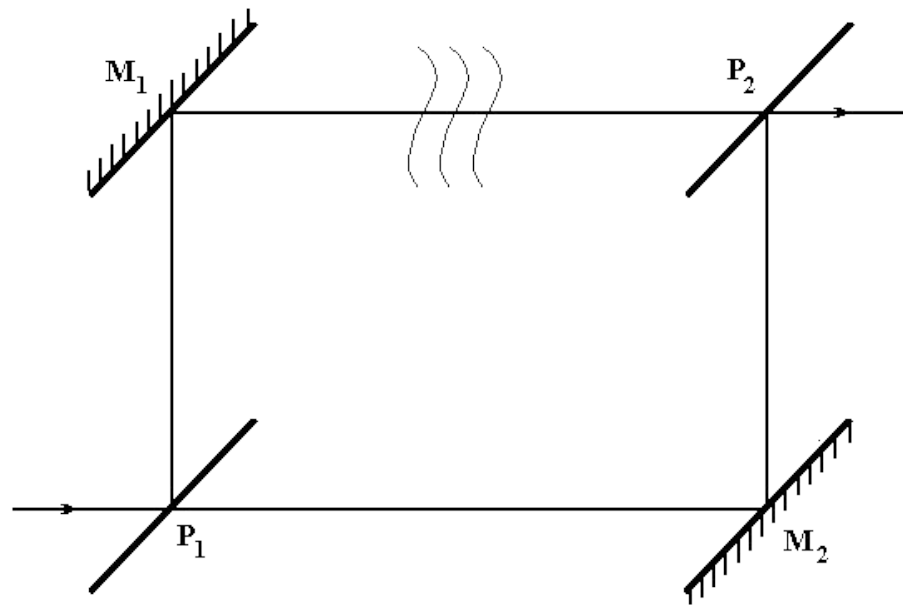
(1 - расширитель лазерного пучка; 2 - светоделитель, расположенный под углом Брюстера; 3 - регулируемое зеркало; 4 - расширитель пучка; 5 - контролируемое зеркало; 6 - экран)

- Светоделитель с углом клина  $2'-3'$  установлен под углом Брюстера. Отражающая поверхность светоделителя расположена так, чтобы воспринимать возвращающиеся лучи и устранять астигматизм и другие нежелательные эффекты
- В рабочую ветвь устанавливается двухлинзовый расширитель пучка света, изготовленный из стекла с высоким коэффициентом преломления
- Для контроля асферических поверхностей в схему добавляют коррекционную линзу



## *Интерферометры Маха-Цендера*

- Схема интерферометра с двумя светоделителями и плоскими зеркалами показана на рисунке
- Луч света разделяется пластиной **P1** на два луча, которые после отражений от зеркал **M1** и **M2** и прохождения **P2** выходит из интерферометра
- Схема, в которой зеркала **M1** и **M2** и светоделители **P1** и **P2** плоскопараллельны, называется интерферометром Маха-Цендера
- Введение в одно из плеч интерферометра прозрачного объекта полосы изменят форму, наглядно показывая распределение показателя преломления в исследуемой среде



### *Интерферометр Маха-Цендера*

- Интерферометр применяется при исследовании воздушных потоков, ударных волн при взрывах и т.п.

- Интерферометр Маха - Цендера может быть использован для измерения показателей преломления газов:  $n = 1 + m\lambda/L$ , где  $L$  - длина кюветы, а  $m$  - порядок интерференции

[Programm\L\\_max\\_cend\fla60.swf](#)

