

# 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	ТЕМ <sub>00</sub>	ТЕМ <sub>00</sub>	ТЕМ <sub>00</sub>	ТЕМ <sub>00</sub>	ТЕМ <sub>00</sub>	ТЕМ <sub>00</sub>	ТЕМ <sub>00</sub>
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



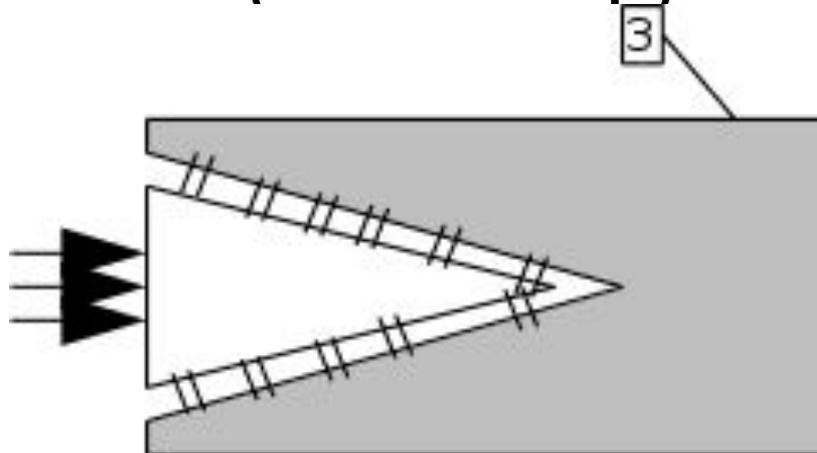
# Типичные параметры мощного (технологического) лазера

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 <sub>00</sub>	100:1	±8	10	2.0	300	2000	280x70x130/335x120x160	2.2/1.5
LCD-10A	10.57-10.63	10.0	90% TEM <sub>00</sub>	100:1	±8	8	2.2	400	2000	400x80x130/335x120x160	3.5/4.0
LCD-10WG	9.2-10.8	10.0	90% TEM <sub>00</sub>	100:1	±5	10	2.0	550	2000	505x60x100/335x160x65	4.5/3.5
LCD-10AG	9.2-10.8	10.0	90% TEM <sub>00</sub>	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 <sub>00</sub>	100:1	±5	10	2.0	600	2000	520x60x100/335x160x65	5.0/3.5
LCD-5WGT	9.2-10.7	5	90% TEM <sub>00</sub>	100:1	±7	10	2.0	550	2000	700x130x110/335x160x65	6.0/4.0
LCD-5AGT	9.2-10.7	5	90% TEM <sub>00</sub>	100:1	±7	10	2.0	550	2000	700x130x110/335x120x160	6.0/5.0
LCD-15A	10.57-10.63	15.0	90% TEM <sub>00</sub>	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 <sub>00</sub>	100:1	±5	10	2.0	550	2000	465x60x100/335x160x65	6.0/3.5
LCD-25W	10.57-10.63	30.0	90% TEM <sub>00</sub>	100:1	±3	8	2.2	750	2000	650x160x110/335x160x65	6.0/3.5
LCD-15WG	9.2-10.8	15.0	90% TEM <sub>00</sub>	100:1	±5	8	2.2	750	2000	680x105x100/335x160x65	6.0/3.5
LCD-50W	10.57-10.63	50.0	90% TEM <sub>00</sub>	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  $\emptyset$   
Coupling method contact  
Measurement capability  
Spectral range 0.19 - 20  $\mu\text{m}$  \*  
Noise equivalent power a 05.  $\mu\text{W}$   
Thermal Drift b 12  $\mu\text{W}/^\circ\text{C}$   
Rise time (nominal) c 2.5 sec  
Sensitivity (typ into 100 k $\Omega$ ; 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  $\mu\text{J}$   
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/cm<sup>2</sup>  
Pulsed laser damage thresholds  
Max energy density  
1064 nm, 360  $\mu\text{s}$ , 5 Hz 5 J/cm<sup>2</sup>  
1064 nm, 7 ns, 10 Hz 1 J/cm<sup>2</sup>  
532 nm, 7 ns, 10 Hz 0.6 J/cm<sup>2</sup>  
355 nm, 7 ns, 10 Hz 0.3 J/cm<sup>2</sup>  
Peak power density  
1064 nm, 360  $\mu\text{s}$ , 5 Hz 14 kW/cm<sup>2</sup>  
1064 nm, 7 ns, 10 Hz 143 MW/cm<sup>2</sup>  
532 nm, 7 ns, 10 Hz 86 MW/cm<sup>2</sup>  
355 nm, 7 ns, 10 Hz 43 MW/cm<sup>2</sup>  
Physical characteristics  
Effective aperture 12 mm  $\emptyset$   
Absorber (high damage threshold) H2  
Dimensions 73H x 73W x 20D mm (72D mm with tube)  
Weight (head only) 0.31 kg



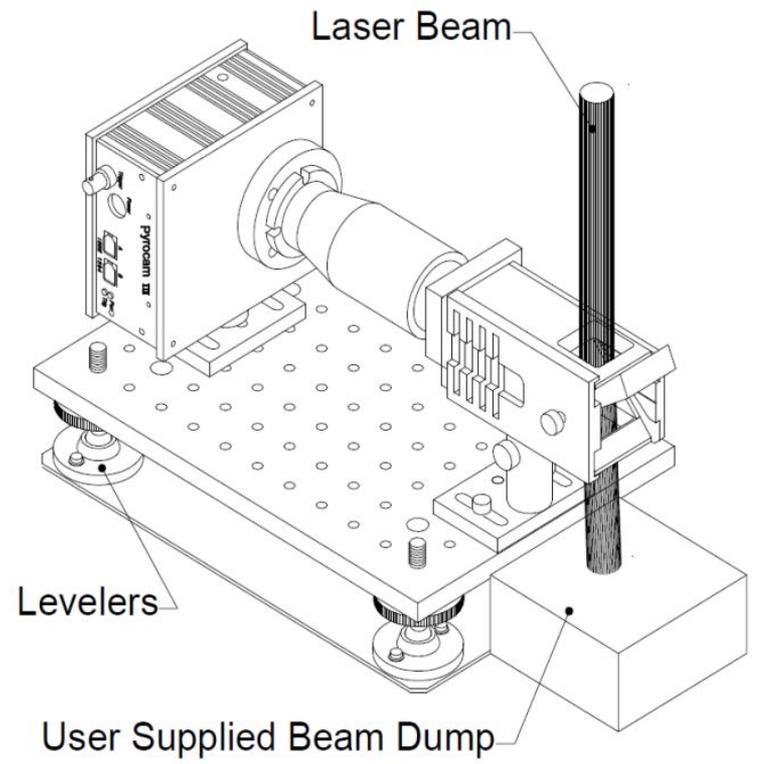
Model	Comet 1K		Comet 10K		Comet 10K-HD		
Use	For powers to 1kW		For powers to 10kW		For high power density beams		
Absorber Type	Broadband		Broadband		Broadband with reflective cone beam spreader		
Spectral Range $\mu\text{m}$	0.2 - 20		1.06 and 10.6		1.06 and 10.6		
Aperture mm	$\phi 50\text{mm}$		$\phi 100\text{mm}$		$\phi 55\text{mm}$		
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 <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>	<100ns		0.3		0.3		
	10 $\mu\text{s}$		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

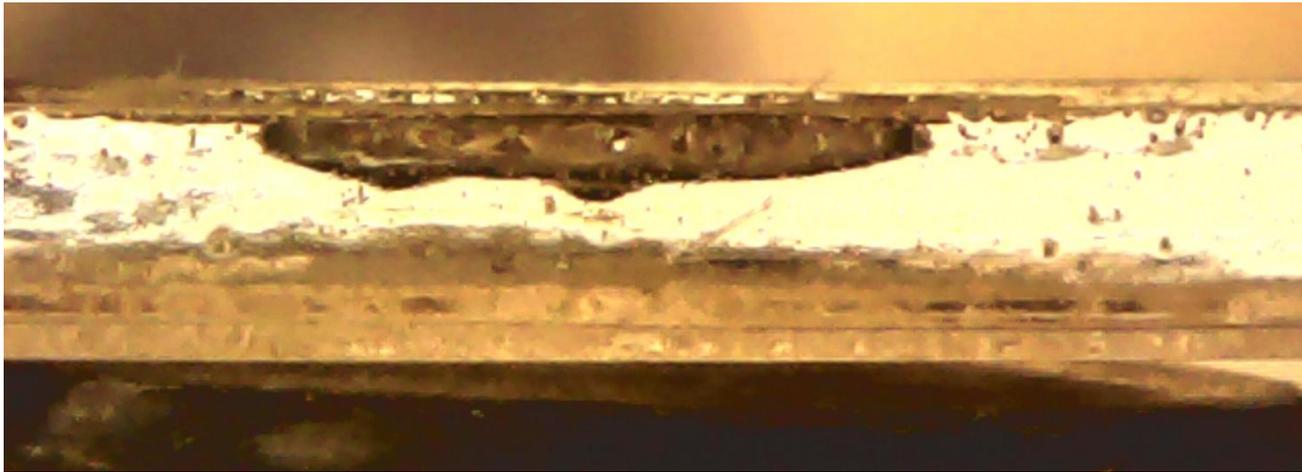
Для маломощных лазеров видимого и ближнего ИК диапазона – обычная ПЗС-матрица, видеокамера

Для лазеров дальнего ИК диапазона – микроболометрическая матрица

«Подручный» способ – выжигание лунки в оргстекле



# Отпечаток на оргстекле

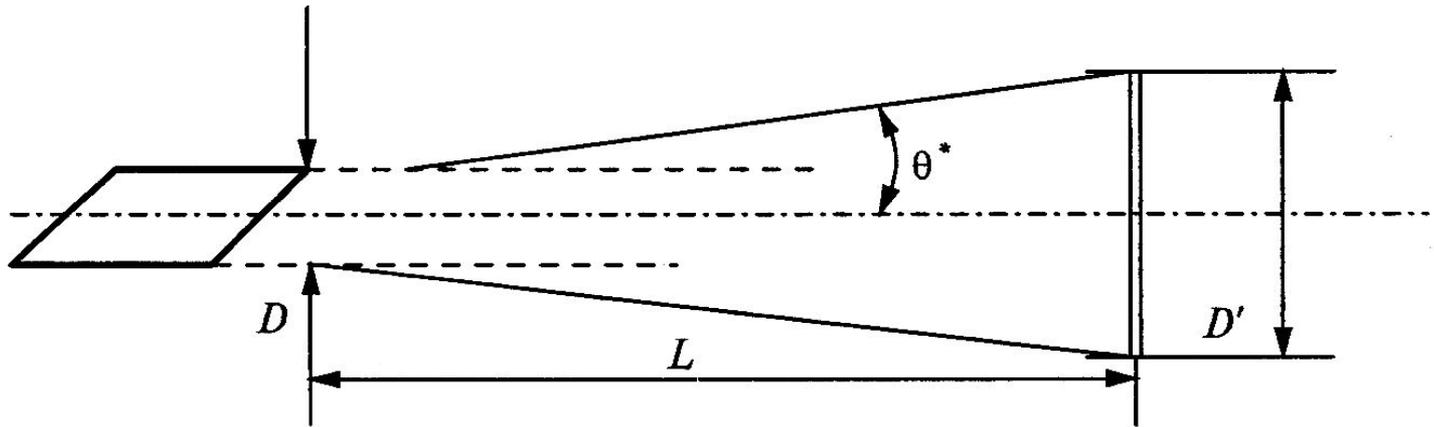


# Поляризация

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

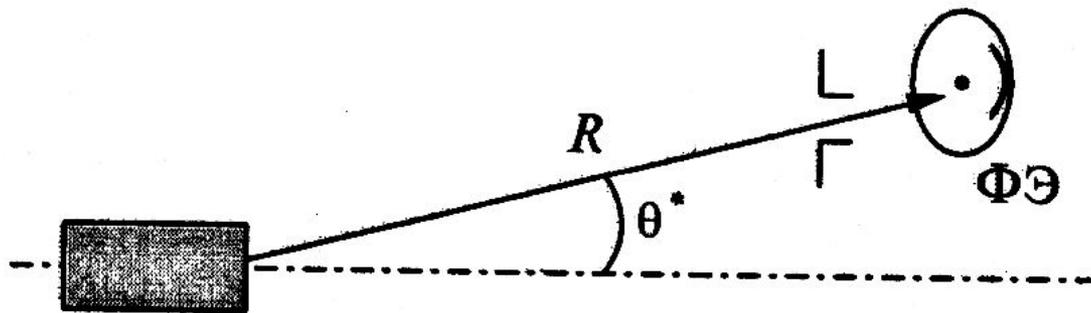
# Угловая расходимость

- 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»



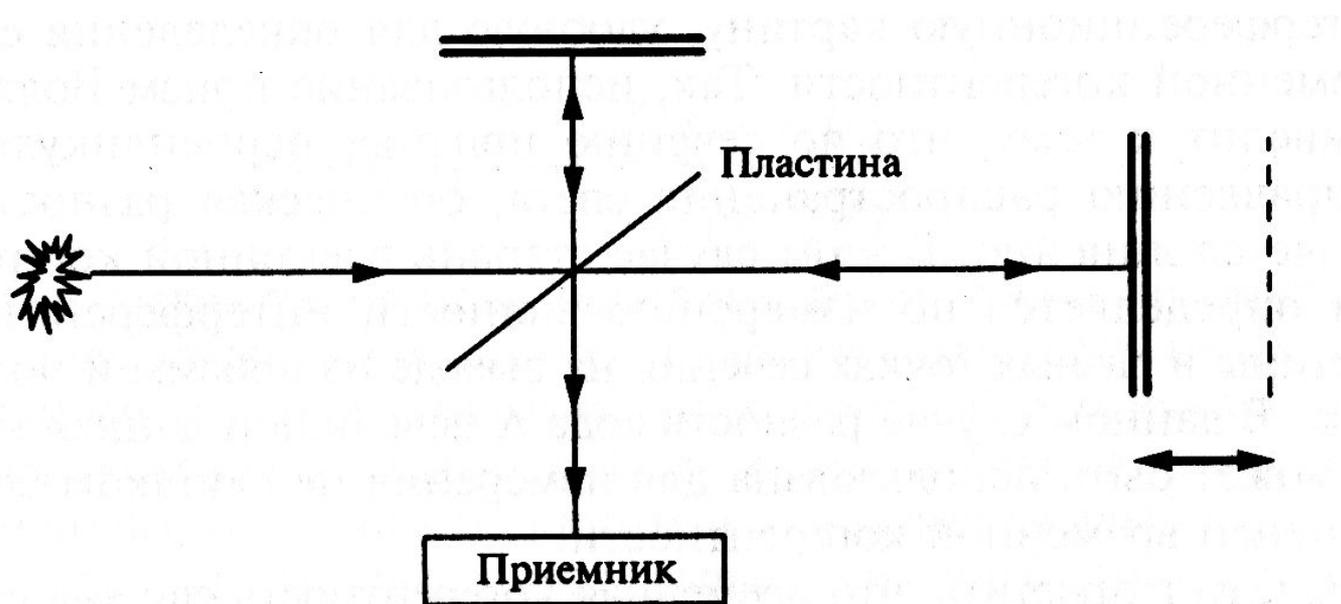
# Измерение угловой расходимости

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

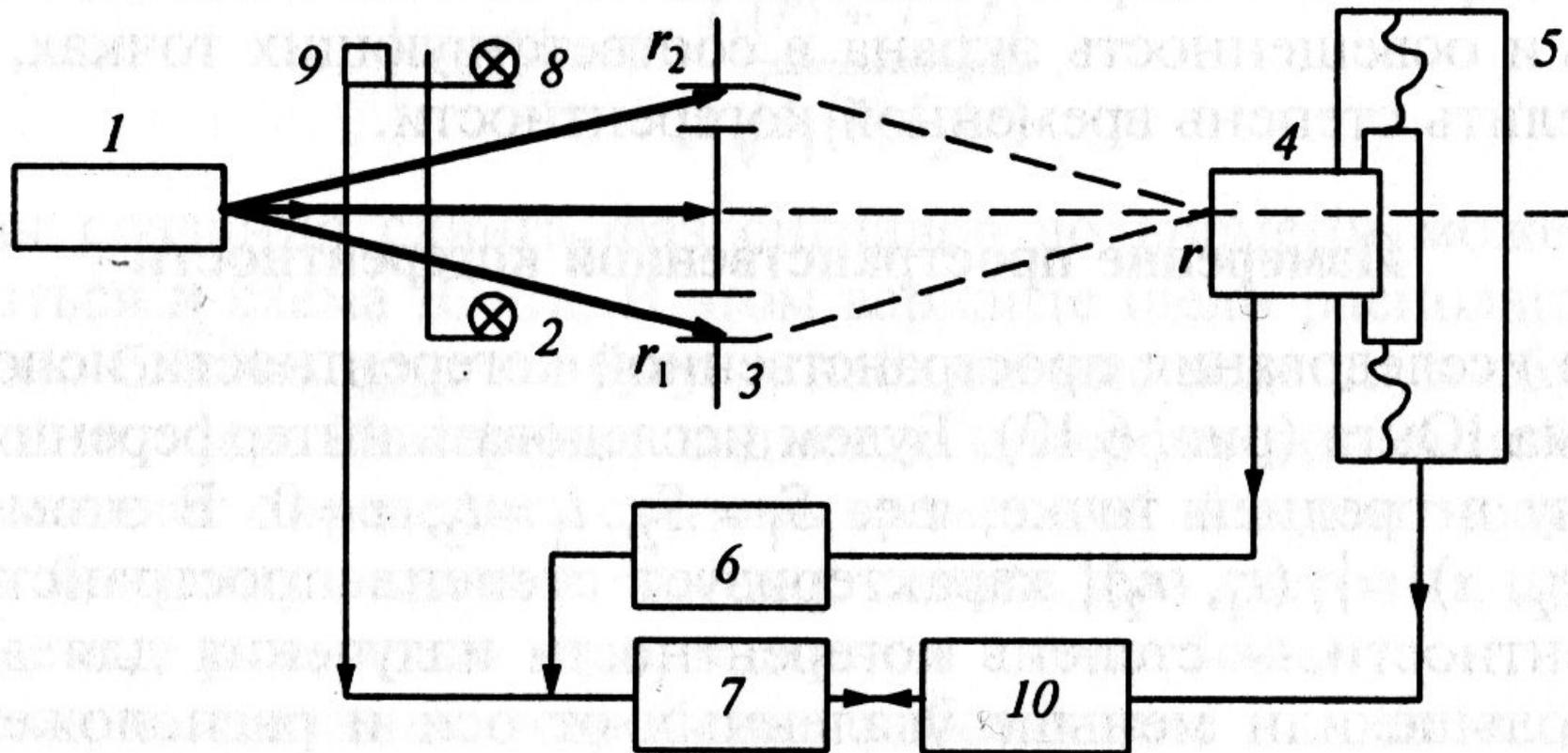
# Измерение когерентности

- 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

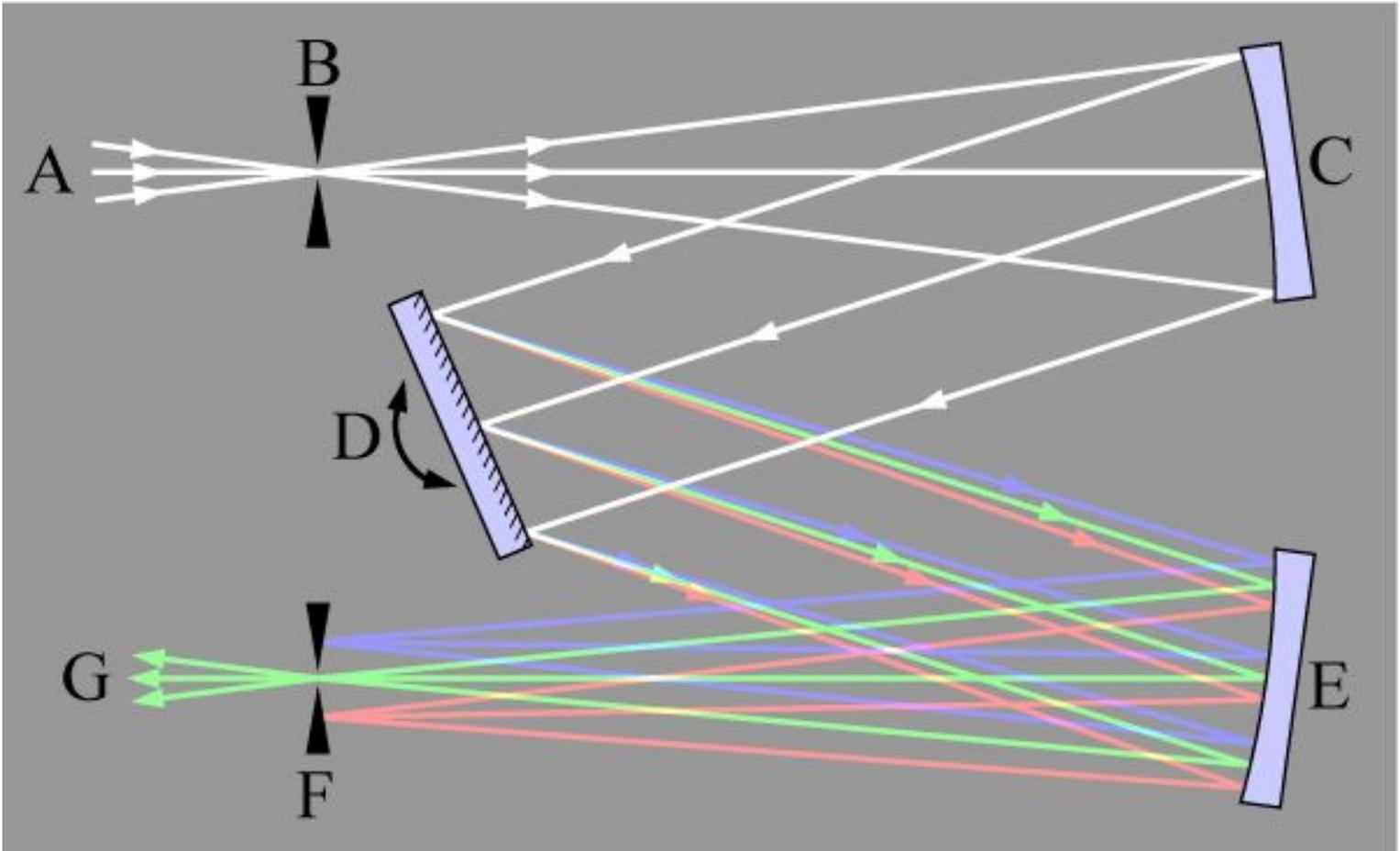


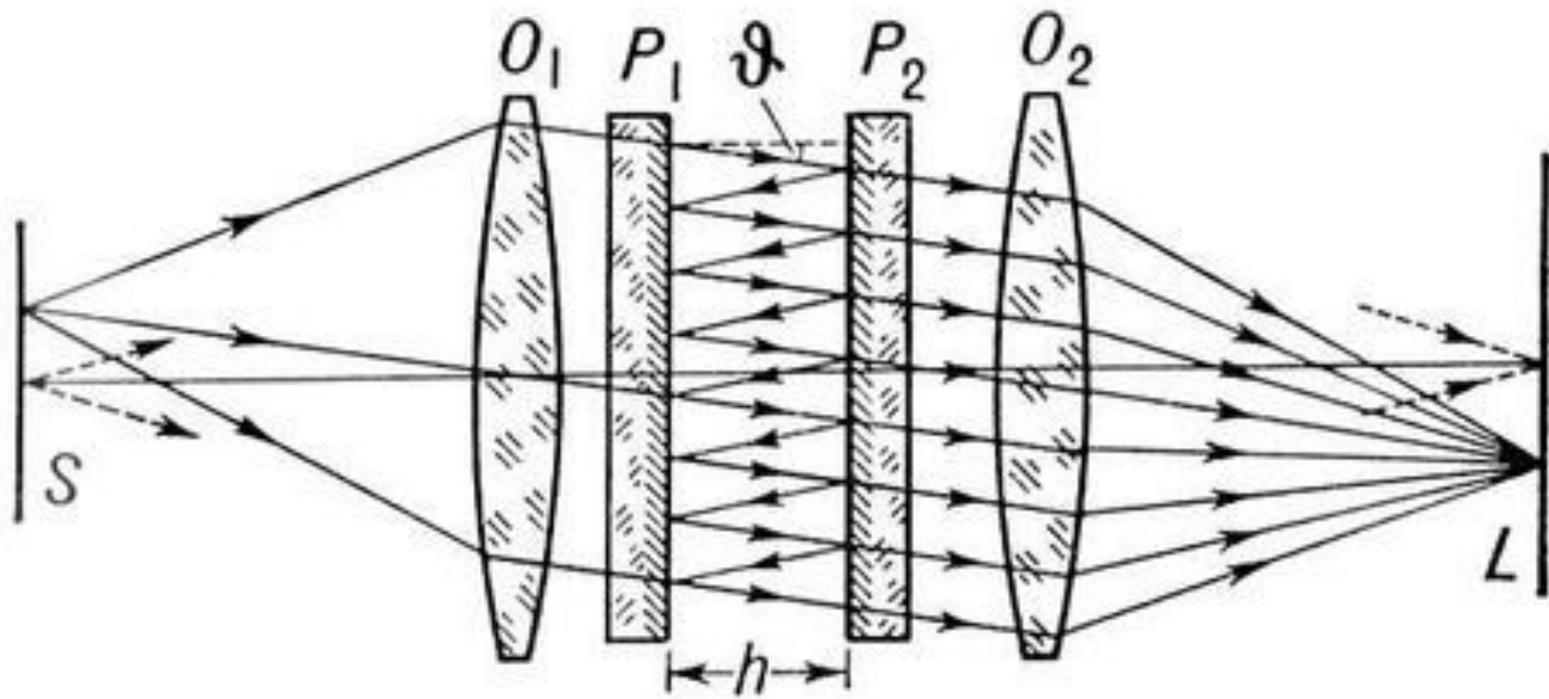
# Пространственная когерентность – удаление от оси



# Измерение длины волны

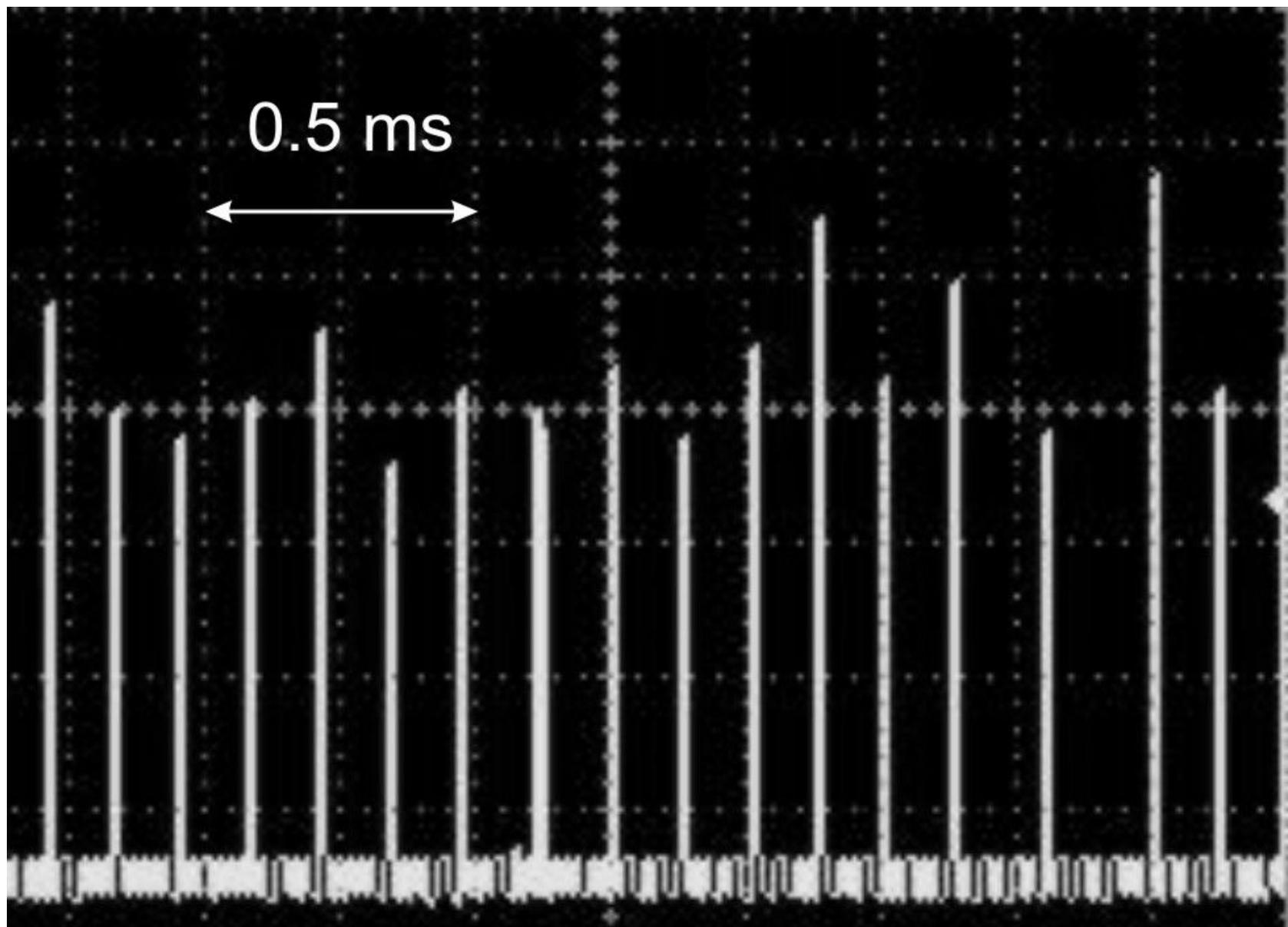
- Для измерительных лазеров и для лазеров с перестраиваемой длиной волны!
- Лазер – монохроматор – приемник
- Используется: дифракционные решетки, призмы, интерферометр Фабри-Перо
- Обязательная калибровка по спектральным линиям! Водородная лампа, ртутная лампа. Т.к. требуется измерять частоту очень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



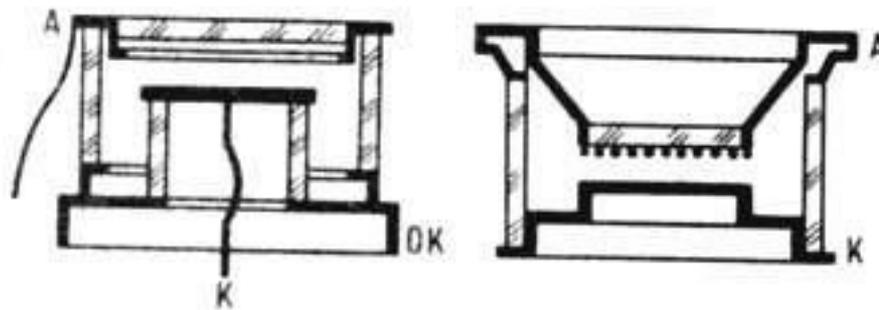


# Измерение формы оптического импульса

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

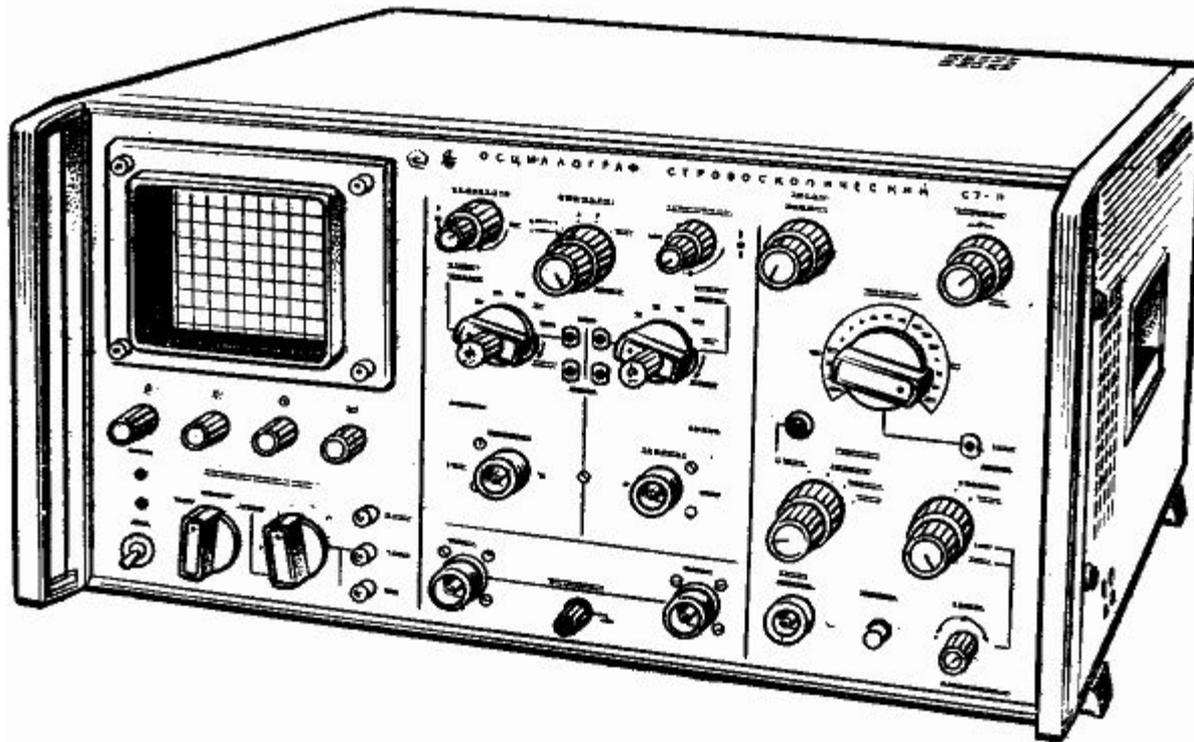


- Вакуумный фотоэлемент специальной конструкции – с очень малыми размерами электродов и высоким рабочим напряже



- 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

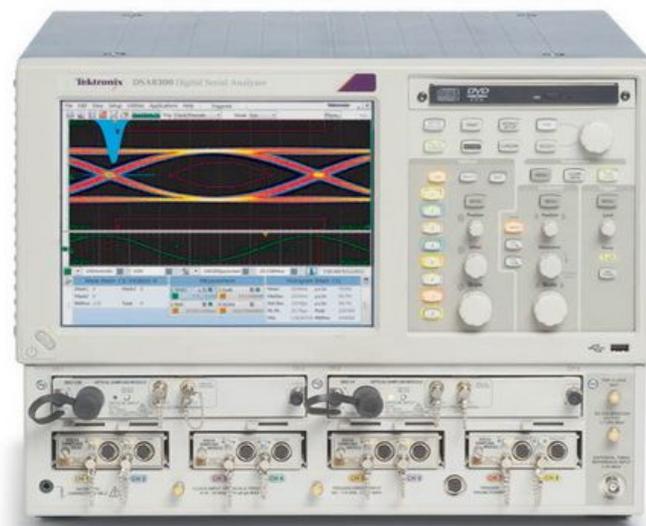
Уровень собственных шумов 1,5 мВ

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