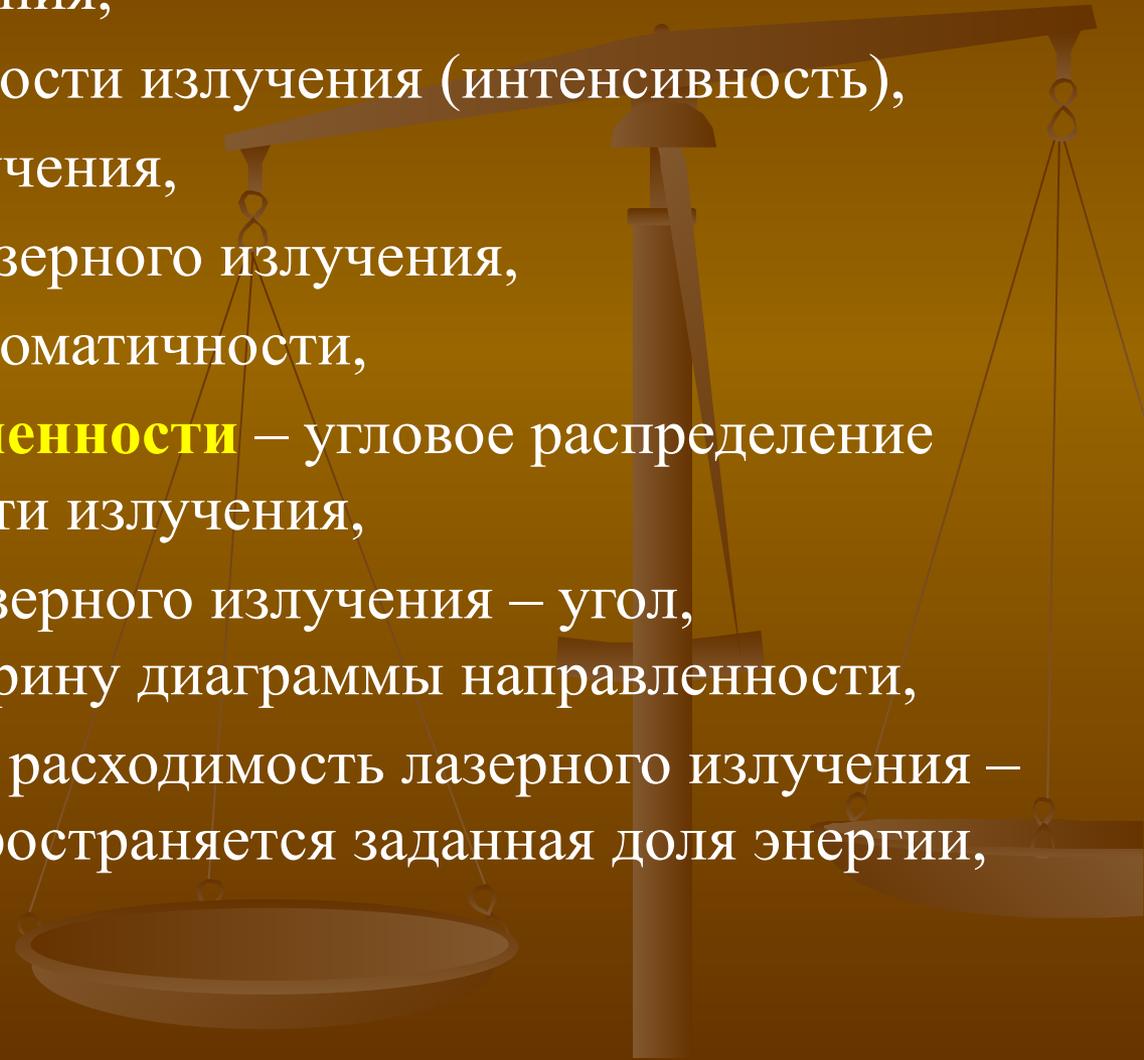


# ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ



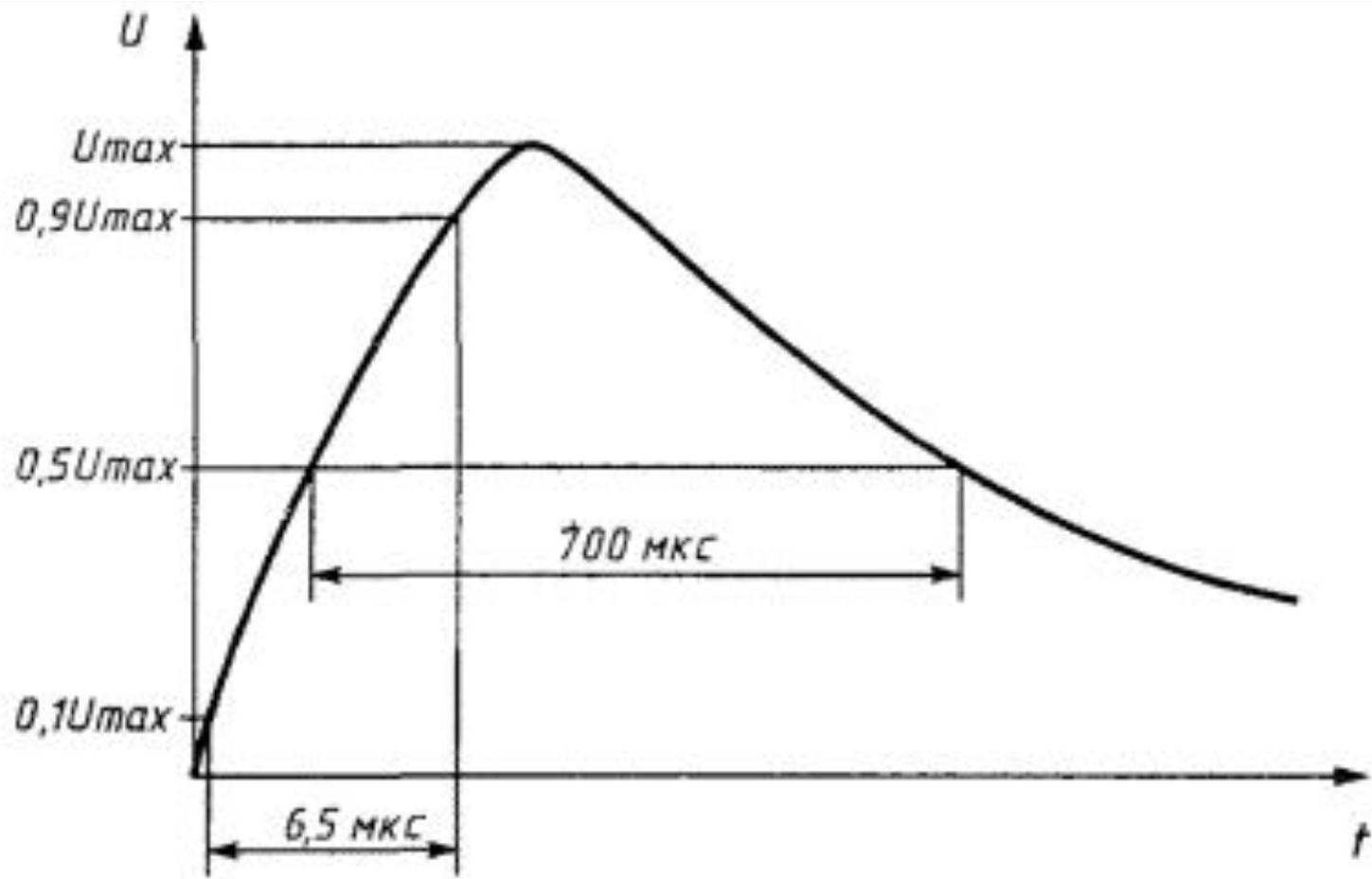
# Основные параметры лазерного излучения

- **E** – энергия излучения,
- **P** – мощность излучения,
- **W** – плотность мощности излучения (интенсивность),
- $\lambda$  – длина волны излучения,
- **d** – диаметр пучка лазерного излучения,
- $\delta_{\lambda/\lambda}$  – степень монохроматичности,
- **Диаграмма направленности** – угловое распределение энергии или мощности излучения,
- $\Theta$  – расходимость лазерного излучения – угол, характеризующий ширину диаграммы направленности,
- $\Theta_w$  – энергетическая расходимость лазерного излучения – угол, в которой распространяется заданная доля энергии,

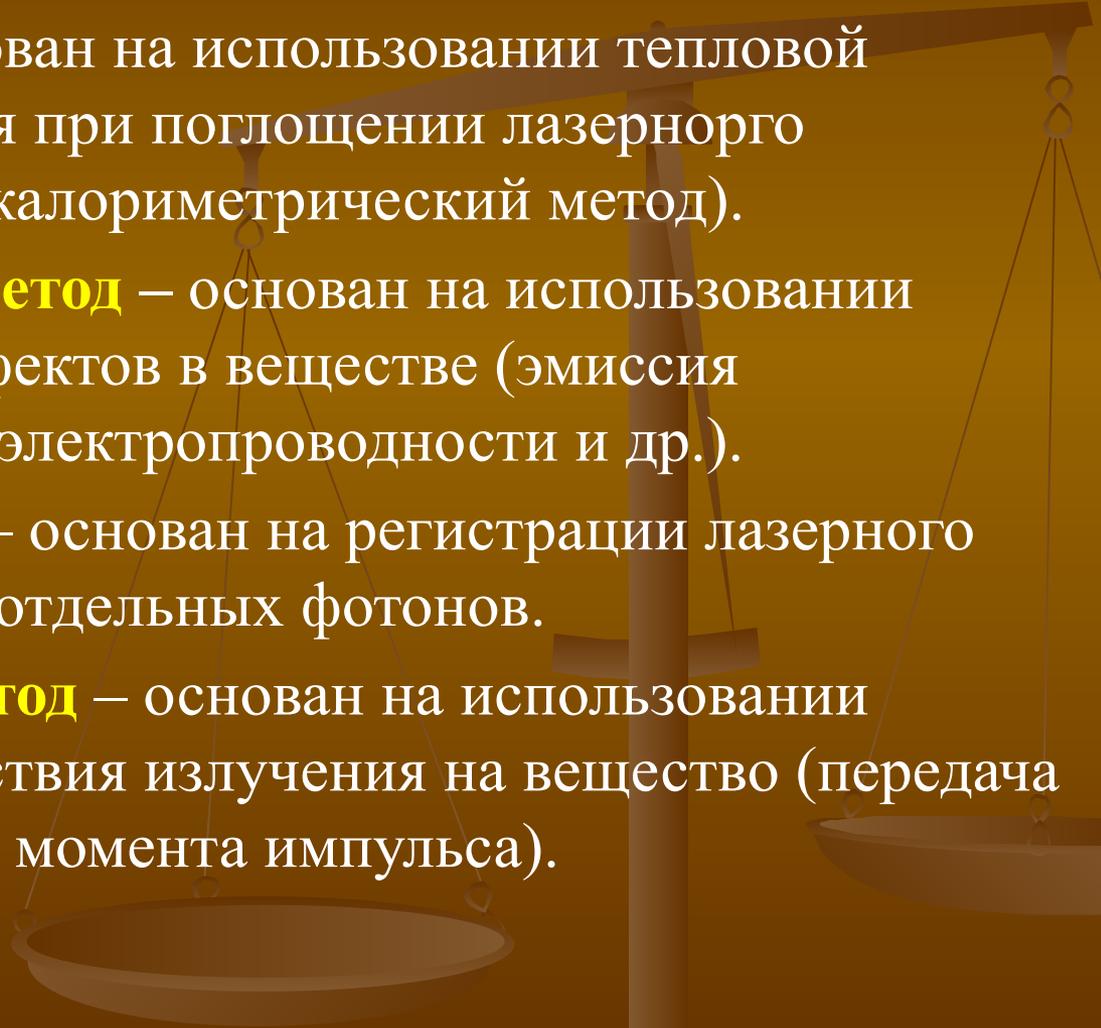


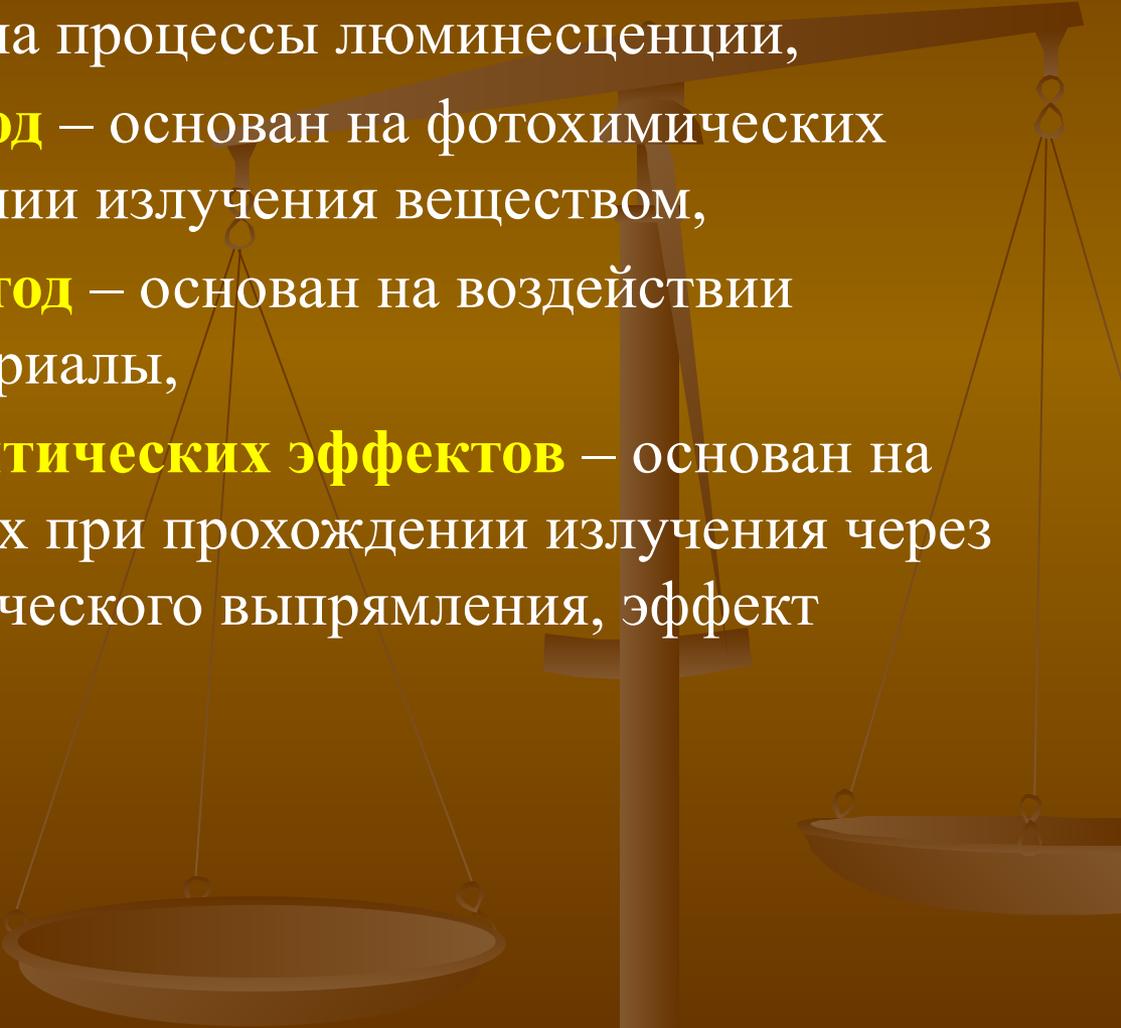
## Для импульсных лазеров:

- $E_{\text{И}}$  – энергия в импульсе (для импульсных лазеров),
- $F_{\text{И}}$  – частота следования импульсов,
- $q$  – скважность импульсов – отношение периода следования импульсов к длительности импульса,
- $\tau_{\text{И}}$  – длительность импульса лазерного излучения,
- $\tau_{\text{ф}}$  – длительность фронта импульса – интервал времени, в течение которого мощность излучения нарастает от 0,1 до 0,9 от максимального значения,
- $\tau_{\text{с}}$  – длительность среза импульса - интервал времени, в течение которого мощность излучения спадает от 0,1 до 0,9 от максимального значения.



# Методы измерений энергии и мощности лазерного излучения

- **Тепловой метод** – основан на использовании тепловой энергии, выделяющейся при поглощении лазерного излучения веществом (калориметрический метод).
  - **Фотоэлектрический метод** – основан на использовании фотоэлектрических эффектов в веществе (эмиссия электронов, изменение электропроводности и др.).
  - **Метод счета фотонов** – основан на регистрации лазерного излучения путем счета отдельных фотонов.
  - **Пондеромоторный метод** – основан на использовании пондеромоторного действия излучения на вещество (передача веществу импульса или момента импульса).
- 

- 
- **Люминесцентный метод** – основан на воздействии лазерного излучения на процессы люминесценции,
  - **Фотохимический метод** – основан на фотохимических реакциях при поглощении излучения веществом,
  - **Фотографический метод** – основан на воздействии излучения на фотоматериалы,
  - **Метод нелинейных оптических эффектов** – основан на эффектах, возникающих при прохождении излучения через вещество (эффект оптического выпрямления, эффект поляризации и др.).

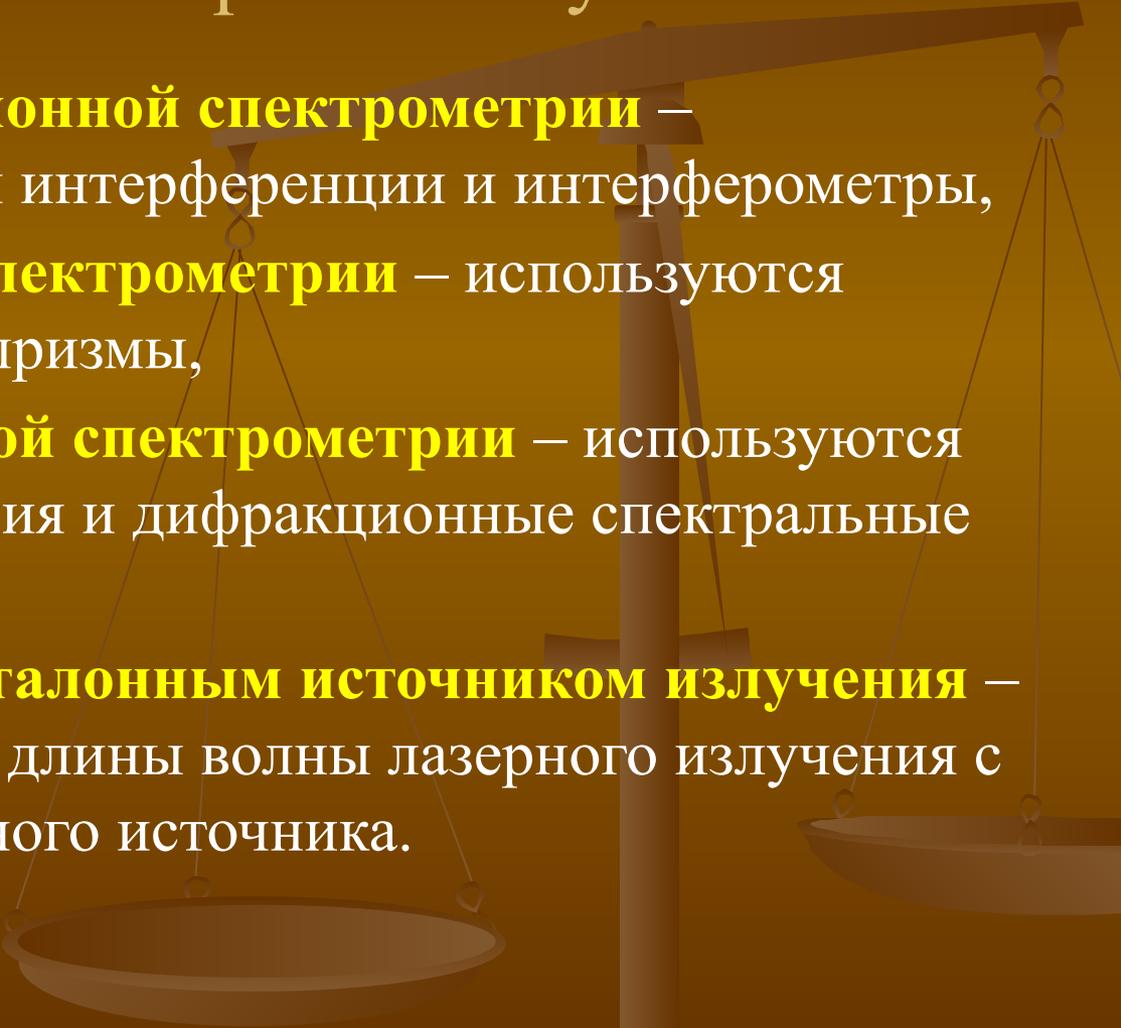
# Методы измерений расходимости лазерного излучения

- **Метод фокального пятна** – значение расходимости определяется из отношения диаметра пятна изображения в фокальной плоскости линзы, к фокусному расстоянию линзы.
- **Метод двух сечений** – расходимость определяют из отношения разности диаметров двух сечений лазерного луча, к расстоянию между выбранными сечениями.
- **Метод диаграммы направленности** – определяют диаграмму направленности лазерного излучения на основании данных о распределении поля излучения в сечении луча на разных расстояниях от лазера.
- **Автокалибровочный метод** – метод фокального пятна, в котором используется зеркальный клин.

# Методы измерений временных параметров и характеристик лазерного излучения

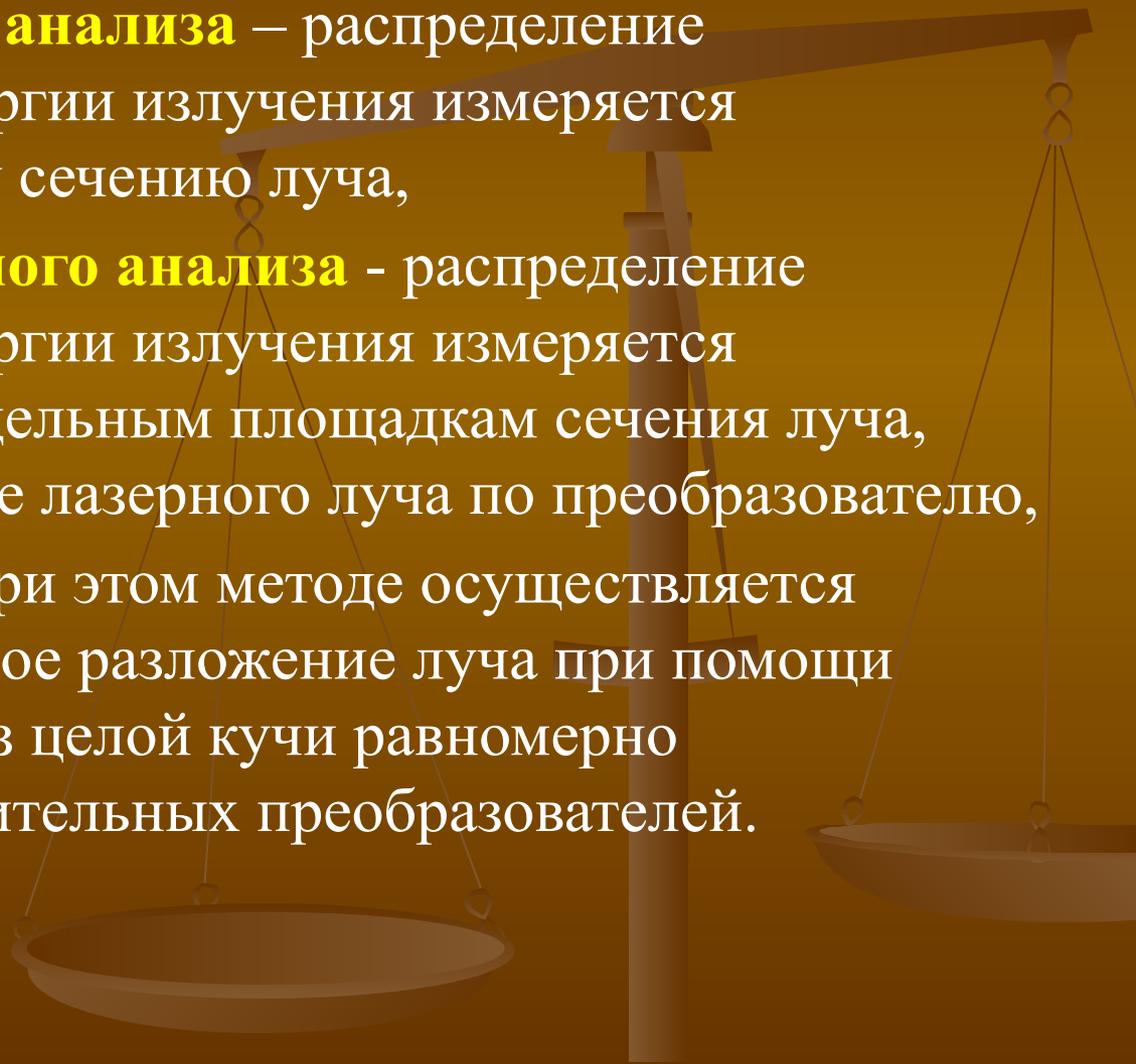
- **Фотоэлектрический метод** – излучение преобразуется фотоэлектрическими преобразователями в электрический сигнал с последующей передачей его на измерительную аппаратуру для измерения параметров электрического импульса, по которым и определяют временные параметры и характеристики лазерного излучения,
- **Тепловой метод** – излучение преобразуют быстродействующими болометрами, пироэлектрическими преобразователями или магнитными пленками с последующей передачей сигнала на измерительную аппаратуру,
- **Метод скоростной фотографии** – для исследования изменяющегося во времени лазерного излучения используют скоростные фотокамеры и фотохронографы.

# Методы измерений длины волны, нестабильности длины волны и спектральных характеристик лазерного излучения

- **Метод интерференционной спектрометрии** – используются явления интерференции и интерферометры,
  - **Метод призмной спектрометрии** – используются явления дисперсии и призмы,
  - **Метод дифракционной спектрометрии** – используются дифракционные явления и дифракционные спектральные приборы,
  - **Метод сравнения с эталонным источником излучения** – основан на сравнении длины волны лазерного излучения с длиной волны эталонного источника.
- 

# Методы измерений распределения энергии и интенсивности в сечении лазерного луча

- **Метод параллельного анализа** – распределение интенсивности или энергии излучения измеряется одновременно по всему сечению луча,
- **Метод последовательного анализа** - распределение интенсивности или энергии излучения измеряется последовательно по отдельным площадкам сечения луча, например, сканирование лазерного луча по преобразователю,
- **Матричный метод** – при этом методе осуществляется поэлементное дискретное разложение луча при помощи матрицы, состоящего из целой кучи равномерно распределенных измерительных преобразователей.

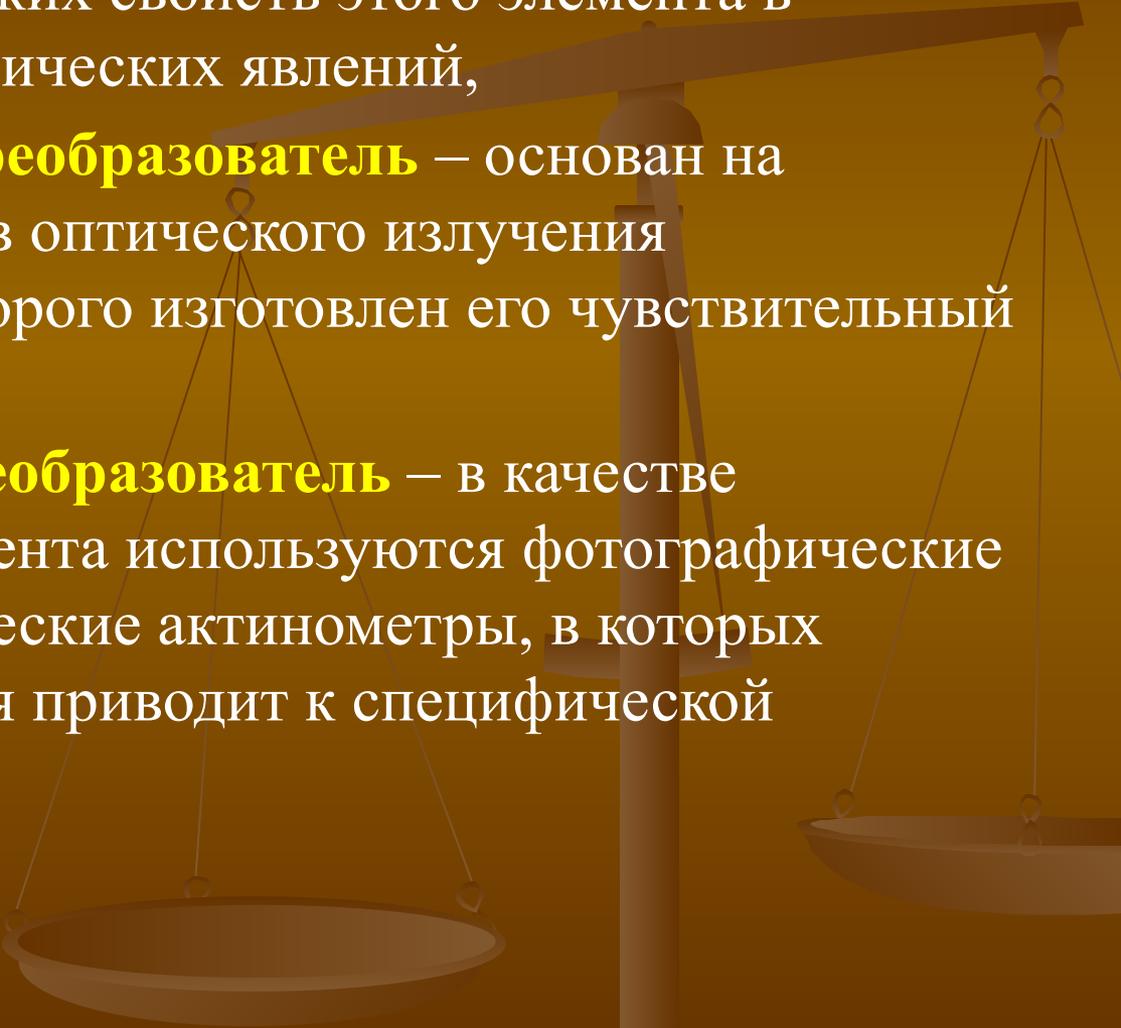


# Методы измерений частоты и нестабильности частоты лазерного излучения

- **Метод сравнения с эталонной частотой** – в качестве эталонных частот используют известные частоты других лазеров или СВЧ-генераторов. В качестве нелинейных элементов используют точечные диоды различных типов, точечный сверхпроводящий переход Джозефсона и др.,
- **Метод межмодовых биений** – регистрируется и анализируется спектр частот биений между отдельными модами лазерного излучения,
- **Метод доплеровского смещения** – используются возникающие в преобразователе излучения низкочастотные электромагнитные биения при сложении исследуемого излучения с отраженным от подвижного зеркала, дающего доплеровский сдвиг частоты.

# СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

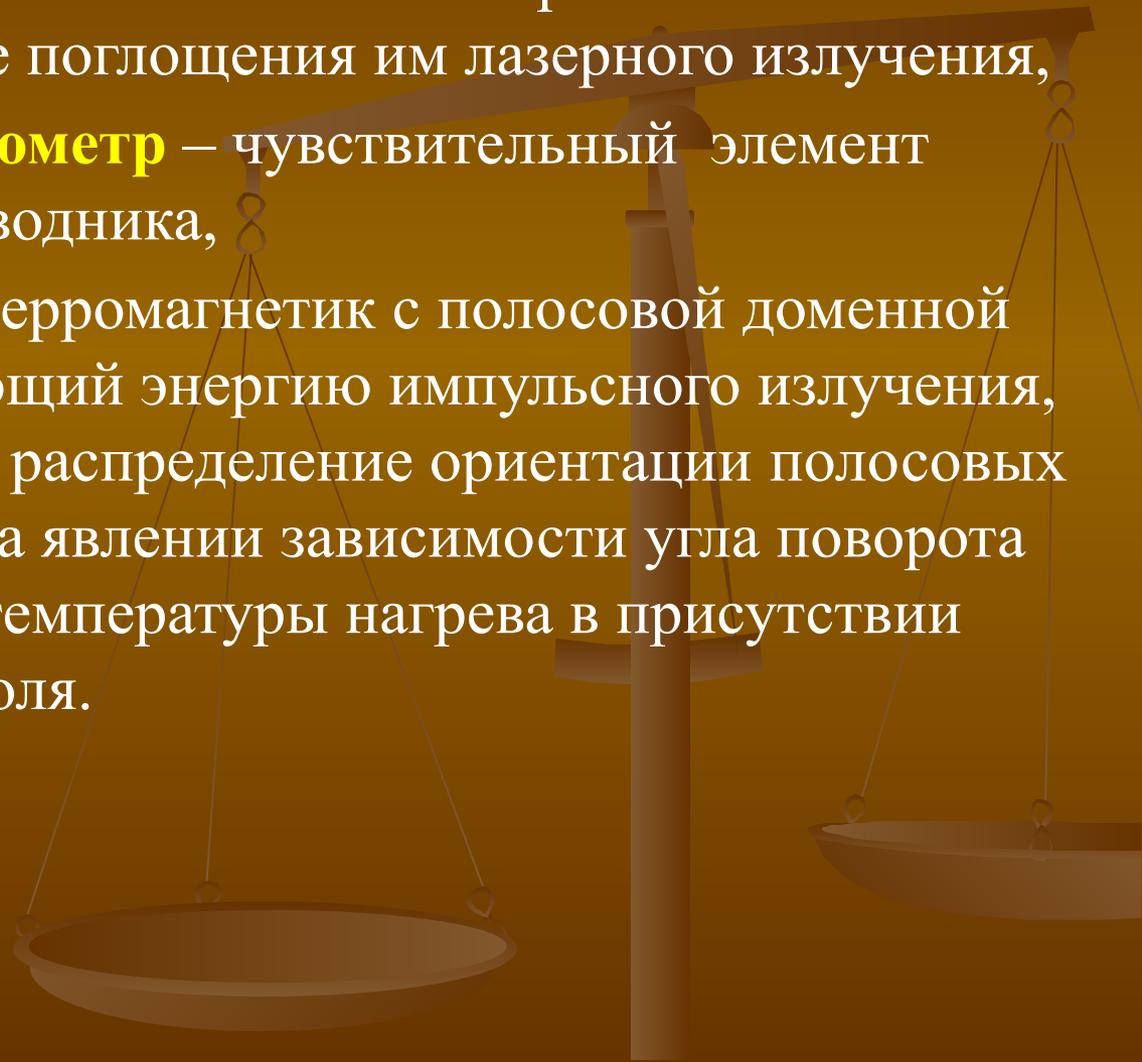
- **Преобразователь излучения** – предназначенный для преобразования энергии оптического излучения в другие виды энергии,
- **Пондеромоторный преобразователь** – принцип действия основан на пондеромоторном действии оптического излучения, заключающемся в передаче веществу импульса или момента импульса,
- **Тепловой преобразователь** – принцип действия основан на поглощении излучения чувствительным элементом, что приводит к фазовым переходам или к нагреванию этого элемента,

- 
- **Фотоэлектрический преобразователь** – при поглощении излучения чувствительным элементом происходит изменение электрических свойств этого элемента в результате фотоэлектрических явлений,
  - **Люминесцентный преобразователь** – основан на изменении параметров оптического излучения люминофором, из которого изготовлен его чувствительный элемент,
  - **Фотохимический преобразователь** – в качестве чувствительного элемента используются фотографические материалы или химические актинометры, в которых поглощение излучения приводит к специфической реакции.

# Основные виды тепловых измерительных преобразователей оптического излучения

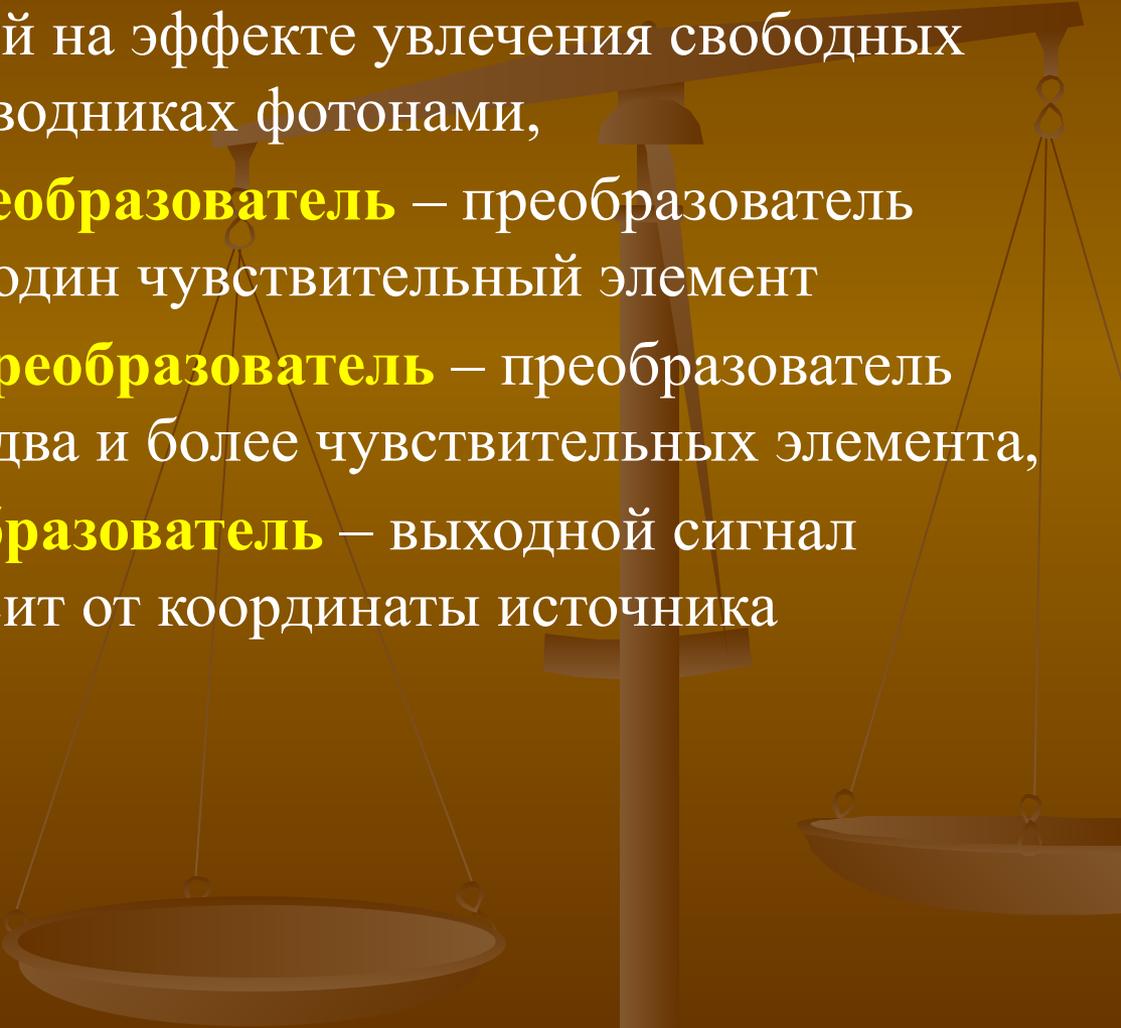
- **Диэлектрический преобразователь** – система с конденсатором, емкость которого изменяется при поглощении излучения из-за зависимости диэлектрической постоянной вещества от изменений температуры,
- **Пироэлектрический преобразователь** – основан на пироэлектрическом эффекте,
- **Оптико-пневматический преобразователь** – чувствительным элементом является мембрана ячейки с газом, которая изгибается при повышении температуры газа,
- **Термоэлемент** – полупроводниковый или металлический термоэлемент с нормированными метрологическими характеристиками,
- **Термостолбик** – несколько соединенных термоэлементов,

- **Болометр** – действие основано на изменении электрического сопротивления чувствительного элемента при изменении его температуры вследствие поглощения им лазерного излучения,
- **Сверхпроводящий болометр** – чувствительный элемент изготовлен из сверхпроводника,
- **Магнитная пленка** – ферромагнетик с полосовой доменной структурой, преобразующий энергию импульсного излучения, нагревающего пленку, в распределение ориентации полосовых доменов, основанного на явлении зависимости угла поворота полосовых доменов от температуры нагрева в присутствии внешнего магнитного поля.

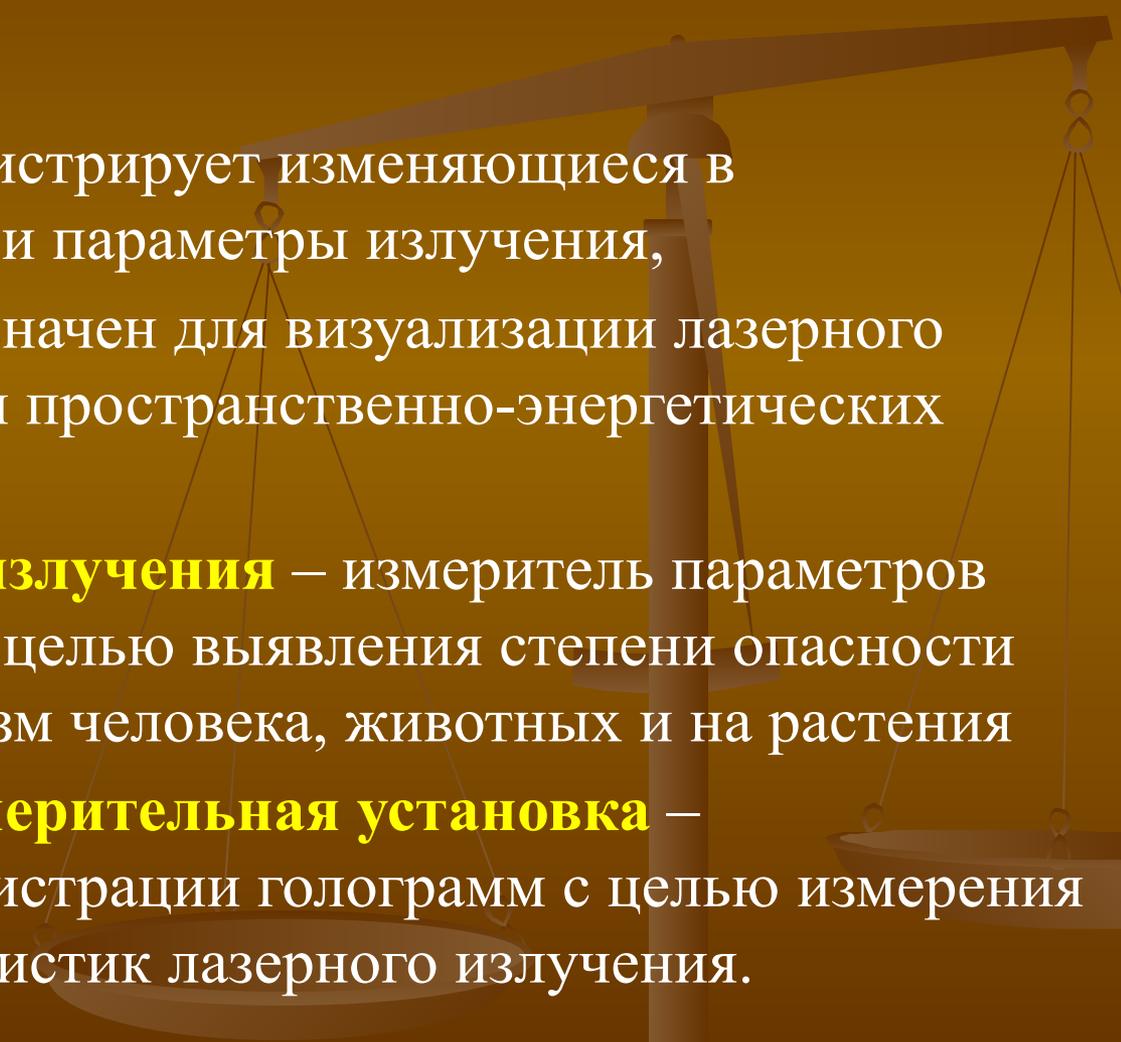


# Основные виды фотоэлектрических измерительных преобразователей оптического излучения

- **Электровакуумный фотоэлемент** – фотоэлектронный умножитель, фотолампа бегущей волны, фоторезистор, фотодиод, фототранзистор, фототиристор (с нормированными метрологическими характеристиками),
- **Фотоэлектромагнитный преобразователь ФЭМП** – преобразователь излучения с чувствительным элементом из полупроводникового материала, действие которого основано на фотоэлектромагнитном эффекте,

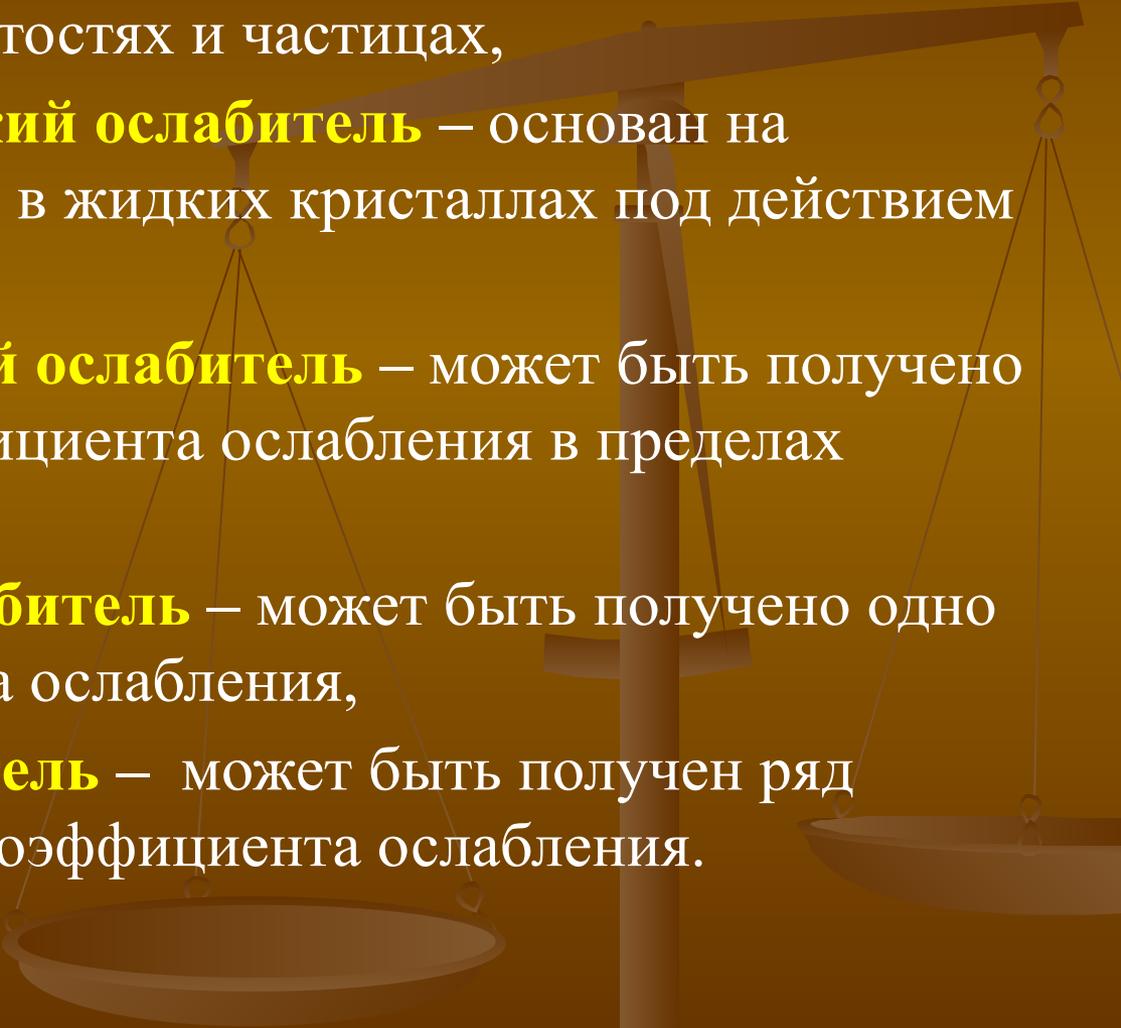
- 
- **Измерительный преобразователь на основе фотонного увлечения** – преобразователь импульсов лазерного излучения, основанный на эффекте увлечения свободных электронов в полупроводниках фотонами,
  - **Одноэлементный преобразователь** – преобразователь излучения, имеющий один чувствительный элемент
  - **Многоэлементный преобразователь** – преобразователь излучения, имеющий два и более чувствительных элемента,
  - **Координатный преобразователь** – выходной сигнал преобразователя зависит от координаты источника излучения.

# Измерительные приборы и установки

- **Калориметр,**
  - **Фотометр,**
  - **Эллипсометр,**
  - **Фотохронограф** – регистрирует изменяющиеся в пространстве и времени параметры излучения,
  - **Лазеровизор** – предназначен для визуализации лазерного излучения и измерения пространственно-энергетических характеристик,
  - **Дозиметр лазерного излучения** – измеритель параметров лазерного излучения с целью выявления степени опасности воздействия на организм человека, животных и на растения
  - **Голографическая измерительная установка** – предназначена для регистрации голограмм с целью измерения параметров и характеристик лазерного излучения.
- 

# Ослабители лазерного излучения

- **Механический ослабитель** – оптико-механическая система, в которой уменьшение мощности излучения осуществляется периодическим прерыванием лазерного луча,
- **Абсорбционный ослабитель** – основан на поглощении излучения веществом в различных агрегатных состояниях,
- **Поляризационный ослабитель** – представляет собой один или несколько поляризаторов, в котором осуществляется регулировка коэффициента пропускания по закону Малюса,
- **Ослабитель с нарушаемым полным внутренним отражением** – система из трех сред с промежуточной средой, имеющей меньший показатель преломления, чем окружающие среды,
- **Дифракционный ослабитель** – основан на свойстве специальной дифракционной решетки,

- 
- **Интерференционный ослабитель** – основан на явлении интерференции излучения на пленке диэлектрика,
  - **Рассеивающий ослабитель** – основан на рассеивании излучения на шероховатостях и частицах,
  - **Жидкокристаллический ослабитель** – основан на рассеивании излучения в жидких кристаллах под действием электрического поля,
  - **Плавно регулируемый ослабитель** – может быть получено любое значение коэффициента ослабления в пределах рабочего диапазона,
  - **Фиксированный ослабитель** – может быть получено одно значение коэффициента ослабления,
  - **Ступенчатый ослабитель** – может быть получен ряд дискретных значений коэффициента ослабления.