

Лекция 17

Оптические измерения

Темы лекции

Измерение параметров
лазерного излучения

Зачем нужно контролировать
параметры лазерного излучения?
Чтобы лазер мог выполнять
предназначенную для него задачу

- Обработка материалов
- Измерения
- Связь

Какие параметры?

- Мощность
- Стабильность мощности
- Размер пучка
- Распределение энергии в пучке
- Поляризация
- Угловая расходимость
- Когерентность
- Длина волны
- Форма оптического импульса

Типичные параметры маломощного (измерительного) лазера

- Лазеры серии ГН – это газовые лазеры непрерывного режима работы и излучением в красной области спектра на длине волны 0.63 мкм. Данные лазеры могут быть использованы в контрольно-измерительной технике, полиграфии, голографии, медицинской технике, и других технологических и лабораторных установках в качестве источников когерентного монохроматического излучения.

| Параметры | ГН-0.5 | ГН-1 | ГН-2П | ГН-2П-1 | ГН-3 | ГН-3-1 | ГН-5 |
|---|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Мощность излучения, мВт, не менее | 0.5 | 1.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 5.0 |
| Спектральный состав | TEM ₀₀ | TEM ₀₀ | TEM ₀₀ | TEM ₀₀ | TEM ₀₀ | TEM ₀₀ | TEM ₀₀ |
| Поляризация, не менее | 1:1 | 1:1 | 100:1 | 100:1 | 1:1 | 1:1 | 1:1 |
| Диаметр пучка, мм, не более | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.8 |
| Расходимость излучения, мрад, не более | 2.0 | 2.0 | 1.5 | 1.9 | 1.5 | 1.9 | 1.2 |
| Потребляемая мощность, Вт, не более | 10 | 10 | 15 | 15 | 15 | 15 | 25 |
| Габариты излучателя, мм, не более | Ø30x145 | | Ø35x255 | Ø35x280 | Ø35x255 | Ø35x280 | |
| Габариты источника питания, мм, не более | 150x60x170 (110x35x85*) | | | | | | |
| Масса, кг, не более (излучатель/источник питания) | 0.2 / 1.2 (0.4*) | | 0.4 / 1.2 (0.4*) | | | | 0.43 / 1 |
| Гарантийная наработка, ч, не менее | | | | | | | 10 000 |
| Средний ресурс, ч, не менее | | | | | | | 25 000 |



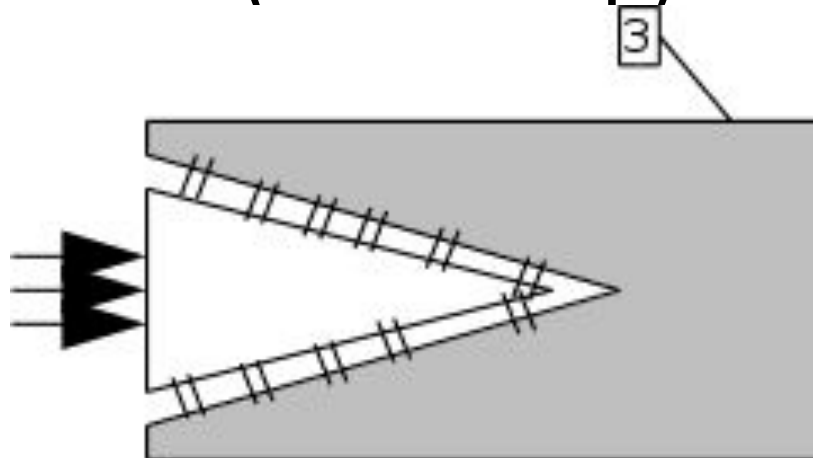
Типичные параметры мощного (технологического) лазера

| Модель | Длина волны, мкм, в пределах | Средняя мощность излучения, Вт | Спектральный состав | Поляризация | Относит. нестабильность мощности (после 30 мин работы), % | Расходимость, мрад, не более | Диаметр луча, мм, не более | Потребляемая мощность, Вт, не более | Средний ресурс, ч | Габариты излучателя / источника питания, мм, не более | Масса излучателя / источника питания, кг, не более |
|-------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------|-------------|---|------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|-------------------|---|--|
| LCD-3A | 10.57-10.63 | 3.0 | 90% TEM ₀₀ | 100:1 | ±8 | 10 | 2.0 | 300 | 2000 | 280x70x130/335x120x160 | 2.2/1.5 |
| LCD-10A | 10.57-10.63 | 10.0 | 90% TEM ₀₀ | 100:1 | ±8 | 8 | 2.2 | 400 | 2000 | 400x80x130/335x120x160 | 3.5/4.0 |
| LCD-10WG | 9.2-10.8 | 10.0 | 90% TEM ₀₀ | 100:1 | ±5 | 10 | 2.0 | 550 | 2000 | 505x60x100/335x160x65 | 4.5/3.5 |
| LCD-10AG | 9.2-10.8 | 10.0 | 90% TEM ₀₀ | 100:1 | ±5 | 10 | 2.0 | 550 | 2000 | 550x110x145/335x120x160 | 6.0/4.0 |
| LCD-10WG-2T | 9.2-10.8 | 2.0-8.0 | 90% TEM ₀₀ | 100:1 | ±5 | 10 | 2.0 | 600 | 2000 | 520x60x100/335x160x65 | 5.0/3.5 |
| LCD-5WGT | 9.2-10.7 | 5 | 90% TEM ₀₀ | 100:1 | ±7 | 10 | 2.0 | 550 | 2000 | 700x130x110/335x160x65 | 6.0/4.0 |
| LCD-5AGT | 9.2-10.7 | 5 | 90% TEM ₀₀ | 100:1 | ±7 | 10 | 2.0 | 550 | 2000 | 700x130x110/335x120x160 | 6.0/5.0 |
| LCD-15A | 10.57-10.63 | 15.0 | 90% TEM ₀₀ | 100:1 | ±5 | 10 | 2.0 | 550 | 2000 | 550x110x145/335x120x160 | 6.0/3.5 |
| LCD-15 W | 10.57-10.63 | 15.0 | 90% TEM ₀₀ | 100:1 | ±5 | 10 | 2.0 | 550 | 2000 | 465x60x100/335x160x65 | 6.0/3.5 |
| LCD-25W | 10.57-10.63 | 30.0 | 90% TEM ₀₀ | 100:1 | ±3 | 8 | 2.2 | 750 | 2000 | 650x160x110/335x160x65 | 6.0/3.5 |
| LCD-15WG | 9.2-10.8 | 15.0 | 90% TEM ₀₀ | 100:1 | ±5 | 8 | 2.2 | 750 | 2000 | 680x105x100/335x160x65 | 6.0/3.5 |
| LCD-50W | 10.57-10.63 | 50.0 | 90% TEM ₀₀ | 100:1 | ±3 | 8 | 2.2 | 750 | 2000 | 780x120x115/335x240x65 | 6.0/4.0 |
| LCDP-200 | 9-11 | 200 | Ближний к гауссовскому | 50:1 | ±5 | 8 | 8 | 6000 | 2000 | 720x140x110/520x425x600 | 20/45 |



Измерение мощности

- для маломощных: фотоэлемент, болометр и т.д. с чувствительностью на нужной длине волны
- Для мощных – либо калориметрический (тепловой) датчик, либо ослабитель и фотоэлемент (болометр)



Изменение МОЩНОСТИ



Model 11XLP12-3S-H2
Max average power (continuous / 1 minute) 3 W / 3 W
Effective aperture 12 mm \varnothing
Coupling method connection
Measurement capability
Spectral range 0.19 - 20 μm *
Noise equivalent power a 05. μW
Thermal Drift b 12 $\mu\text{W}/^\circ\text{C}$
Rise time (nominal) c 2.5 sec
Sensitivity (typ into 100 k Ω ; load) d 200 mV/W
Calibration uncertainty e $\pm 2.5\%$
Repeatability $\pm 0.5\%$
Energy mode
Sensitivity 25 mV/J
Maximum measurable energy f 5 J
Noise equivalent energy a 12 μJ
Minimum repetition period 16 sec
Maximum pulse width 300 ms
Accuracy with energy calibration option $\pm 5\%$
Damage thresholds
Maximum average power density g 1 kW/cm²
Pulsed laser damage thresholds
Max energy density
1064 nm, 360 μs , 5 Hz 5 J/cm²
1064 nm, 7 ns, 10 Hz 1 J/cm²
532 nm, 7 ns, 10 Hz 0.6 J/cm²
355 nm, 7 ns, 10 Hz 0.3 J/cm²
Peak power density
1064 nm, 360 μs , 5 Hz 14 kW/cm²
1064 nm, 7 ns, 10 Hz 143 MW/cm²
532 nm, 7 ns, 10 Hz 86 MW/cm²
355 nm, 7 ns, 10 Hz 43 MW/cm²
Physical characteristics
Effective aperture 12 mm \varnothing
Absorber (high damage threshold) H2
Dimensions 73H x 73W x 20D mm (72D mm with tube)
Weight (head only) 0.31 kg



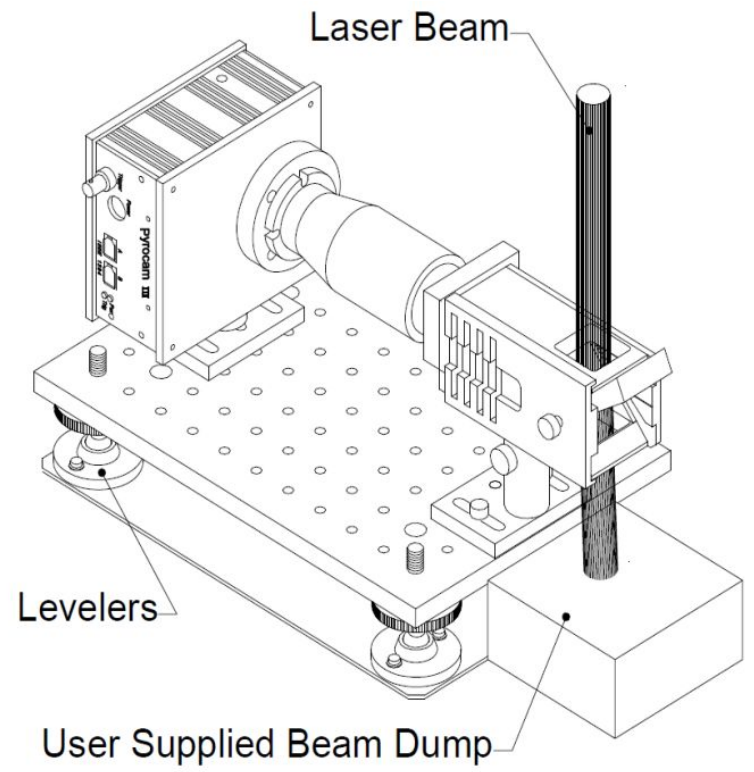
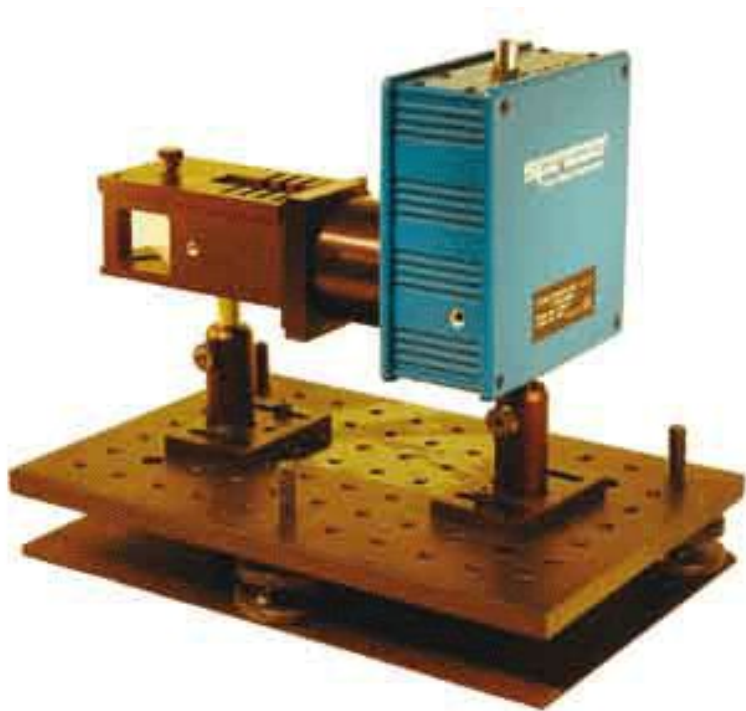
| Model | Comet 1K | | Comet 10K | | Comet 10K-HD | | |
|--|---|----------|--|------------------|--|--------------|--------------|
| Use | For powers to 1kW | | For powers to 10kW | | For high power density beams | | |
| Absorber Type | Broadband | | Broadband | | Broadband with reflective cone beam spreader | | |
| Spectral Range μm | 0.2 - 20 | | 1.06 and 10.6 | | 1.06 and 10.6 | | |
| Aperture mm | $\phi 50\text{mm}$ | | $\phi 100\text{mm}$ | | $\phi 55\text{mm}$ | | |
| Power Mode | 20W to 1kW | | 200W to 10kW | | 200W to 10kW | | |
| Power Range | 20W to 1kW | | 200W to 10kW | | 200W to 10kW | | |
| Repeatability | | | $\pm 1\%$ for same initial temperature | | | | |
| Maximum Average Power Density kW/cm ² | Power | 1K Model | Power | Damage Threshold | Power | Beam dia <40 | Beam dia >40 |
| | 100W | 10 | 1kW | 3.5 | 1kW | 10 | 7 |
| | 200W | 8 | 2kW | 2.8 | 2kW | 10 | 6 |
| | 300W | 6 | 3kW | 2.5 | 3kW | 8 | 5 |
| | 500W | 5 | 5kW | 1.5 | 5kW | 6 | 3 |
| | 1kW | 4 | 10kW | 1 | 10kW | 4 | 2 |
| Power Accuracy +/-% | 5 | | 5 | | 5 | | |
| Linearity with Power +/-% | $\pm 2\% \pm 1\text{W}$ from 20W to 1kW | | $\pm 2\%$ from 1kW to 10kW | | $\pm 2\%$ from 1kW to 10kW | | |
| Number of readings before probe must be cooled (for 25°C starting temp.) | 100W | 4 | 1kW | 4 | 1kW | 4 | |
| | 300W | 3 | 3kW | 3 | 3kW | 3 | |
| | 400W | 2 | 4kW | 2 | 4kW | 2 | |
| | 1kW | 1 | 10kW | 1 | 10kW | 1 | |
| Maximum Energy Density J/cm ² | <100ns | | 0.3 | | 0.3 | | |
| | 10 μs | | 1 | | 1 | | |
| | 1ms | | 10 | | 10 | | |
| | 10ms | | 50 | | 50 | | |
| Time to Reading | Initial reading 10s after exposure, final reading 20s after exposure | | Initial reading 20s after exposure, final reading 40s after exposure | | Initial reading 30s after exposure, final reading 70s after exposure | | |
| Temperature Compensation | Temperature compensated to give accurate readings independent of starting probe temperature | | | | | | |
| Maximum Permitted Probe Temperature | 70°C before measurement, 140°C after measurement | | | | | | |
| Display | 2x8 character LCD. Character height 5mm. CE Approved. | | | | | | |
| Operation Mode | AUTO: Automatic measurement with laser set to 10s timed exposure. Unit senses temperature rise and measures automatically. MANUAL: User places probe in front of beam for 10s. Unit beeps to indicate start and stop measurement points. History: Stores last three readings. Calibration: Can be recalibrated by user. | | | | | | |
| Battery | 2 x AA. Lifetime in normal use | | | | | | |

Измерение распределения мощности в пучке

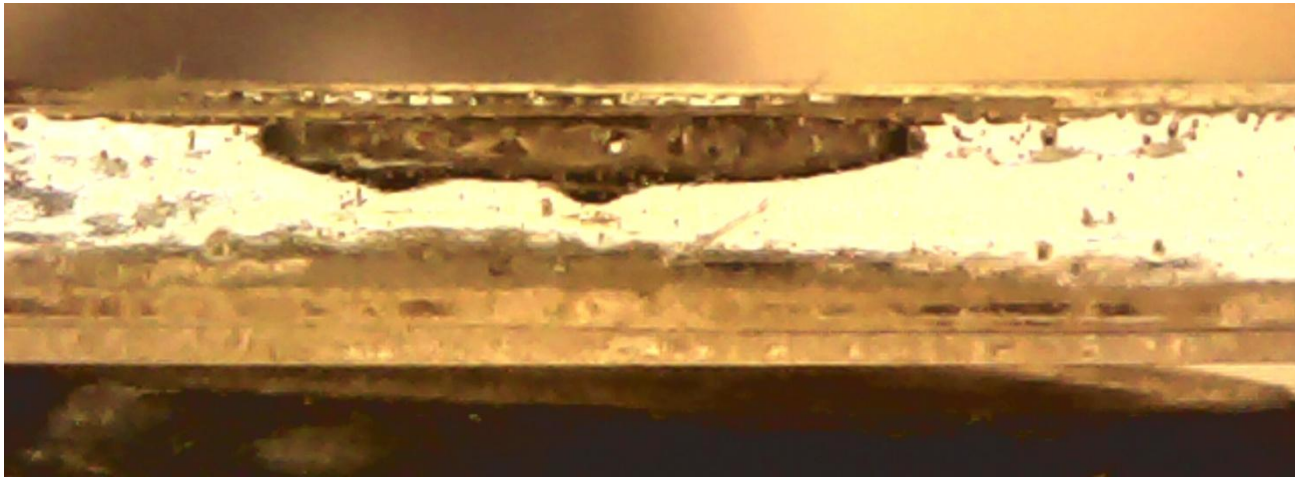
Для маломощных лазеров видимого и ближнего ИК диапазона – обычная ПЗС-матрица, видеокамера

Для лазеров дальнего ИК диапазона – микроболометрическая матрица

«Подручный» способ – выжигание лунки в оргстекле



Отпечаток на оргстекле

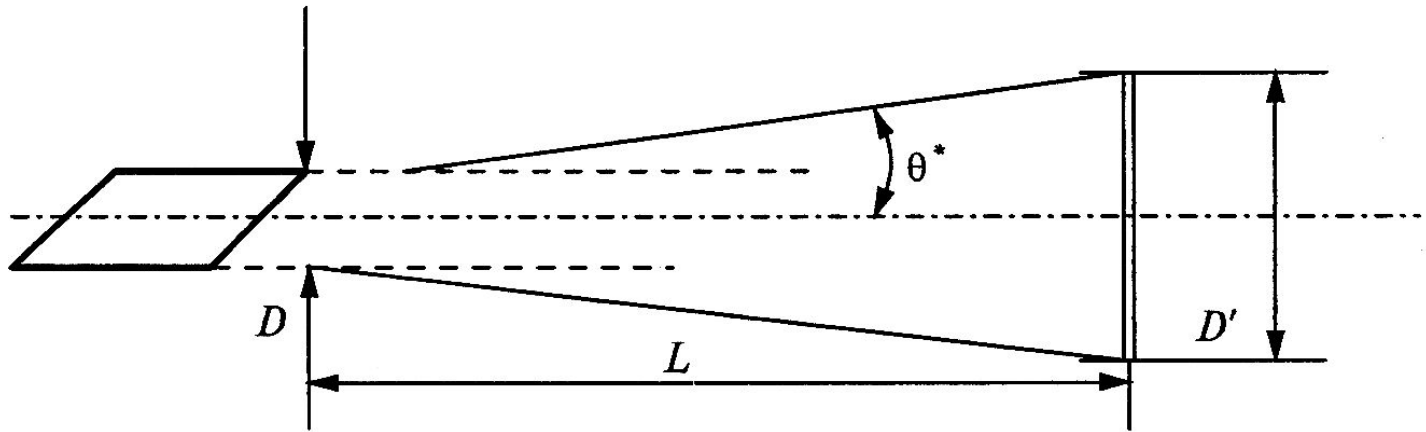


Поляризация

- Лазер – Ослабитель – Анализатор – Измеритель мощности
- + четвертьволновая пластина
- Вращают анализатор и снимают показания индикатора мощности

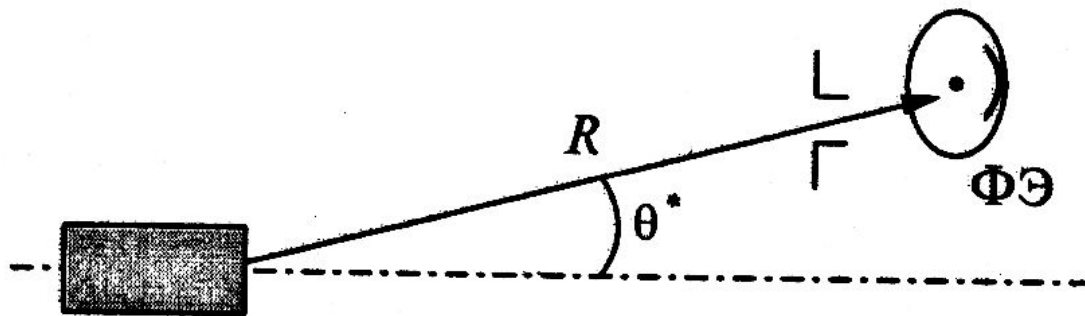
Угловая расходимость

- Измерение размеров пучка на разных расстояниях
- $\text{tg } \theta = (D_1 - D) / L$



Измерение «диаграммы направленности»

- Зависимость интенсивности излучения от угла
- Там, где интенсивность падает в 2 раза – граница «диаграммы направленности»



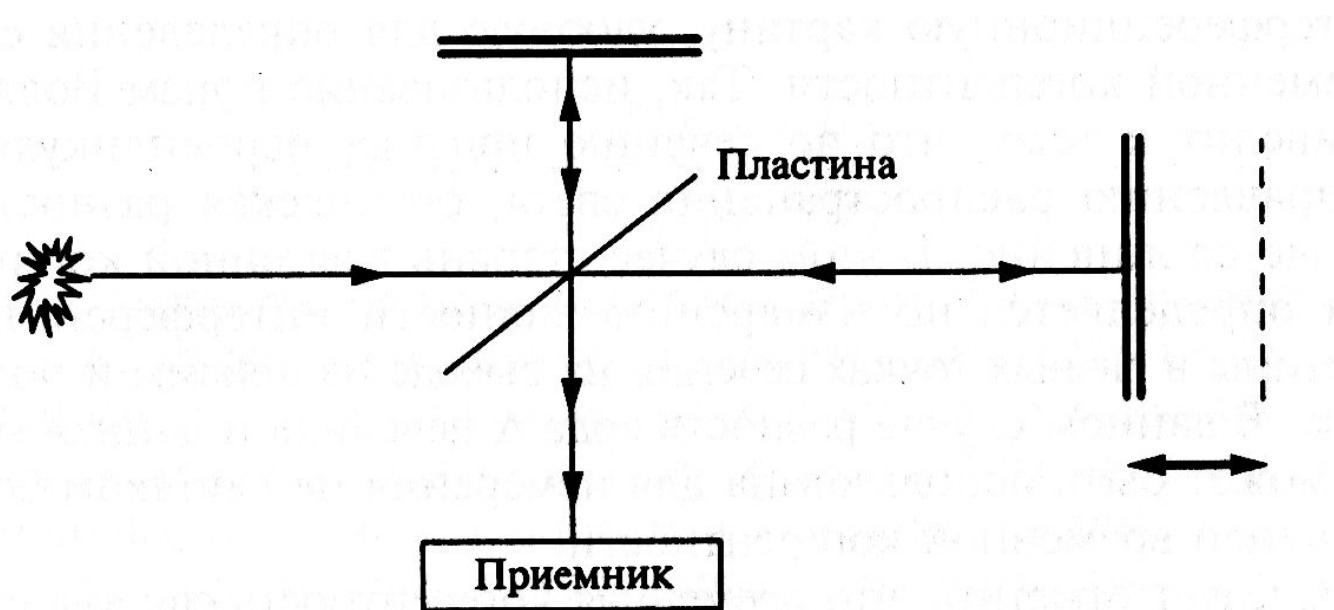
Измерение угловой расходимости

- С помощью линзы с известным фокусным расстоянием
- Минимальный размер пятна излучения в фокусе лазера $d_0 = f' \text{ линзы} * \text{tg } \theta$
- $\theta = \text{arctg } d_0 / f \approx d_0 / f .$

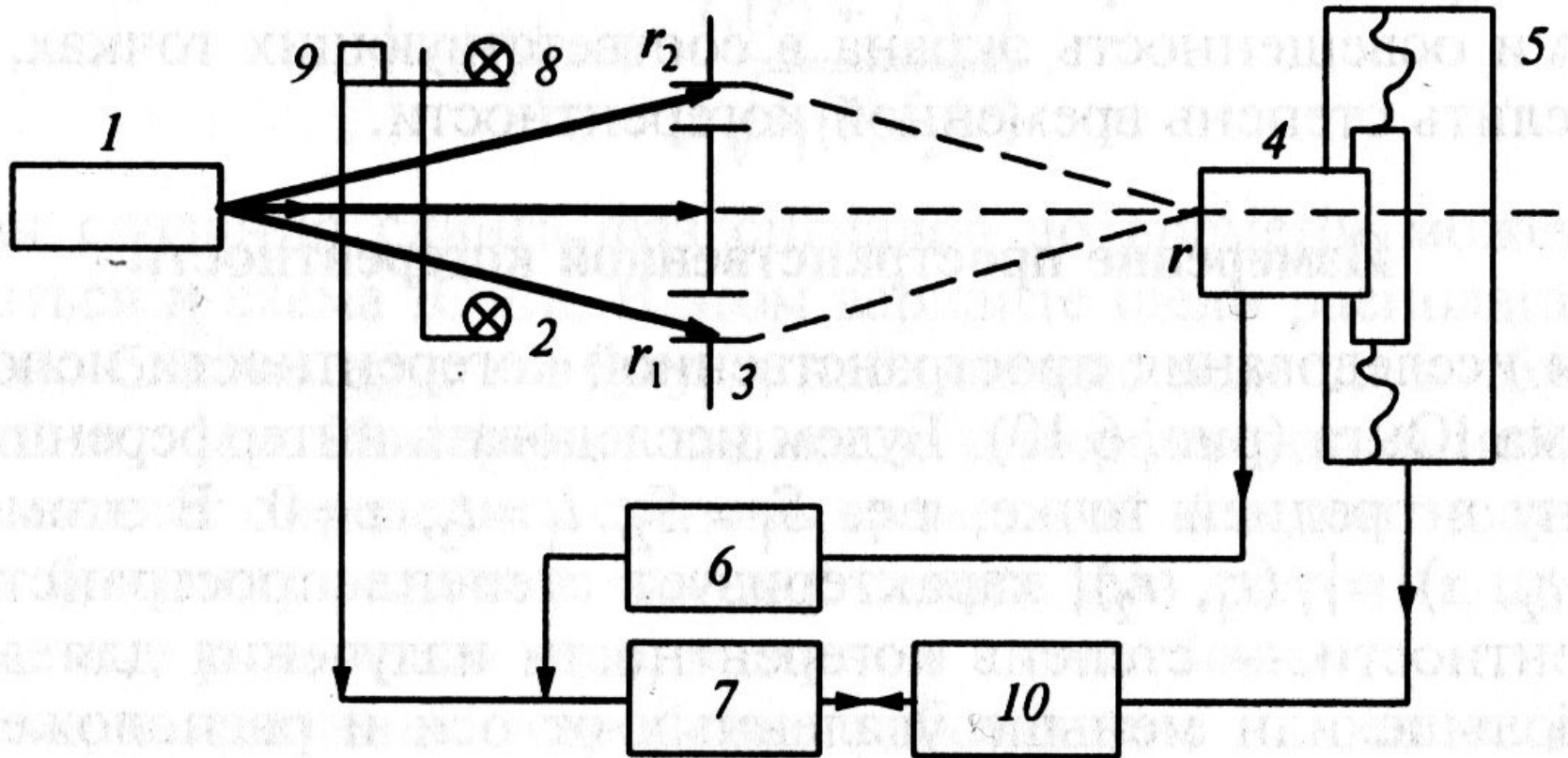
Измерение когерентности

- Для измерительных лазеров!
- Длина когерентности важна в интерферометрах и в голографии
- Измеряется с помощью интерферометра Майкельсона или интерферометра Юнга
- Оценивается максимальная разность хода, на которой ещё возможна интерференция

Временная когерентность – разность хода

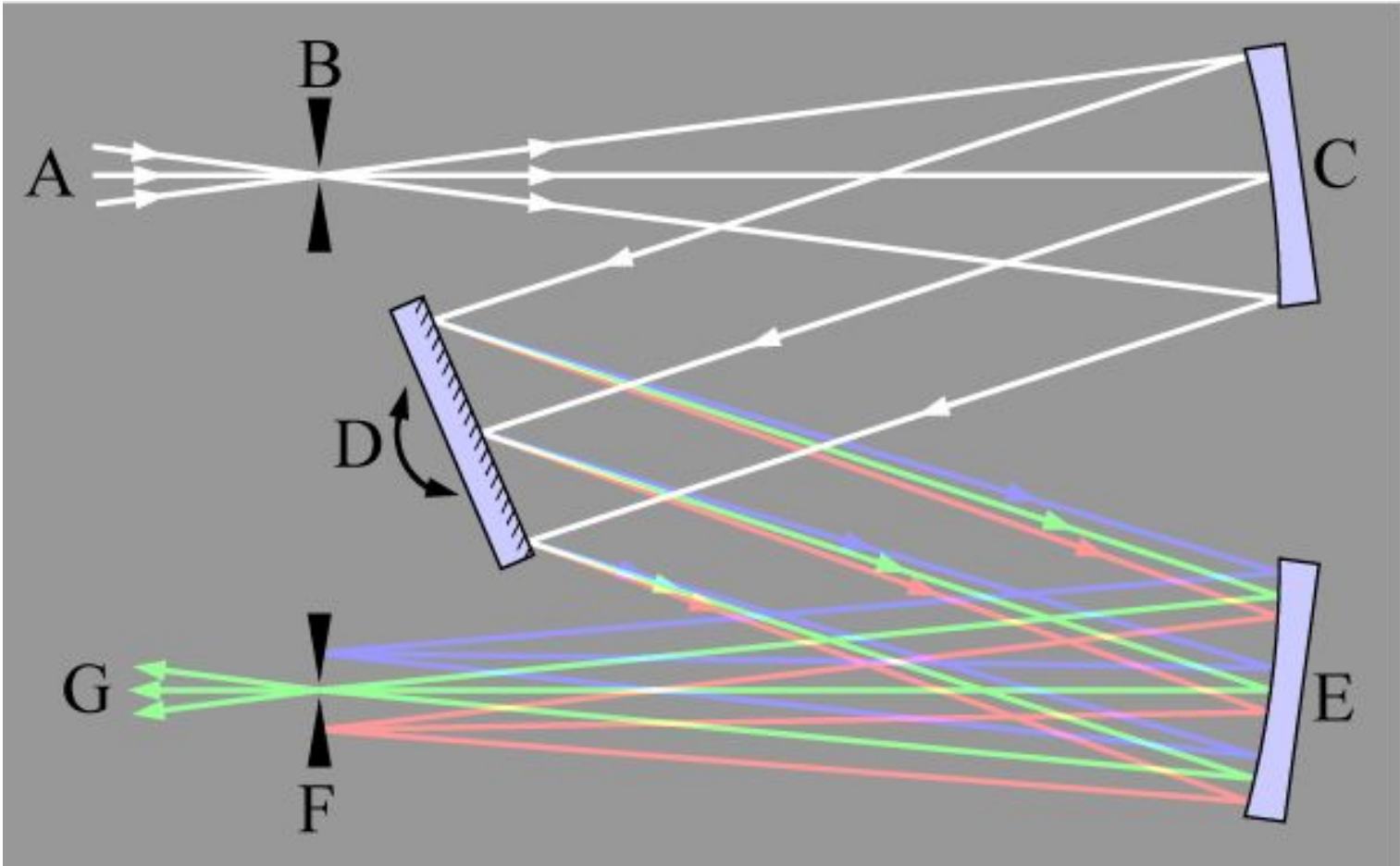


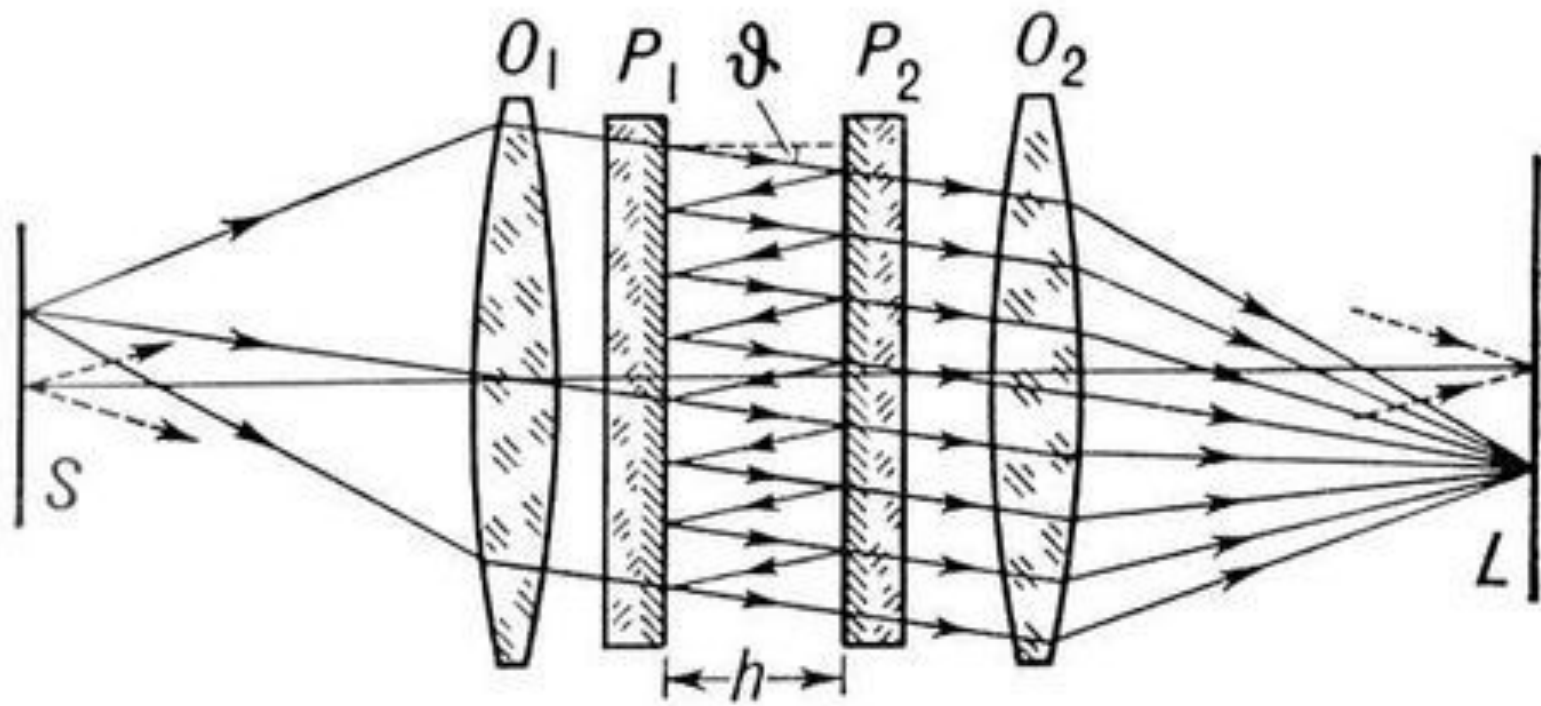
Пространственная когерентность – удаление от оси



Измерение длины волны

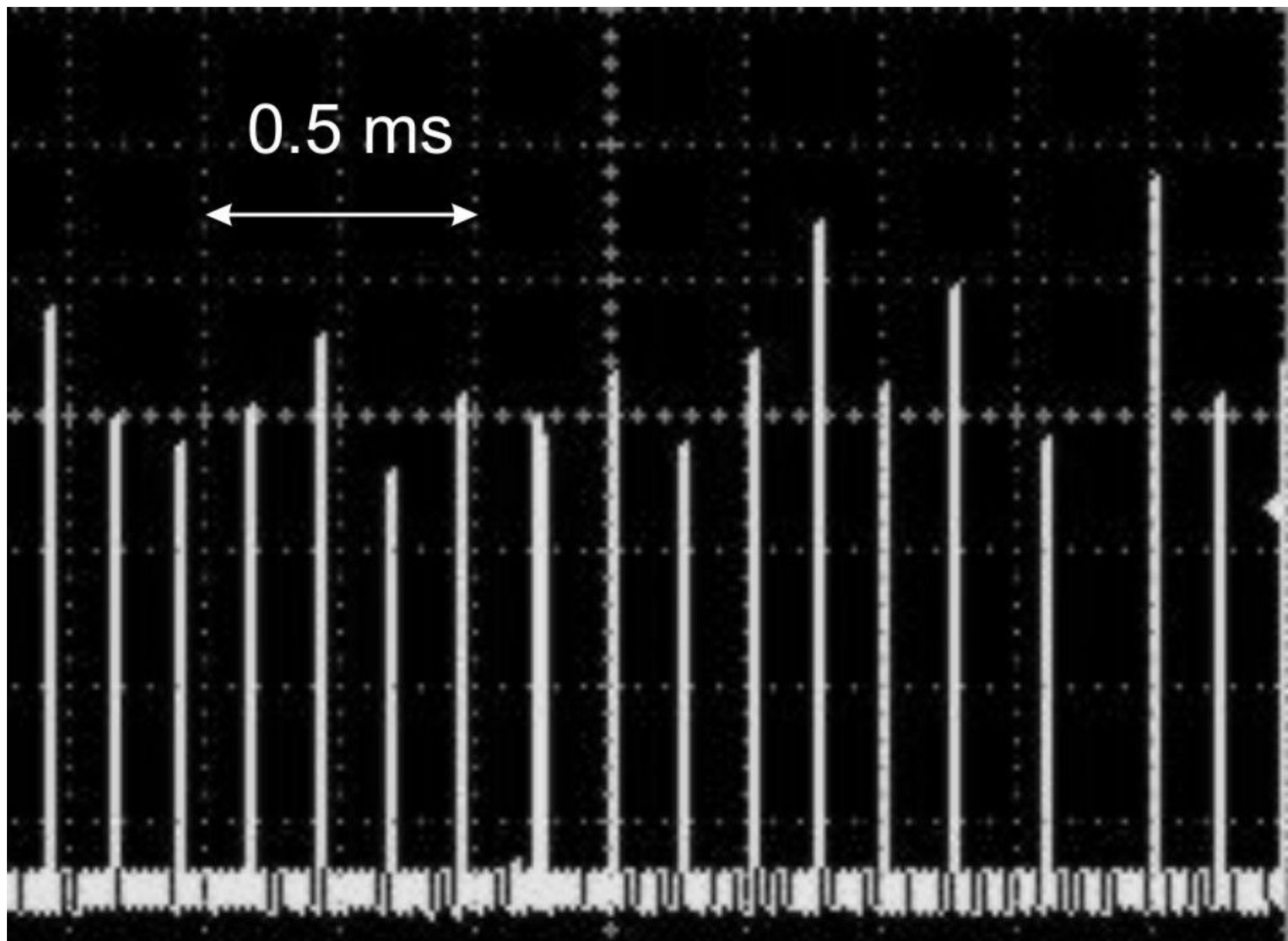
- Для измерительных лазеров и для лазеров с перестраиваемой длиной волны!
- Лазер – монохроматор – приемник
- Используется: дифракционные решетки, призмы, интерферометр Фабри-Перо
- Обязательная калибровка по спектральным линиям! Водородная лампа, ртутная лампа. Т.к. требуется измерять частоту очень точно



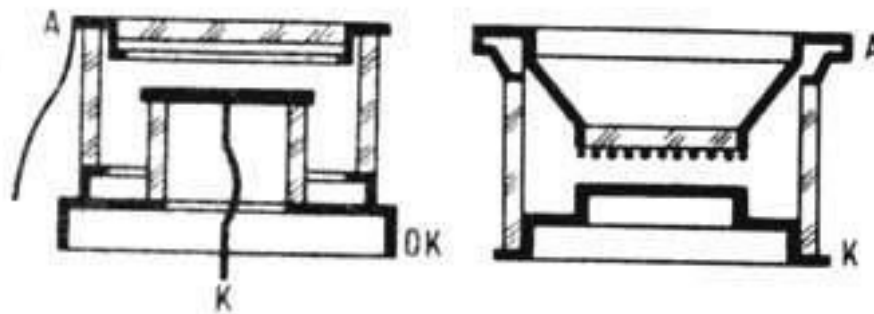


Измерение формы оптического импульса

- Для импульсных лазеров!
- Нужно, чтобы узнать длительность и энергию одного импульса
- Лазер – ослабитель – фотоприемник – стробоскопический осциллограф
- Либо электронно-оптический преобразователь - фотопленка

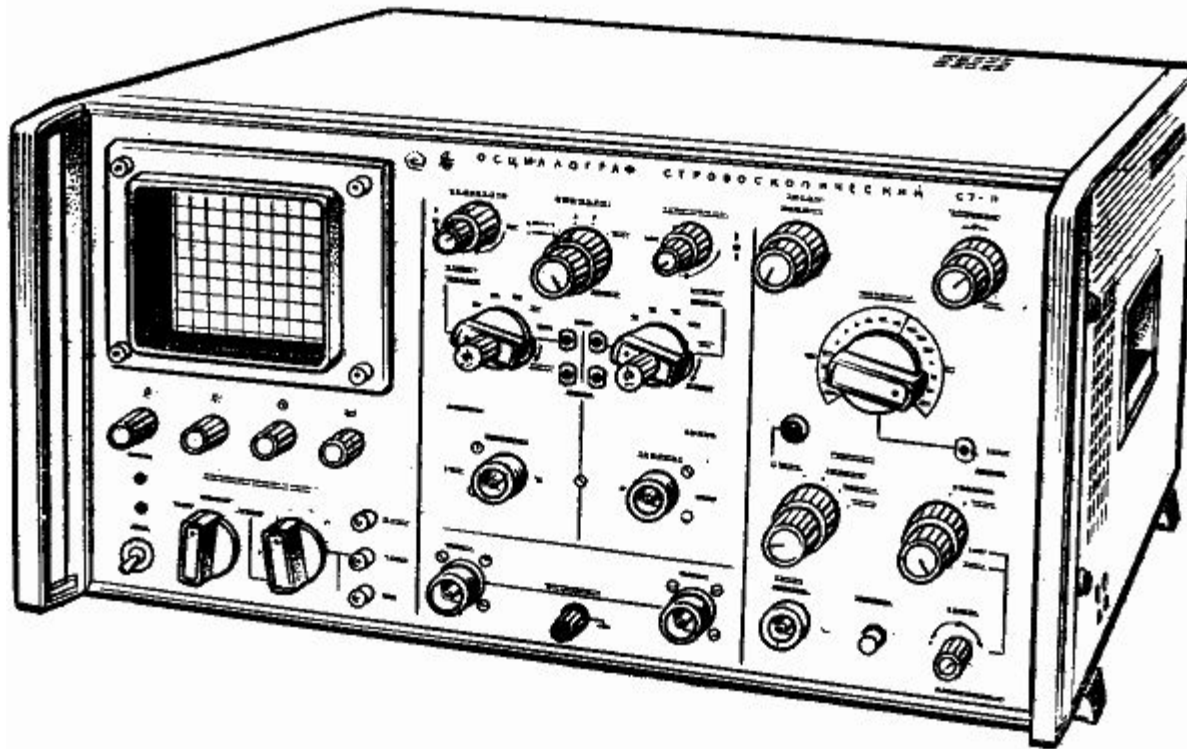


- Вакуумный фотоэлемент специальной конструкции – с очень малыми размерами электродов и высоким рабочим напряже



- PIN-фотодиод с очень малой емкостью

- Стробоскопический осциллограф
- Регистрирует повторяющиеся сигналы с частотами в несколько ГГц
- Можно их сфотографировать или записать во внутреннюю память



С7-9

ОБЩИЕ ПАРАМЕТРЫ

Диапазон измеряемых напряжений 15 мВ – 1 В

Диапазон измеряемых интервалов времени 0,2 нс – 100 мкс

Полоса пропускания До 5 ГГц

Время нарастания ПХ 0,07 – 0,5 нс

Входное активное сопротивление 50 Ом, 100 кОм

Входная емкость 6 пф

Коэффициент стоячей волны Не более 1,7

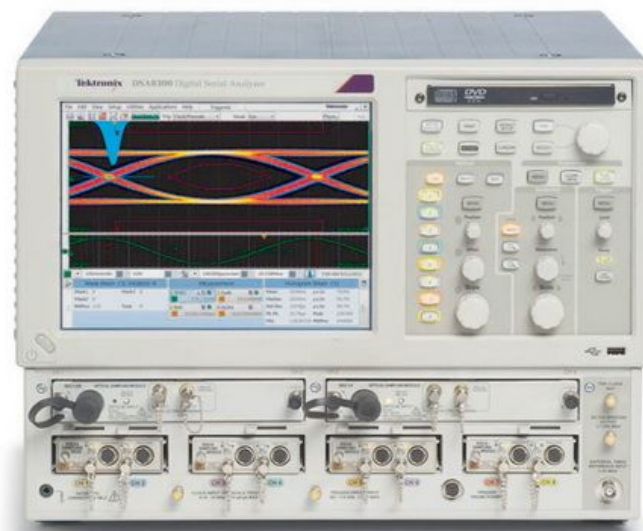
Уровень собственных шумов 1,5 мВ

Ширина линии луча 1 мм

Чувствительность по вертикали 5 – 200 мВ/дел

Диапазон развертки 0,05 нс/дел - 10 мкс/дел

- DSA8300
- Имеет оптический вход



| Параметр | 80E01 | 80E03 | 80E06 | 80E07 | 80E09 | Модули TDR | | |
|--|--------|---------|---------|--|---|------------|--|---|
| | | | | | | 80E04 | 80E08 | 80E10 |
| Число каналов | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Полоса пропускания | 50 ГГц | 20 ГГц | 70+ ГГц | 20/30 ГГц (выбирается пользователем) | 30/40/60 ГГц (выбирается пользователем) | 20 ГГц | 20/30 ГГц (выбирается пользователем) | 30/40/50 ГГц (выбирается пользователем) |
| Разрешение по времени в полной полосе (по уровню 10-90 %) | 7 пс | 17,5 пс | 5,0 пс | 11,7 пс | 5,8 пс | 17,5 пс | 11,7 пс | 7 пс |
| Среднеквадратичное значение шума | 1,8 мВ | 600 мкВ | 1,8 мВ | 280 мкВ при 20 ГГц 300 мкВ при 30 ГГц | 300 мкВ при 30 ГГц 330 мкВ при 40 ГГц 450 мкВ при 60 ГГц | 600 мкВ | 280 мкВ при 20 ГГц 300 мкВ при 30 ГГц | 300 мкВ при 30 ГГц 370 мкВ при 40 ГГц 600 мкВ при 60 ГГц |
| Разрешение по времени нарастания прямого сигнала (по уровню 10-90 %) | - | - | - | - | - | 23 пс | 18 пс | 12 пс |
| Разрешение по времени нарастания отраженного сигнала (по уровню 10-90 %) | - | - | - | - | - | 28 пс | 20 пс | 15 пс |