



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА И. П. ПАВЛОВА

Кафедра физики, математики и информатики



Оптика

Авторы

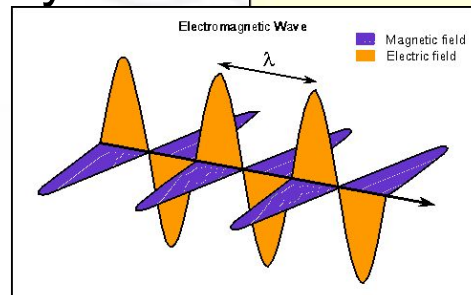
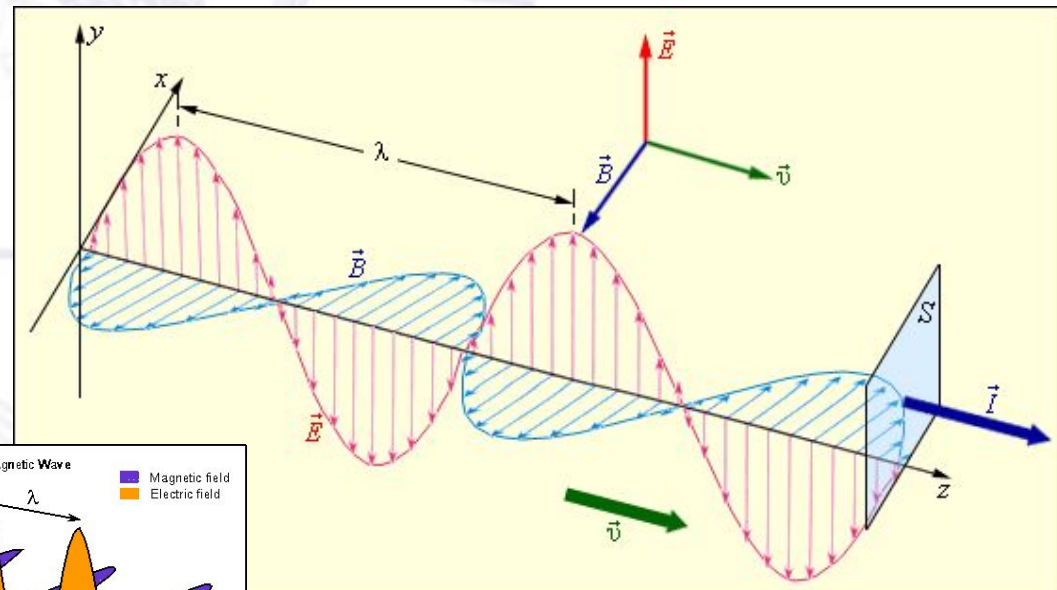
Тишков Артем Валерьевич

2016

Оптика

Оптика — это раздел физики, изучающий свойства и физическую природу света, а также его взаимодействие с веществом.

Свет — это электромагнитная волна, т.е. взаимосвязанное распространение в пространстве изменяющихся по гармоническому закону электрического и магнитного полей.





Электромагнитные волны, частоты

- Скорость света $299\,792\,458 \pm 1,2 \text{ м/с} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$



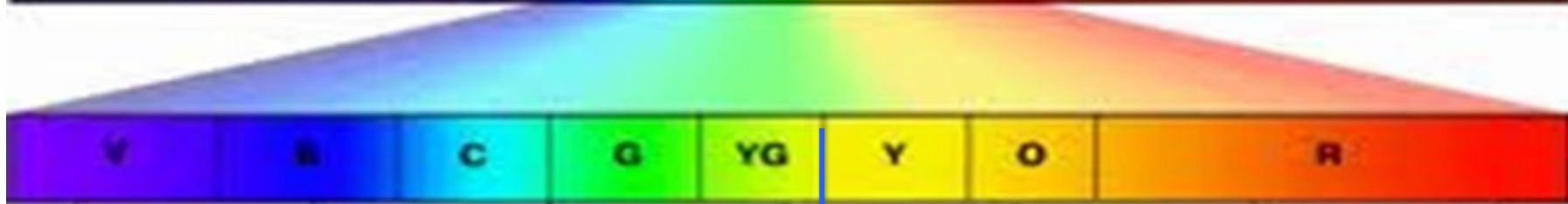


САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА И. П. ПАВЛОВА



Кафедра физики, математики и информатики

Видимый спектр



400

450

500

550

600

650

700

Коротковолновая граница
380—400 нм (750—790 ТГц)

Максимум чувствительности
глаза 555 нм (540 ТГц)

Длинноволновая граница
700—790 нм ()

длина волны, нм



Геометрическая оптика

- **Геометрическая оптика** — это раздел оптики, в котором световой луч представляется в виде прямой линии, вдоль которой распространяется энергия световой волны.
- В геометрической оптике **не учитывается волновая природа электромагнитных волн**, и связанные с ней явления интерференции и дифракции.
- Геометрическая оптика соответствует предельному случаю **малых длин волн**, т.е. $\lambda \rightarrow 0$.

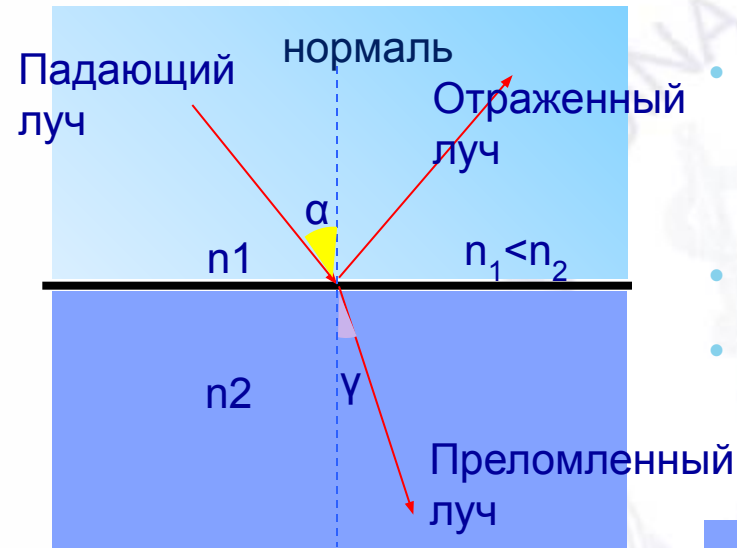


САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА И. П. ПАВЛОВА

Кафедра физики, математики и информатики

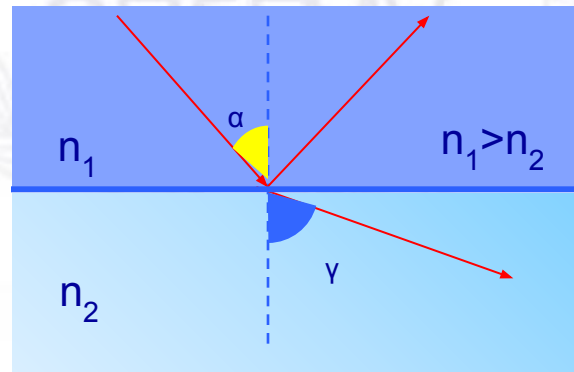


Закон отражения и преломления света



- Падающий, отраженный и преломленный лучи лежат в одной плоскости с нормалью к границе раздела в точке падения.
- Угол падения равен углу отражения.
- Углы падения и преломления связаны следующим отношением (закон Снеллиуса):

среда	n
воздух	1,0003
вода	1,33
стекло	1,4-1,6
алмаз	2,42



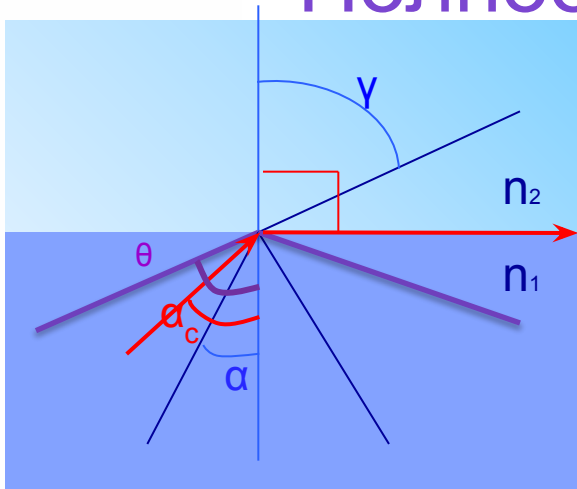
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21}$$

$$n_1 = \frac{c}{v_1} \quad n_2 = \frac{c}{v_2}$$

n – показатель преломления вещества

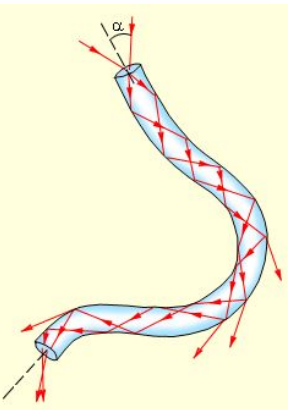


Полное внутреннее отражение

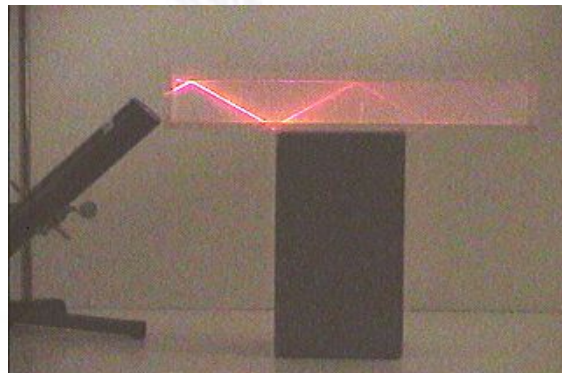


$$\alpha_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$$

Если угол падения θ больше критического α_c , то происходит полное внутреннее отражение



Световоды



Отражение лазерного луча



Отражение от нагретого воздуха



Отражение рыбы от поверхности воды



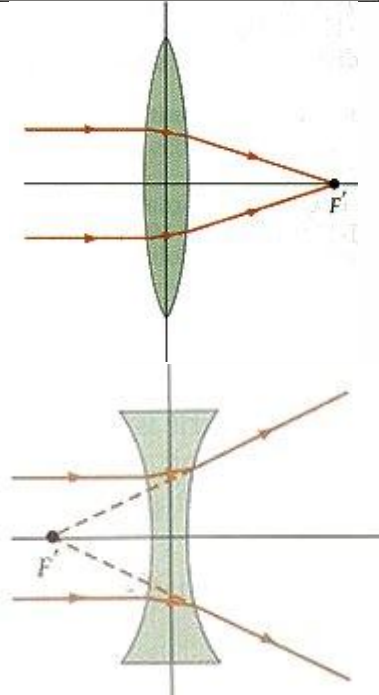
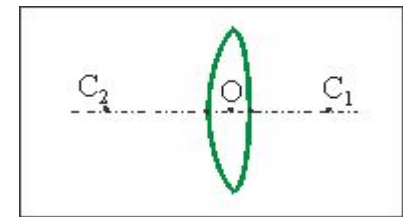
Тонкая линза

- **Тонкая линза** — в ней расстояние между поверхностями много меньше расстояния между предметом и изображением
- В зависимости от выпуклости/вогнутости преломляющей поверхности, линзы могут быть **собирающими** и **рассеивающими**.
- Собирающая линза может создать действительное изображение, рассеивающая — только мнимое.
- Ход лучей в линзе обратим



Линза. Основные точки и линии 1/2

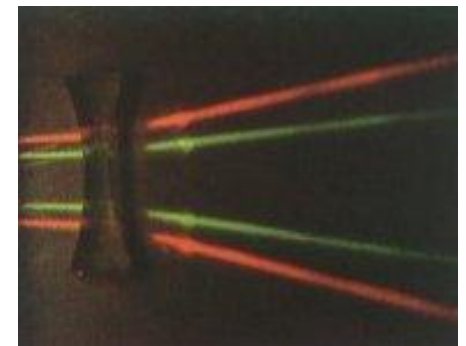
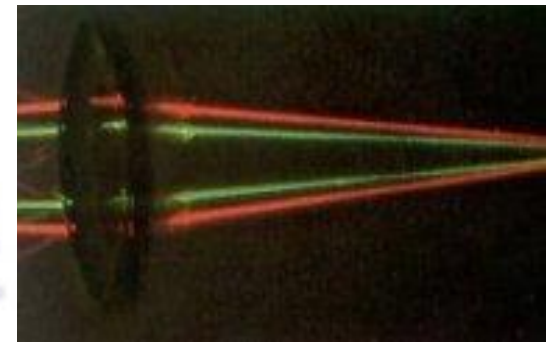
- **Главная оптическая ось** — прямая, проходящая через центры кривизны (ц.к. — центр соприкасающейся окружности — наилучшего приближения кривой в данной точке)
- **Оптический центр** — центральная точка O , через которую лучи проходят, не изменяя направление
- **Фокус** (F) — точка на главной оптической оси, в которой пересекаются после преломления лучи (или их продолжения), падающие на линзу параллельно главной оптической оси. У линзы два фокуса: передний, со стороны объекта, и задний, со стороны, противоположной объекту.





Линза. Основные точки и линии 2/2

- **Фокусное расстояние** F — расстояние от оптического центра (точка O) до фокуса. У собирающей линзы $F > 0$, у рассеивающей $F < 0$.
- **Фокальная плоскость** — плоскость, проходящая через главный фокус линзы перпендикулярно оптической оси.
- **Оптическая сила** — величина, обратная фокусному расстоянию: $D = 1/F$

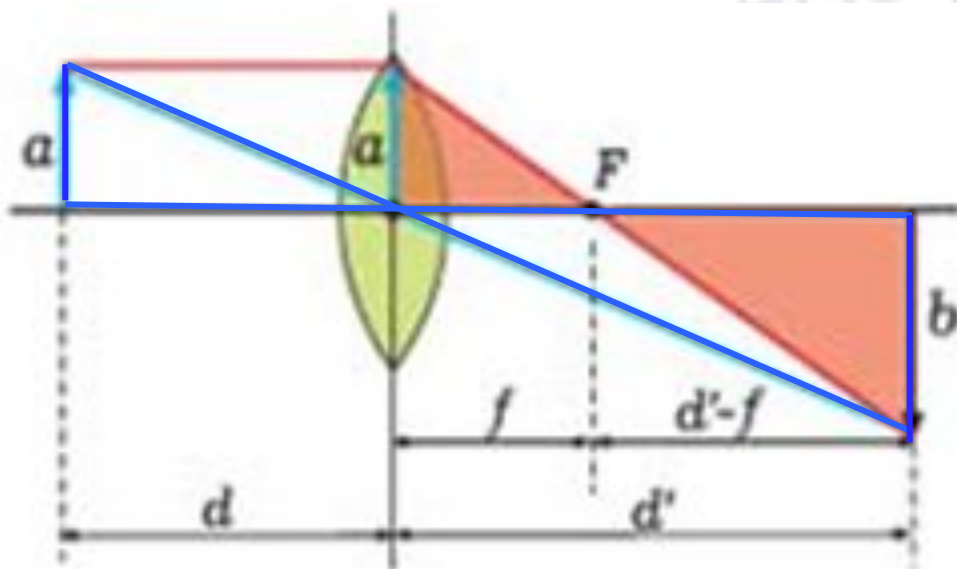


$$D = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

где R_1 и R_2 — радиусы кривизны поверхностей, n — показатель преломления материала линзы
1 Диоптрия = 1 м^{-1} (внесистемная единица)



Формула линзы, вывод



$$\Gamma = \frac{a}{b} \quad \text{Линейное увеличение линзы}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{d}{d'} \quad \frac{a}{b} = \frac{f}{d'-f}$$

$$d'f = dd' - df \quad \boxed{\frac{1}{f} = \frac{1}{d} + \frac{1}{d'}} = D$$

Формула тонкой линзы

Оптическая сила двух *тонких* линз $D = D_1 + D_2 - sD_1D_2$, где s – расстояние между центрами.

Оптическая сила системы (плотно прилегающих) линз равна суммарной оптической силе составляющих ее линз

Недостроенный 37-этажный бизнес-центр стал главной знаменитостью Лондона последней недели. Отражая в своих стеклянных стенах солнце, он вдруг начал плавить самые разные предметы на соседней улице: машины, велосипеды, мебель в кафе напротив. Поначалу здание получило прозвище «Walkie-talkie» («Рация»), за свою форму. Теперь же небоскреб называют не иначе как «Walkie Scorchie» (от англ. scorch – «подпаливать»)

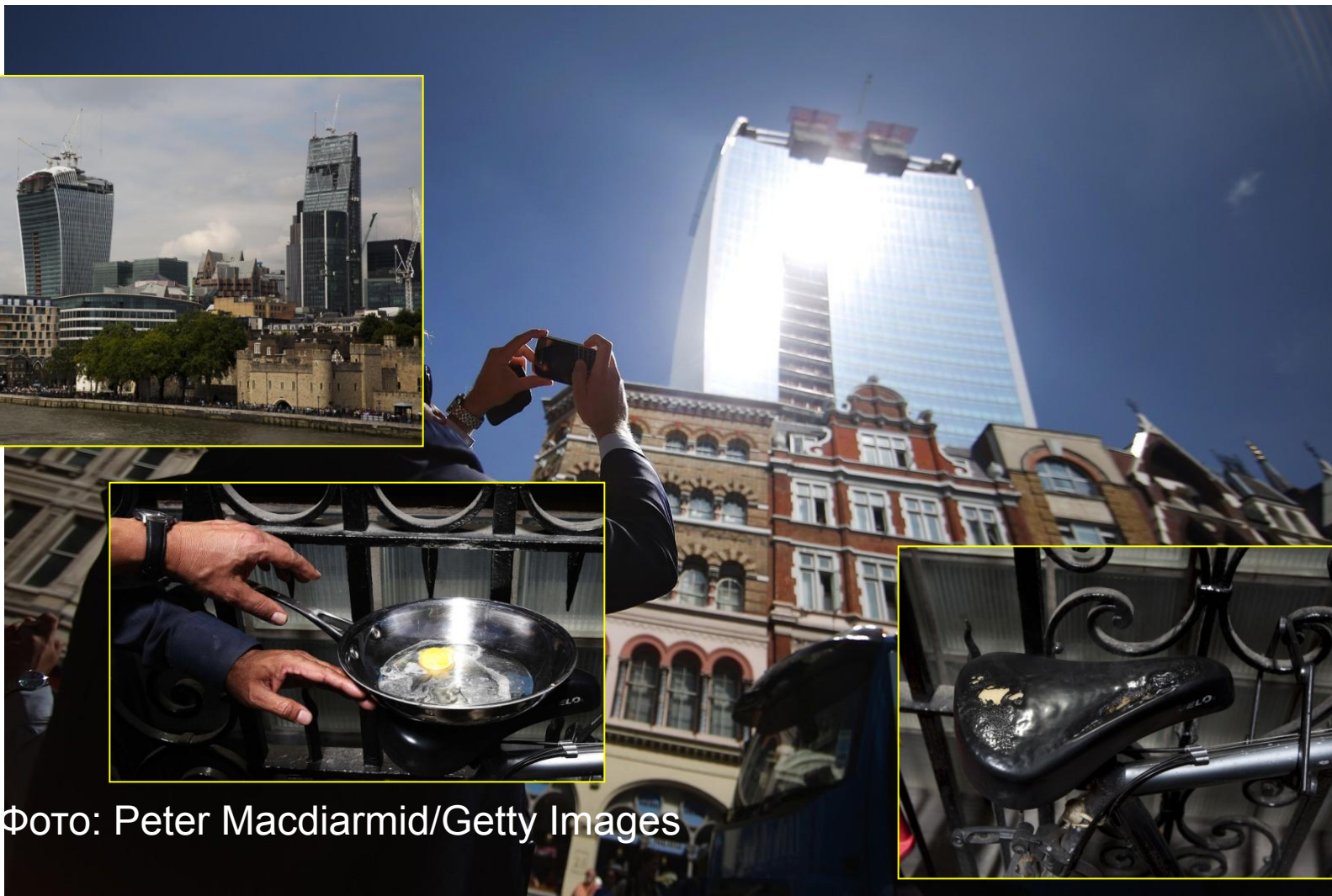


Фото: Peter Macdiarmid/Getty Images



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА И. П. ПАВЛОВА

Кафедра физики, математики и информатики



Walkie-Talkie сегодня





САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА И. П. ПАВЛОВА

Кафедра физики, математики и информатики



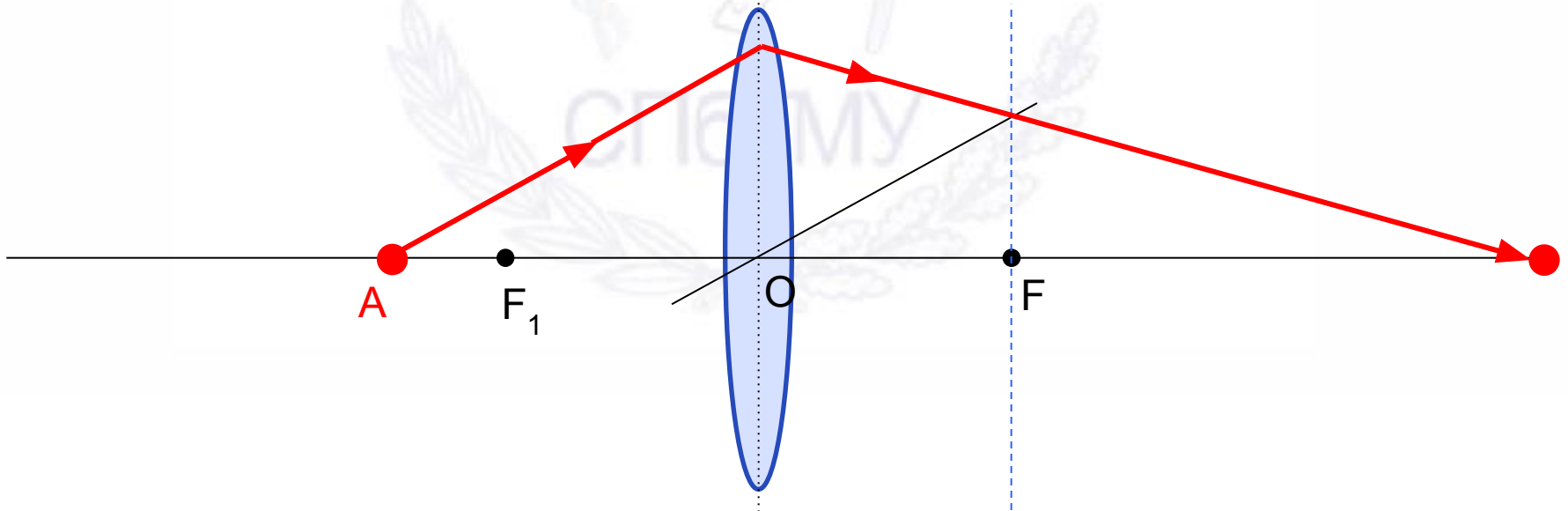
Parabolic trough solar thermal electric power plant located at Kramer Junction in California





Ход лучей в линзе

- Лучи, параллельные главной оптической оси, пересекаются в фокусе.
- Лучи, проходящие через оптический центр линзы, не преломляются.
- Параллельные лучи, один из которых проходит через центр линзы, пересекаются в фокальной плоскости.



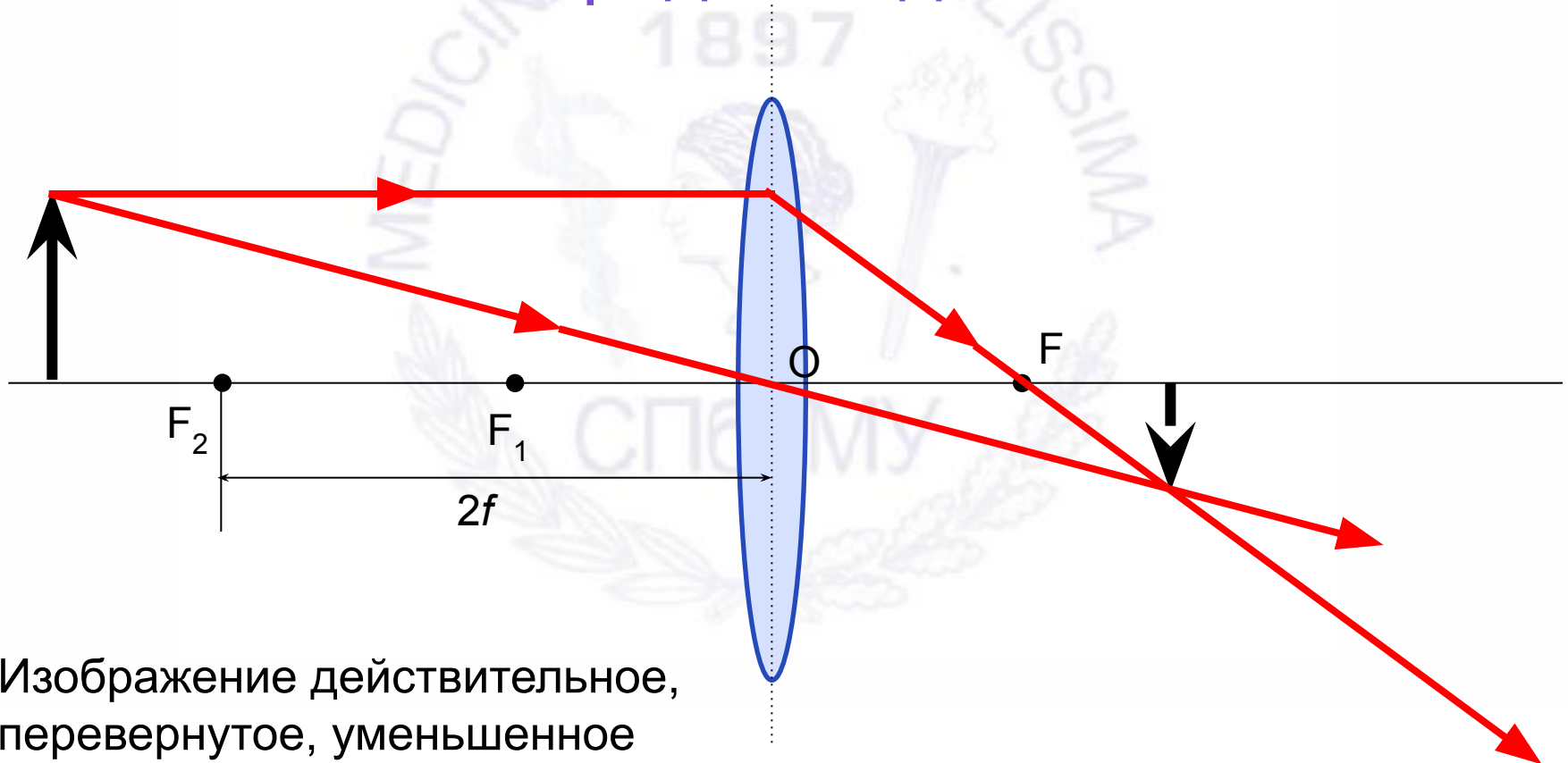


САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА И. П. ПАВЛОВА

Кафедра физики, математики и информатики



Построение изображения в собирающей линзе Расстояние от предмета до линзы более $2f$



Изображение действительное,
перевернутое, уменьшенное

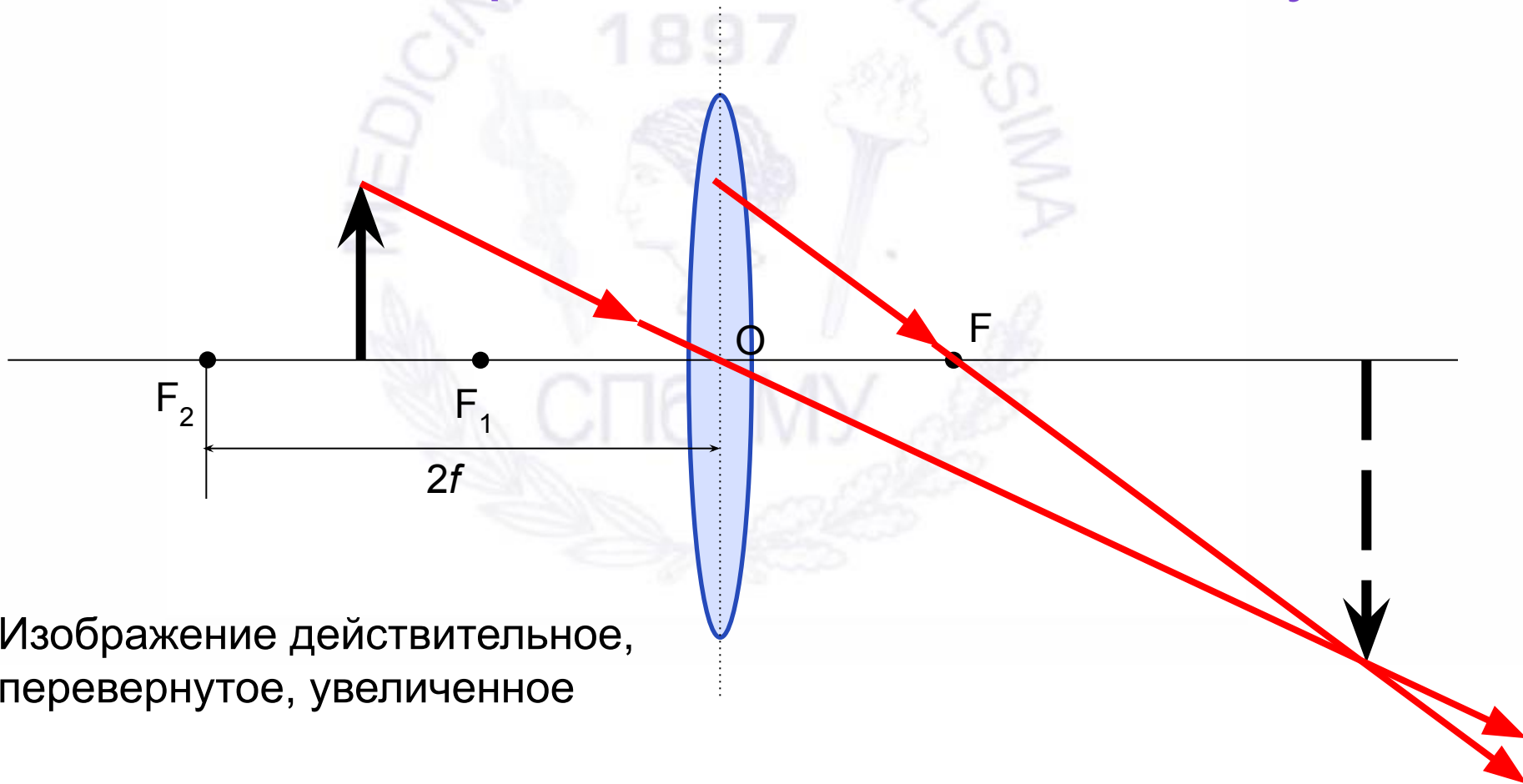


САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА И. П. ПАВЛОВА

Кафедра физики, математики и информатики



Построение изображения в собирающей линзе Расстояние от предмета до линзы между f и $2f$



Изображение действительное,
перевернутое, увеличенное



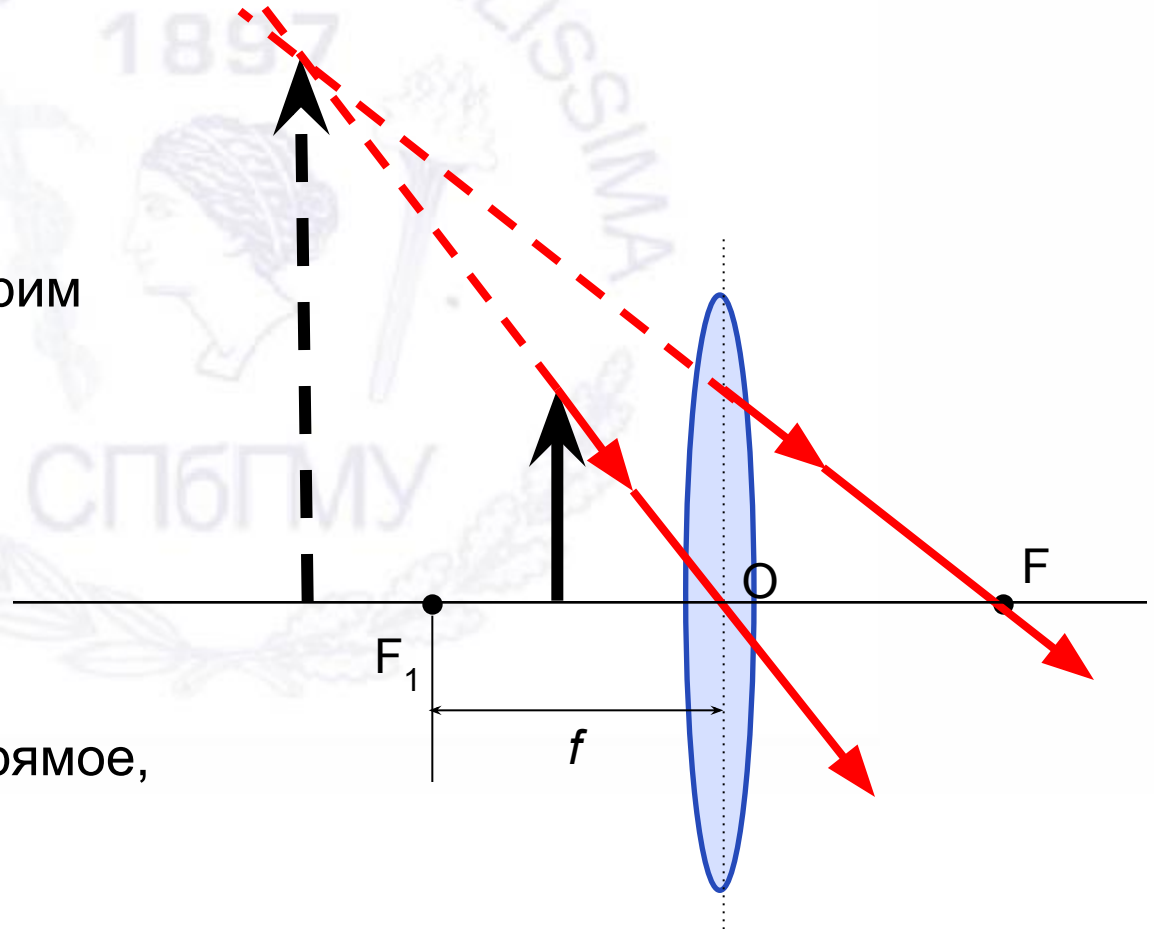
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА И. П. ПАВЛОВА

Кафедра физики, математики и информатики



Построение изображения в собирающей линзе Расстояние от предмета до линзы меньше f

Так мы видим когда смотрим
через лупу



Изображение мнимое, прямое,
увеличенное



Аберрации линз

- **Аберрация** линзы – (aberratio (лат) уклонение) погрешность, неточность изображения, даваемого линзой
- **Параксиальные** лучи – это лучи, составляющие небольшие углы с главной осью линзы.

Рассматривая в общем случае и непараксиальные лучи, а также разные углы преломления для лучей света разных длин волн (дисперсия), получим, что точка предмета не всегда дает точечное изображение, что является причиной аберраций.



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА И. П. ПАВЛОВА

Кафедра физики, математики и информатики



Виды аберраций

- **Монохроматические** – вызываемые широкими световыми пучками и наклоном пучка к оптической оси.
Сферическая аберрация, Кома, Астигматизм, Дисторсия
- **Хроматические** – вызываемые волновой природой света и, как следствие, явлениями дисперсии и дифракции.
Хроматизм положения, Хроматизм увеличения



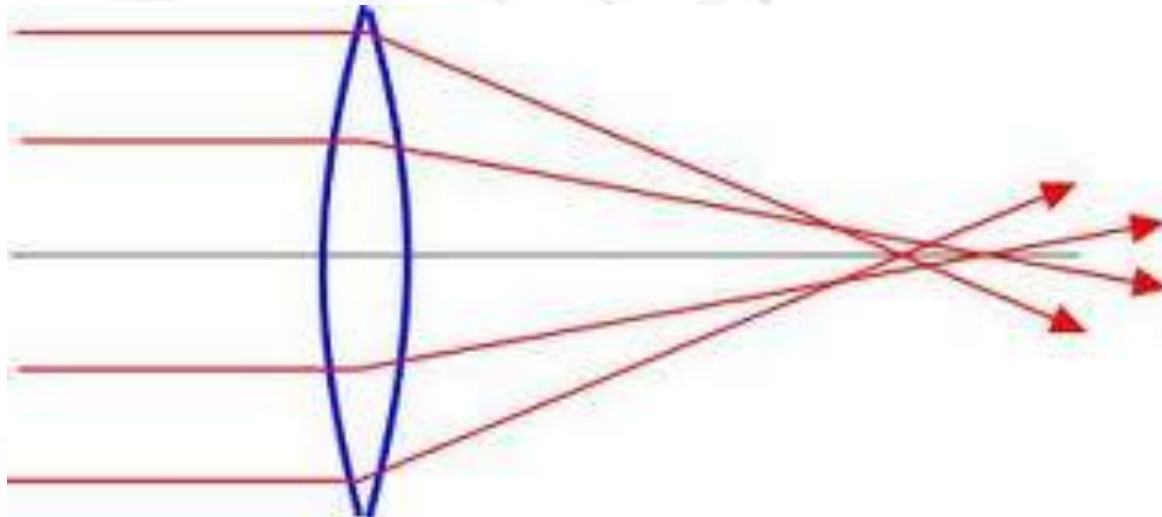
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА И. П. ПАВЛОВА

Кафедра физики, математики и информатики

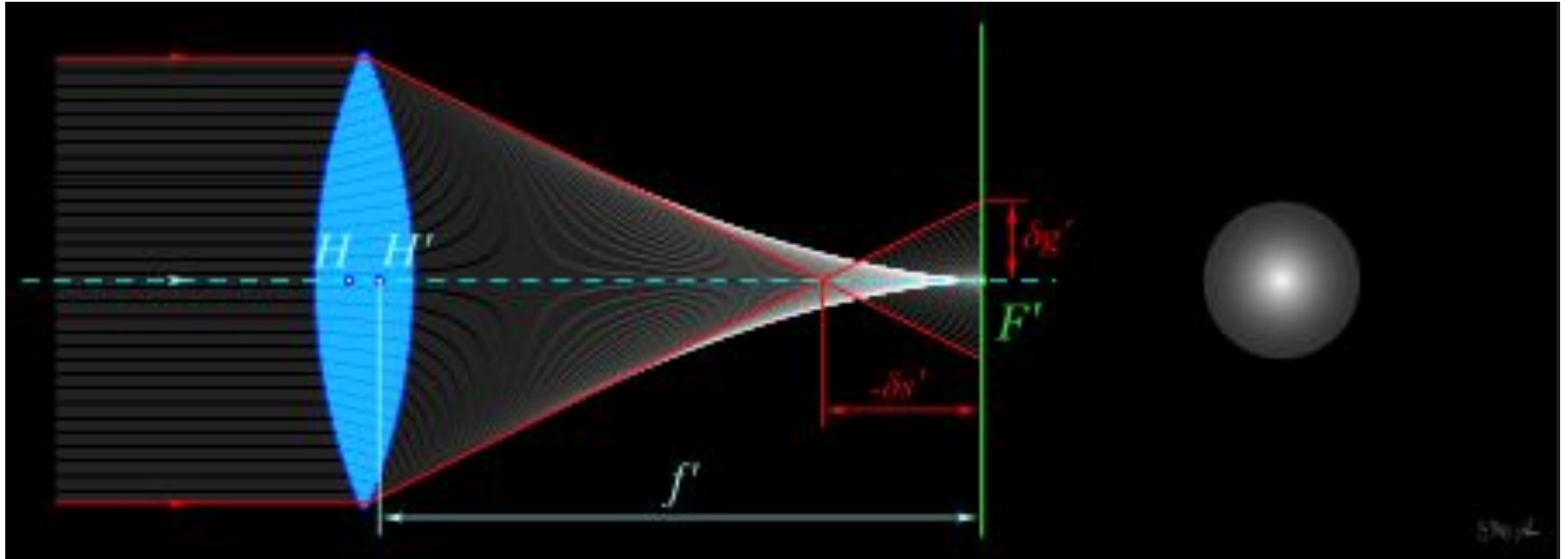


Сферическая абберрация

- Периферические части линзы преломляют сильнее, чем центральные. Изображение точки получается в виде размытого пятна. Изображение предмета размыто.

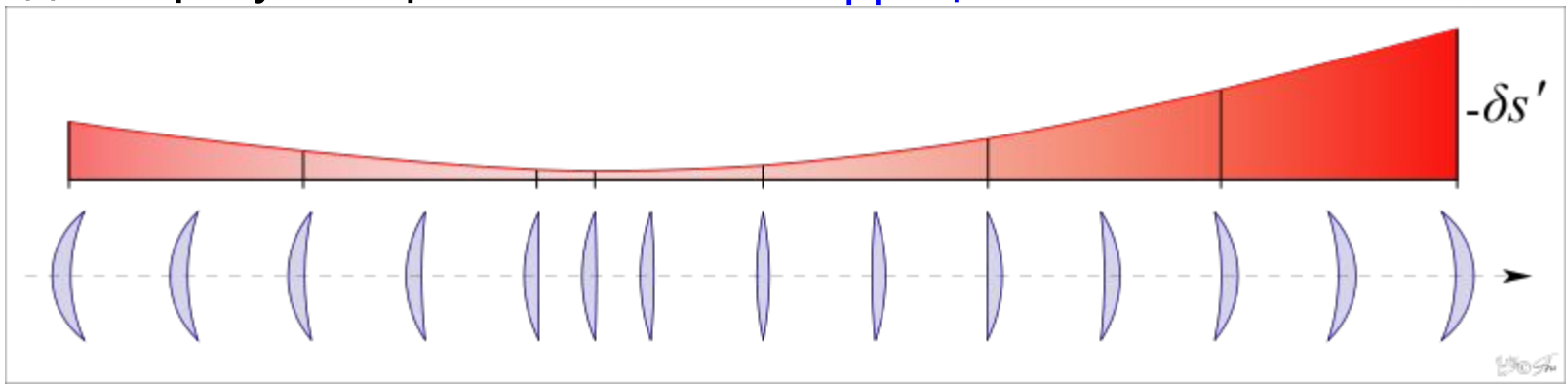


Сферическая абберрация



H, H' — положения главных плоскостей;
 F' — задняя фокальная плоскость;
 f' — заднее фокусное расстояние;

$-\delta s'$ — продольная сферическая абберация;
 $\delta g'$ — поперечная сферическая абберация.



Диафрагмирование

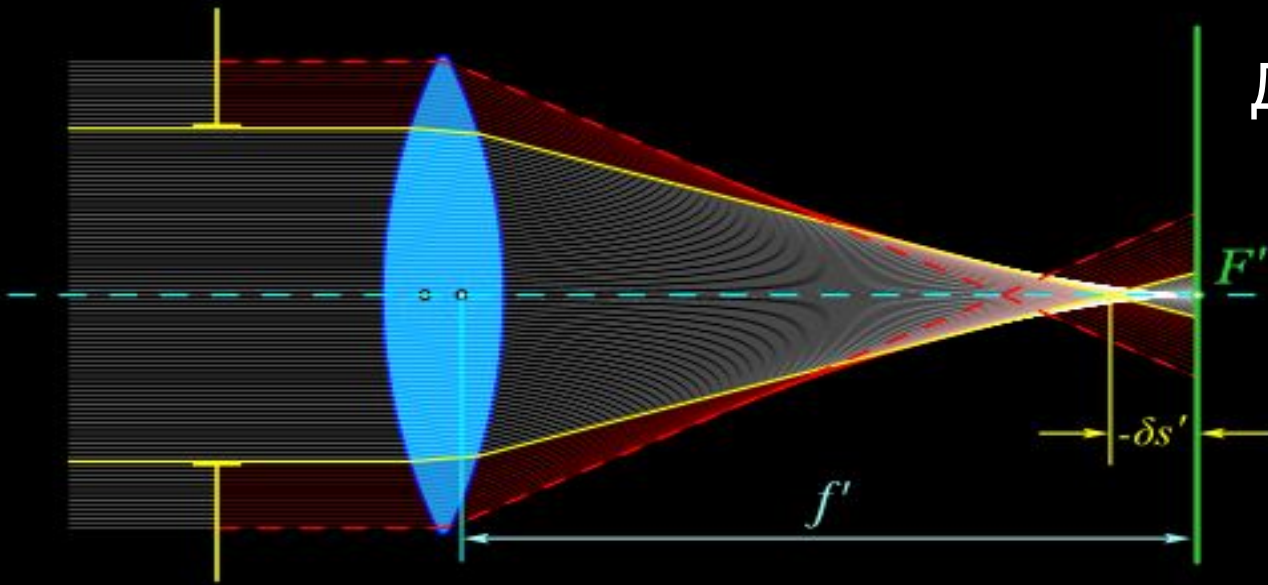


Fig. 1



Дефокусировка

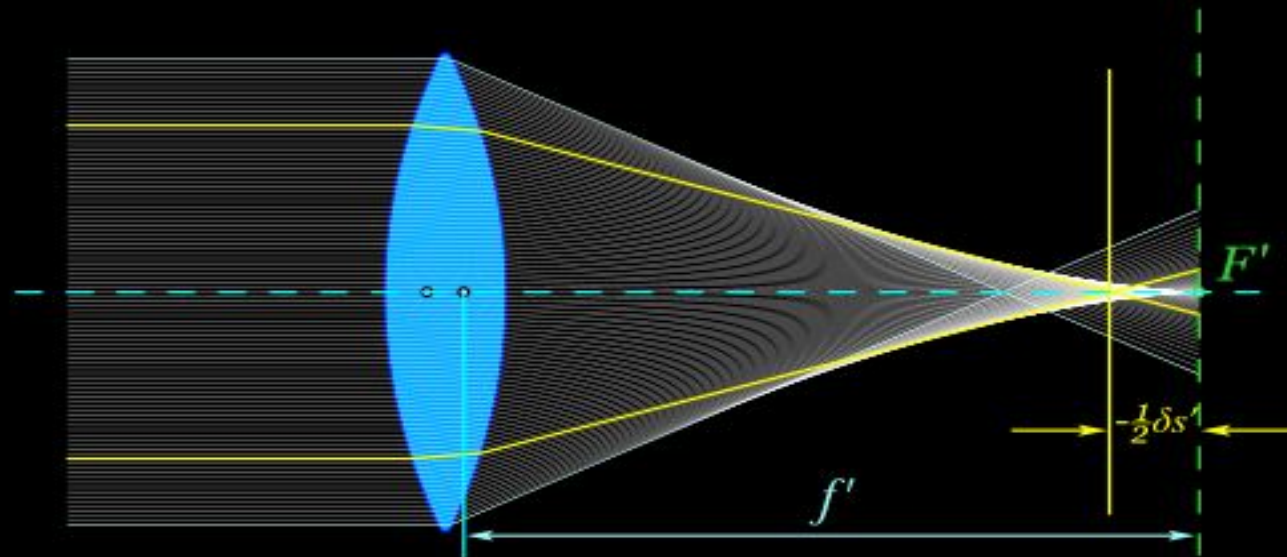


Fig. 2



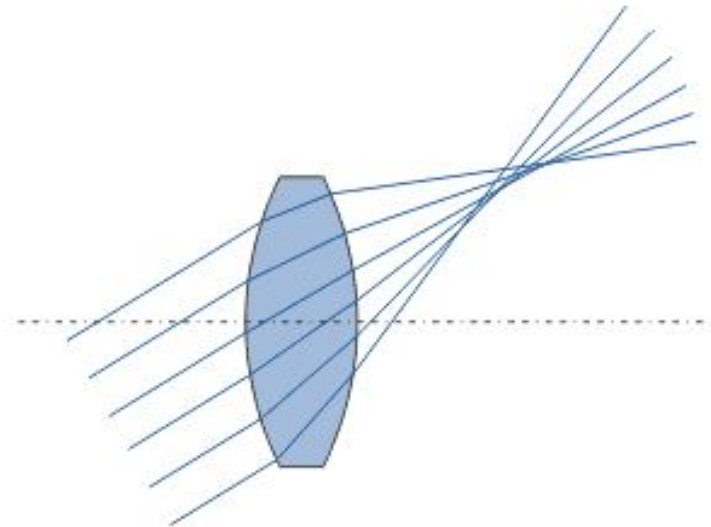


САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА И. П. ПАВЛОВА

Кафедра физики, математики и информатики

Кома

- Коматическая абберация** - это частный случай сферической абберации для боковых лучей. Лучи, приходящие под углом к оптической оси не собираются в одной точке, а дают изображение в виде «летающей кометы»

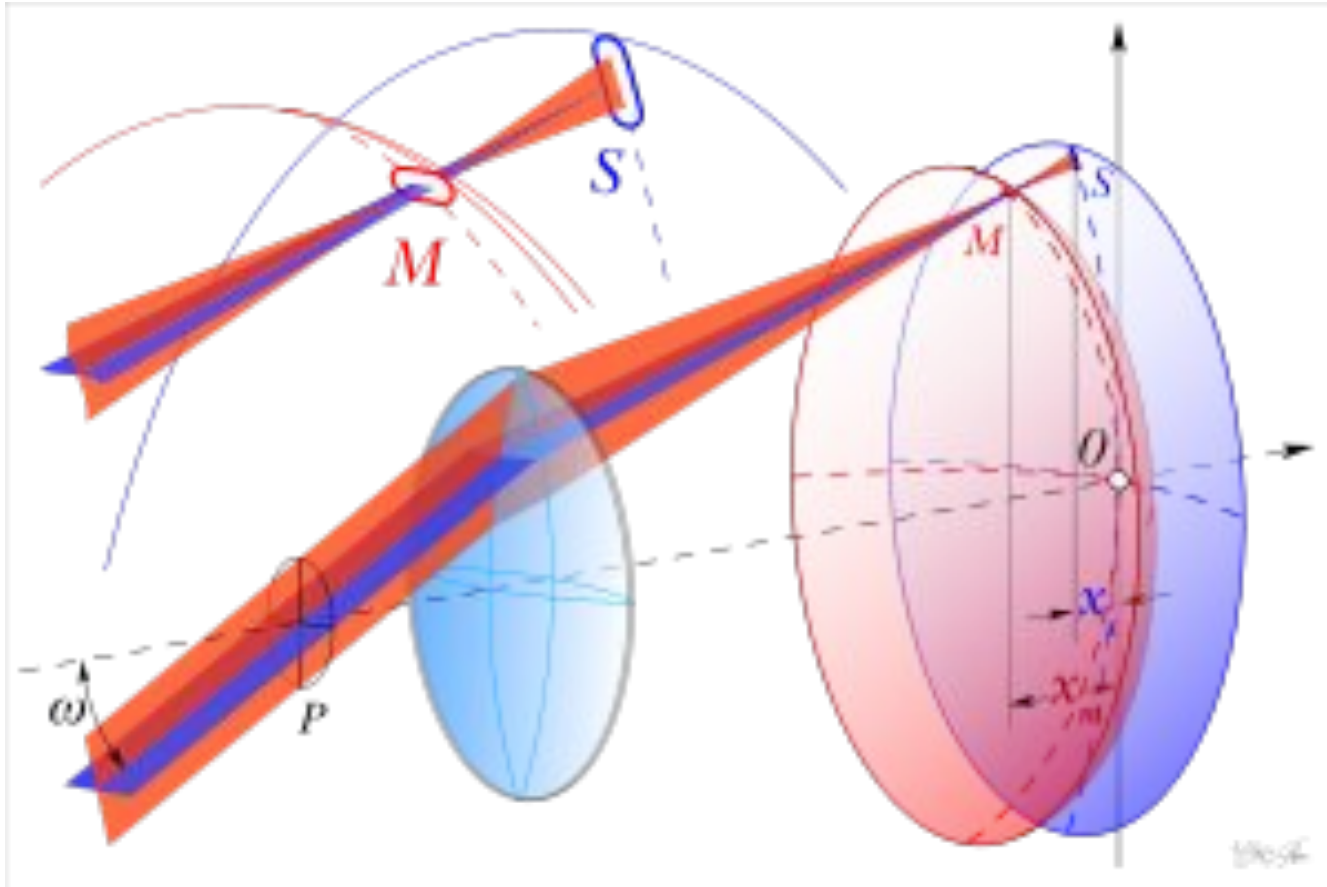




Астигматизм

- **Астигматизм** — это аберрация, при которой изображение точки, находящейся вне оси, и образуемое узким пучком лучей, представляет собой **два отрезка** прямой, расположенные перпендикулярно друг другу на разных расстояниях от плоскости безаберрационного фокуса.
- Астигматизм возникает вследствие того, что лучи наклонного пучка имеют различные точки сходимости — точки меридионального (тангенциального) или сагиттального фокусов бесконечно тонкого наклонного пучка.
- **Меридиональная плоскость** – любая, содержащая главную оптическую ось. **Сагиттальная** – плоскость, перпендикулярная меридиональной

Астигматизм



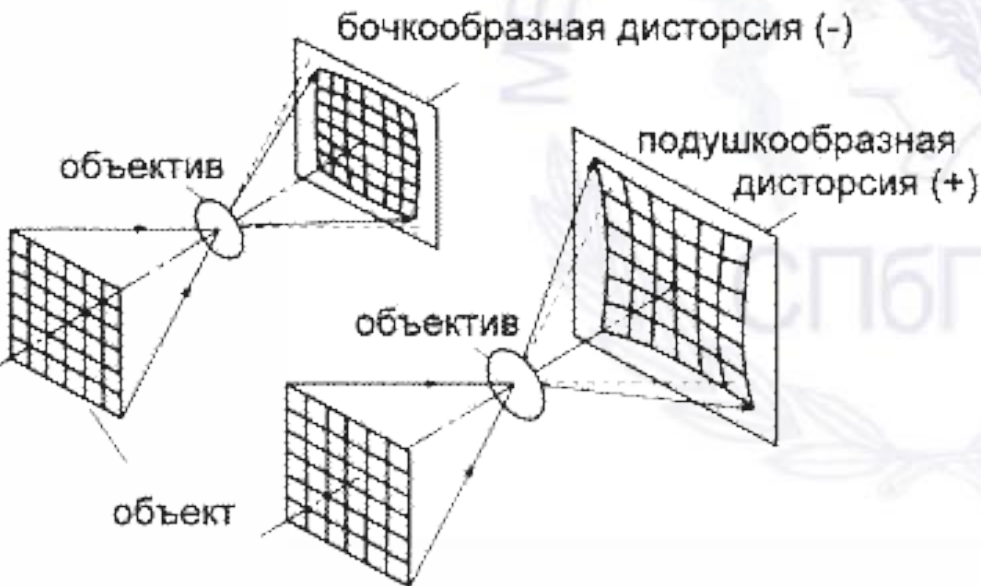
Если меридиональные фокусы располагаются ближе к поверхности преломления, нежели сагиттальные, то говорят о **положительном астигматизме**, а если дальше, то об **отрицательном**.

Астигматизм исправляется сложной системой линз



Дисторсия

Дисторсия – различное линейное увеличение, которое дает линза для точек предмета, находящихся на различном расстоянии от главной оптической оси.





САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА И. П. ПАВЛОВА

Кафедра физики, математики и информатики

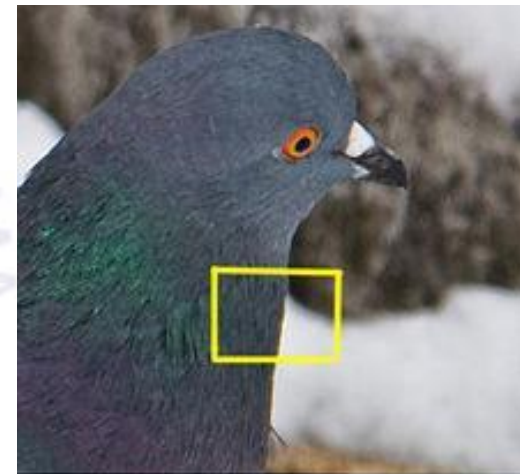


Хроматическая аберрация

Хроматические аберрации проявляются в образовании цветной каймы у изображения. Предметы размыты и окрашены из-за дисперсии света.

Делятся на:

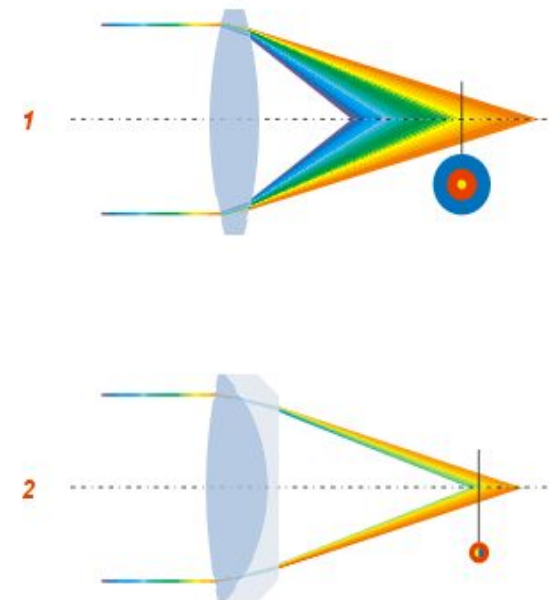
- Аберрации **положения**
- Аберрации **увеличения**





Хроматизм положения и увеличения

- Синий луч преломляется сильнее красного, поэтому получаем дисперсию. Разность фокусных расстояний этих лучей называется **хроматизмом положения**.
- Исправляется системой линз, компенсирующих дисперсию.
- Лучи разных цветов дают изображение разного размера – **хроматизм увеличения**.
- Оптические системы с исправленной геометрической и хроматической aberrацией называются **ахроматами**.





Понятие об идеальной центрированной оптической системе 1/3

- **Центрированными** называют системы линз, центры которых лежат на одной оптической оси.
- Оптическая система **идеальна**, если каждой точке или линии предмета соответствует точка или линия изображения. Соответствующие пары точек и линий называются **сопряженными**.
- Понятия **фокуса** и **фокальной плоскости** аналогичны соответствующим понятиям для линзы.
- Две сопряженные **плоскости**, перпендикулярные оптической оси, линейное увеличение для которых равно единице, называются **главными**. Точки пересечения главных плоскостей с оптической осью также **главные**.

Понятие об идеальной центрированной оптической системе 2/3

- Расстояния между фокусами и соответствующими главными точками называются **фокусными расстояниями**.
- Главные точки и фокусы называют **кардинальными точками**, а соответствующие плоскости – **кардинальными плоскостями**.
- **Узловые точки** – это такие сопряженные точки, что луч, проходящий через переднюю узловую точку и образующий с осью угол α , после преломления проходит через заднюю узловую точку и образует с осью тот же угол α .
- Если значения показателей преломления сред по обе стороны оптической системы одинаковы, то узловые точки совпадают с главными.
- Таким образом, оптическая система характеризуется **шестью** кардинальными точками и **шестью** кардинальными плоскостями.