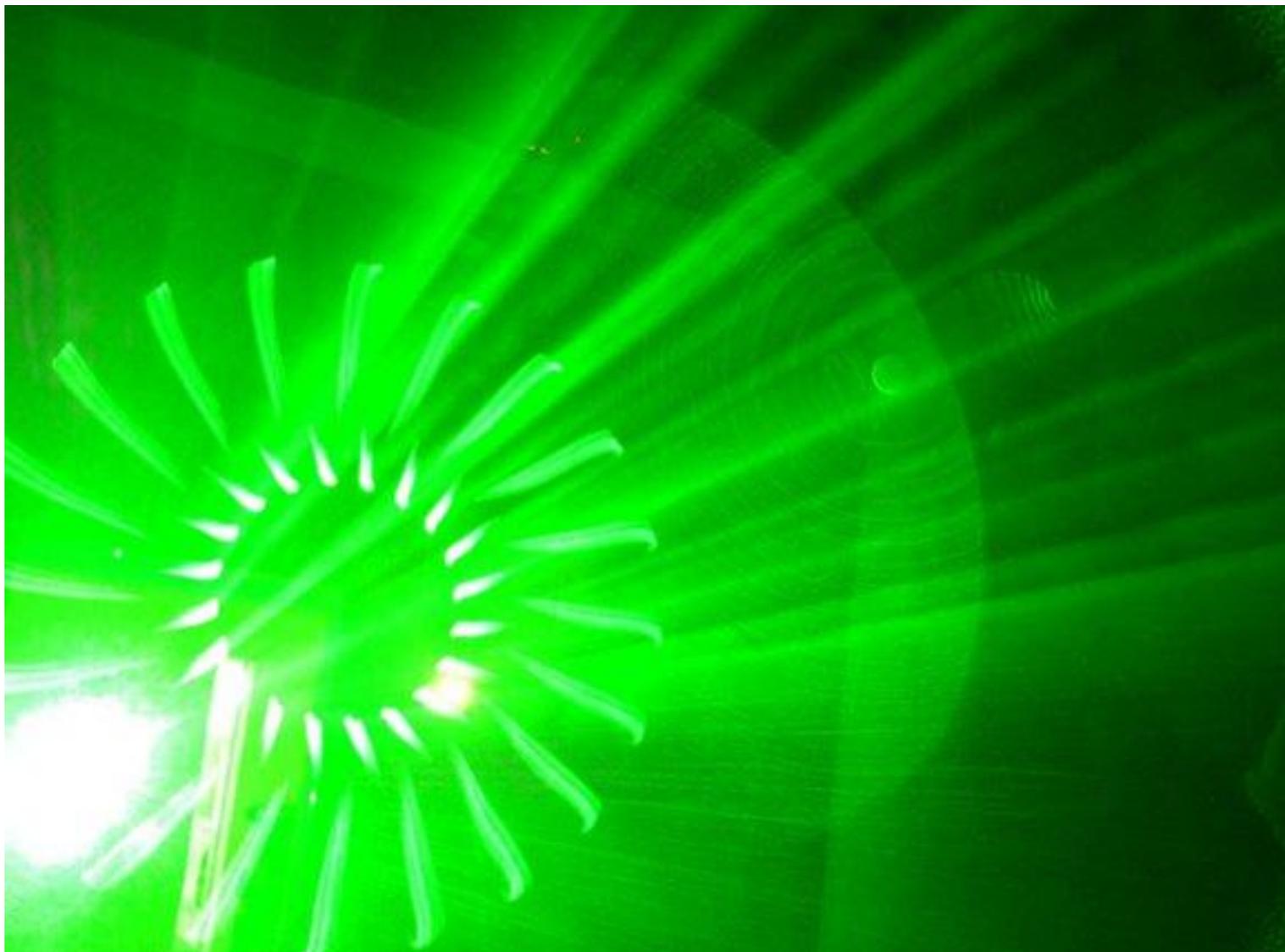


Тема лекции: **ЗАЩИТА ОТ ЛАЗЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ**

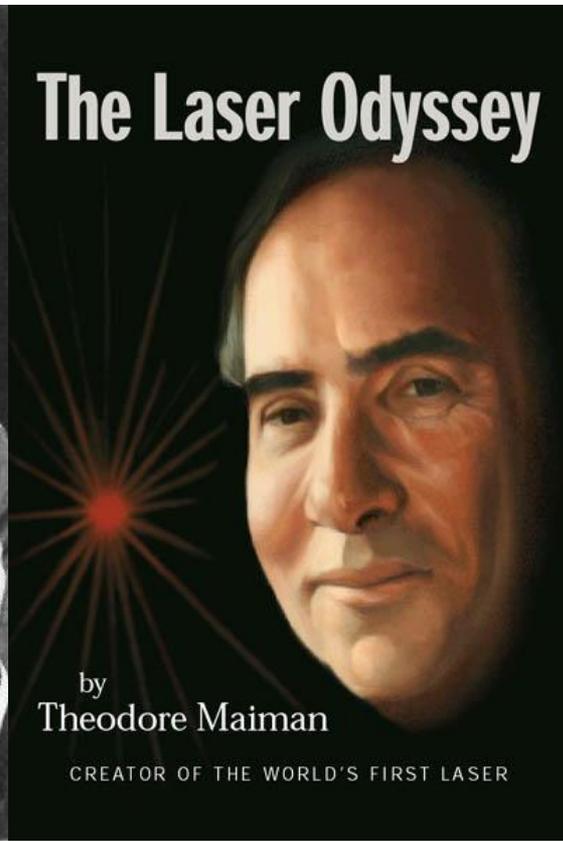
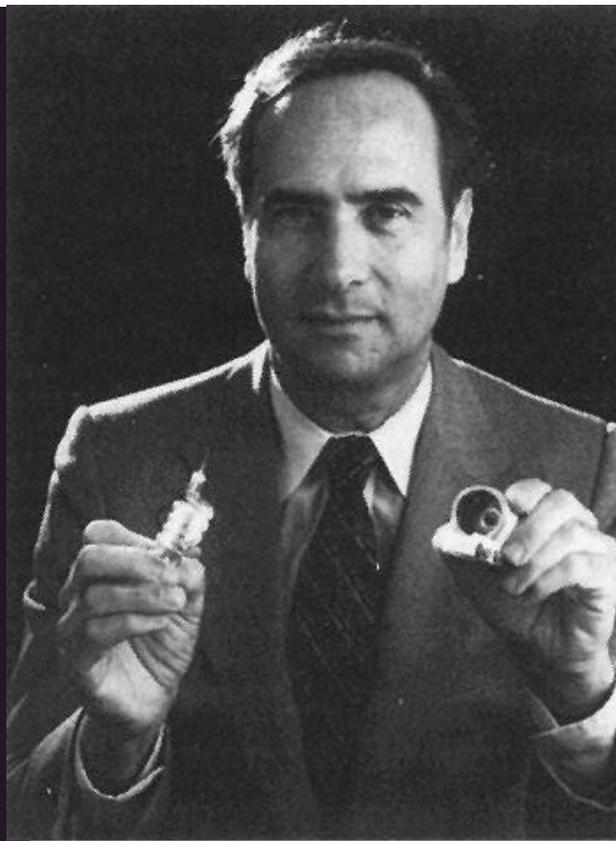
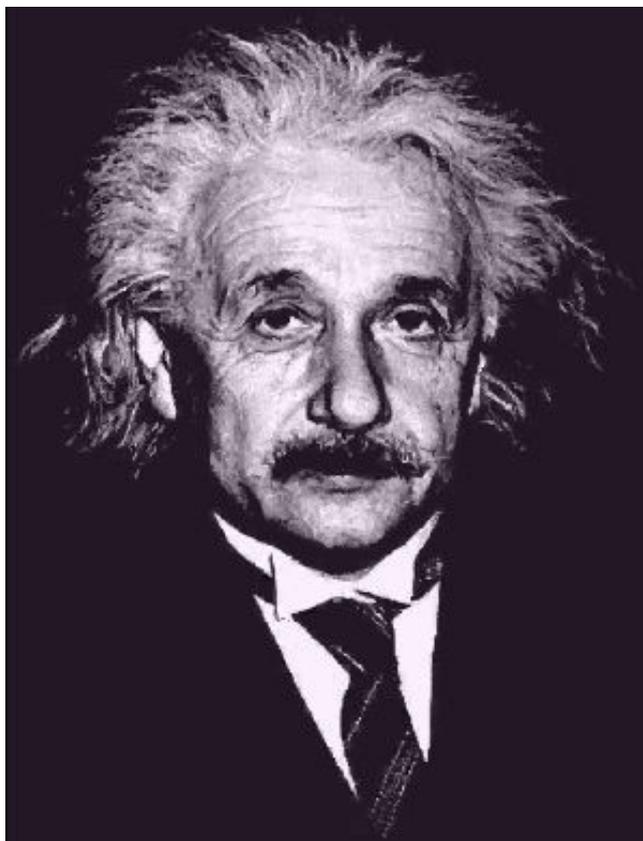


Лазер это генератор электромагнитного излучения оптического диапазона, основанный на использовании вынужденного излучения.

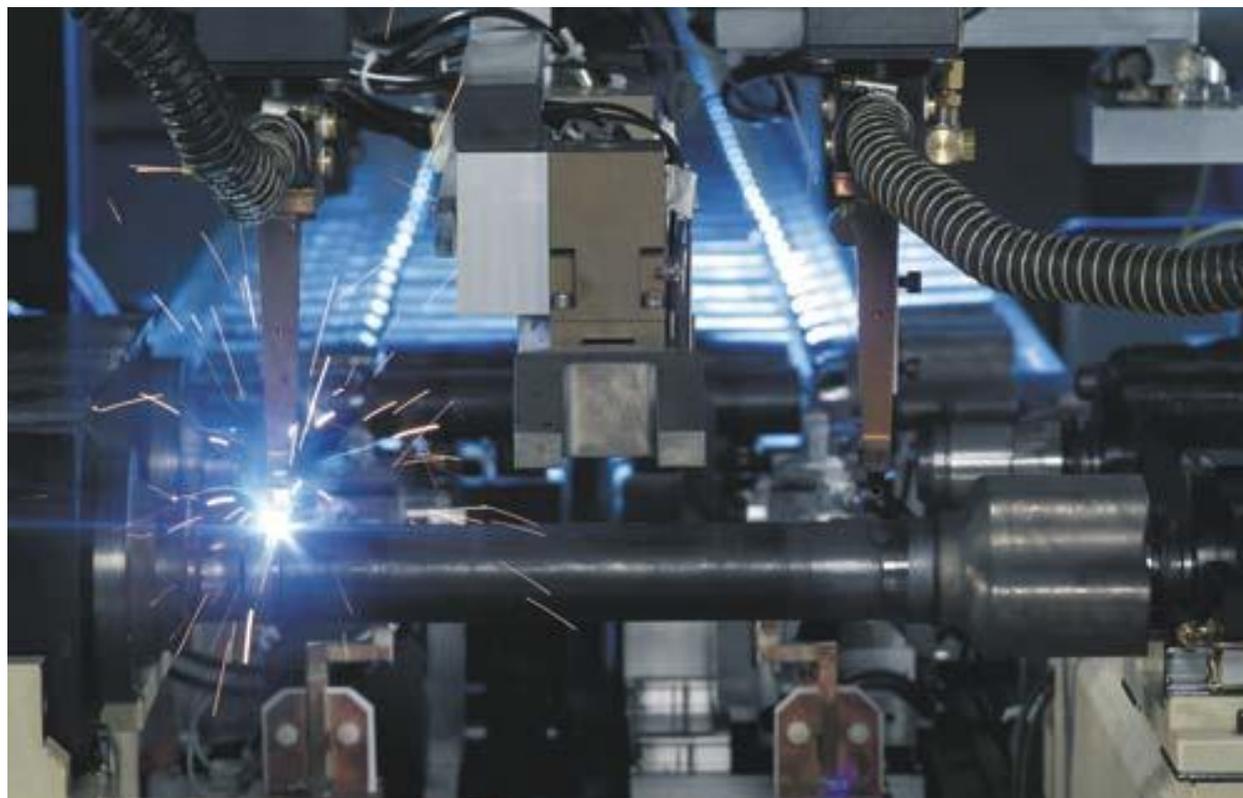
Термин *лазер* (англ. laser, составленное из первых букв фразы Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) — означает усиление света в результате вынужденной эмиссии (выпуска) излучения.

Название ЭМП	Название ЭМИ		Диапазон частот	Диапазон длин волн
Статические	—		0	—
Радиочастотные	Крайне низкие	КНЧ	3...30 Гц	100... 10 Мм
	Сверхнизкие	СНЧ	30... 300 Гц	10... 1 Мм
	Инфранизкие	ИНЧ	0,3... 3 кГц	1000... 100 км
	Очень низкие	ОНЧ	3... 30 кГц	100... 10 км
	Низкие	НЧ	30... 300 кГц	10... 1 км
	Средние	СЧ	0,3... 3 МГц	1... 0,1 км
	Высокие	ВЧ	3... 30 МГц	100... 10 м
	Очень высокие	ОВЧ	30... 300 МГц	10... 1 м
	Ультравысокие	УВЧ	0,3... 3 ГГц	1... 0,1 м
	Сверхвысокие	СВЧ	3... 30 ГГц	10... 1 см
	Крайне высокие	КВЧ	30... 300 ГГц	10... 1 мм
Гипервысокие	ГВЧ	0,3... 3 ТГц	1... 0,1 мм	
Оптические	Инфракрасные		$3 \dots 3,75 \times 10^2$ ТГц	100... 0,8 мкм
	Видимые		$3,75 \cdot 10^2 \dots 7,5 \cdot 10^2$ ТГц	0,8... 0,4 мкм
	Ультрафиолетовые		$7,5 \cdot 10^2$ ТГц... $3 \cdot 10^4$ ПГц	400... 1 нм
Ионизирующие	Рентгеновское излучение		$3 \cdot 10^2 \dots 5 \cdot 10^4$ ПГц	1000... 6 пм
	Гамма-излучение		$> 5 \cdot 10^4$ ПГц	$< \dots 6$ пм

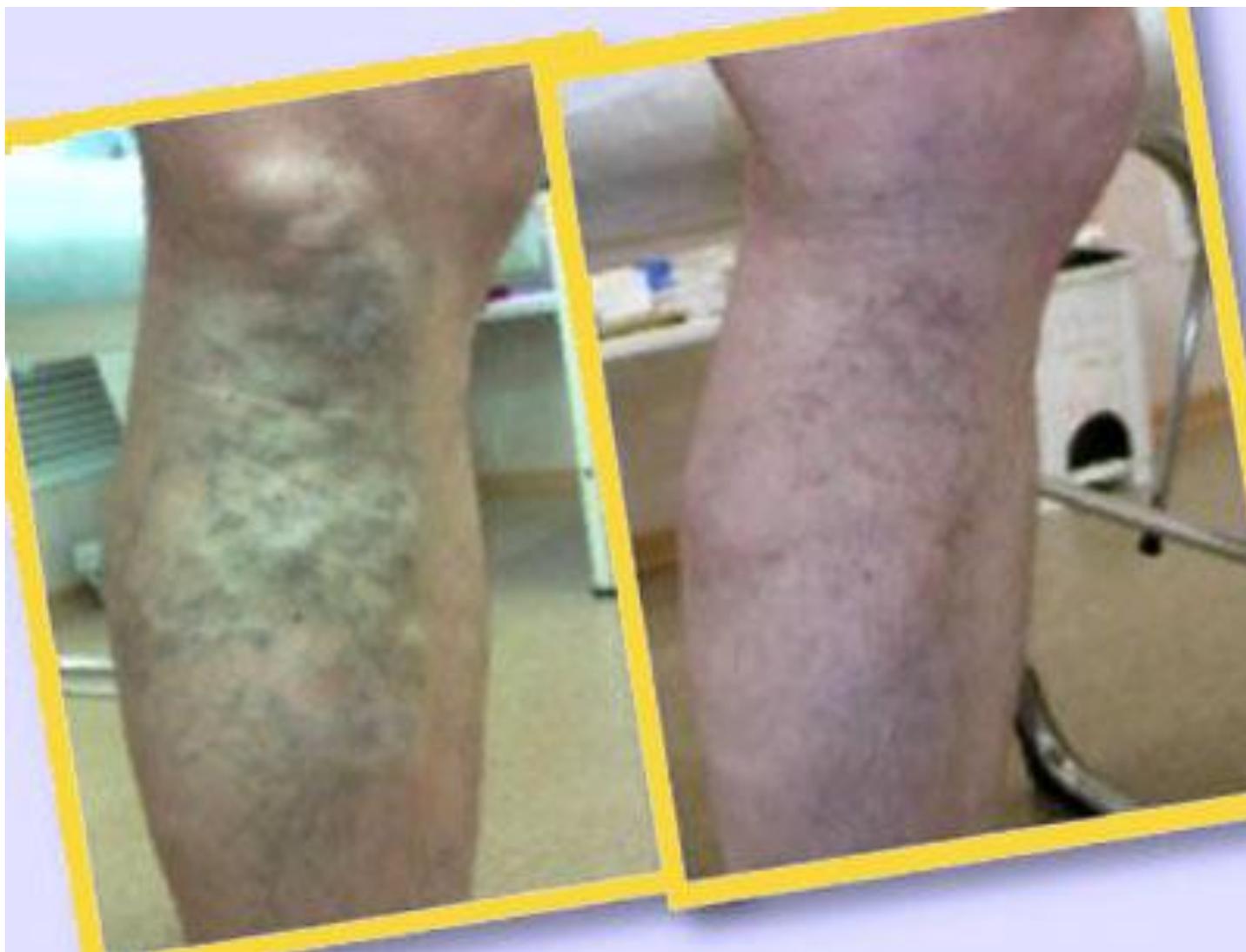
Хотя лазерный процесс теоретически был предсказан А. Эйнштейном в 1916 г., первый успешный рубиновый лазер продемонстрирован Т. Мейманом только в 1960 г.



В последние годы лазеры вышли из исследовательских лабораторий в промышленные, медицинские и офисные учреждения, на строительные площадки и даже в домашнее хозяйство.

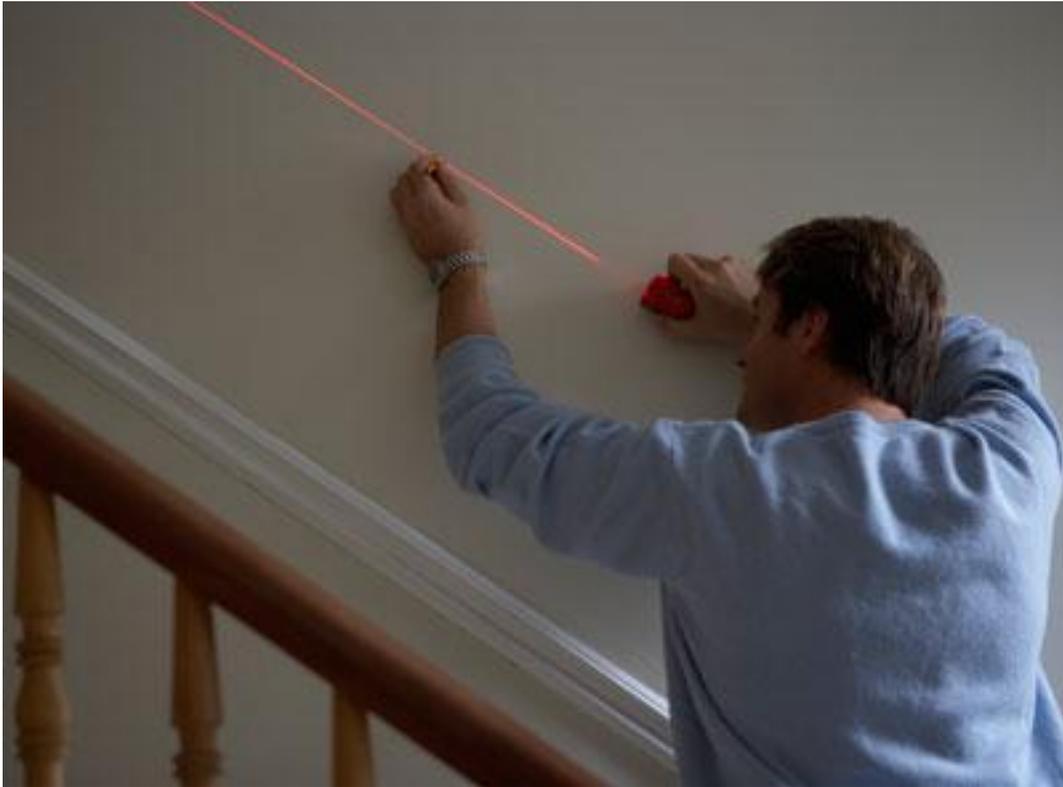


5-координатная технология обработки деталей семейства «корпус лазерного гироскопа» из труднообрабатываемого материала «ситалл» - специальным образом кристаллизованной разновидности стекла. Преимущества - стабильная повторяемость точности и качества деталей.



Лазерная коагуляция, микрофлебэктомия и склеротерапия.

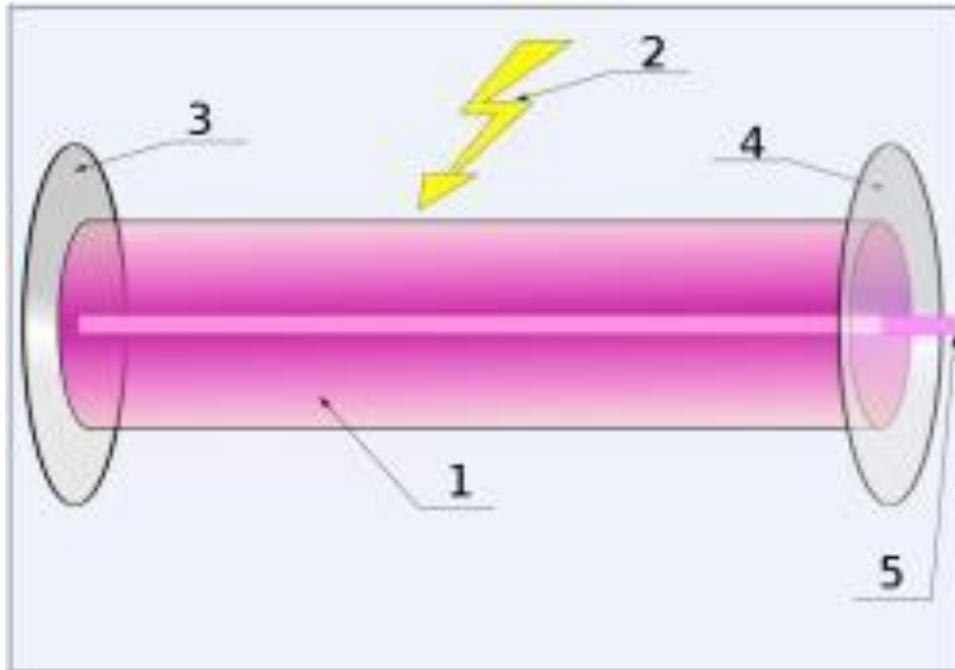






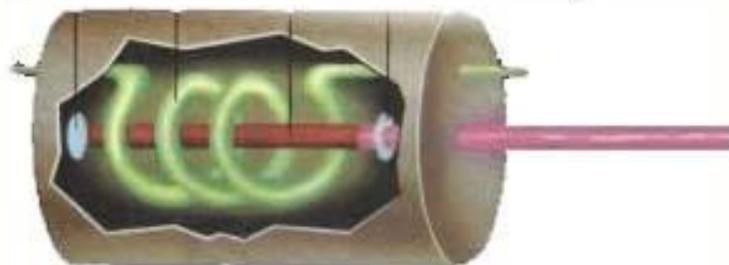
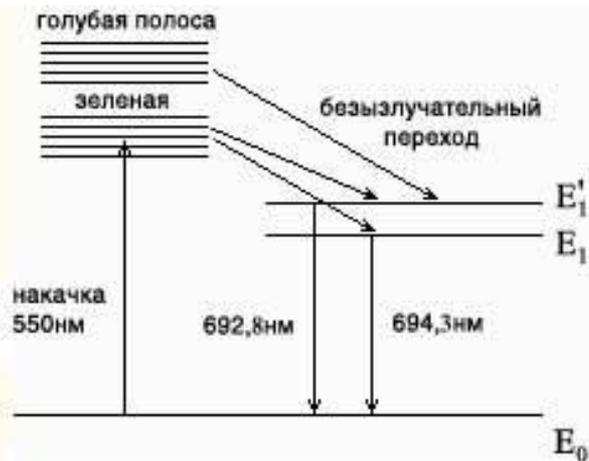
Все лазеры состоят из **трех основных конструктивных блоков**:

- 1. Активная среда** (твердая (рубин), жидкая (органические красители) или газообразная (гелий, неон, углекислый газ)), которая определяет возможную длину волн эмиссии;
- 2. Источник энергии** (например, газовый разряд, электрический ток, импульсная лампа или химическая реакция);
- 3. Оптический резонатор** (простейший оптический резонатор состоит из двух параллельно расположенных зеркал).



На схеме обозначены:

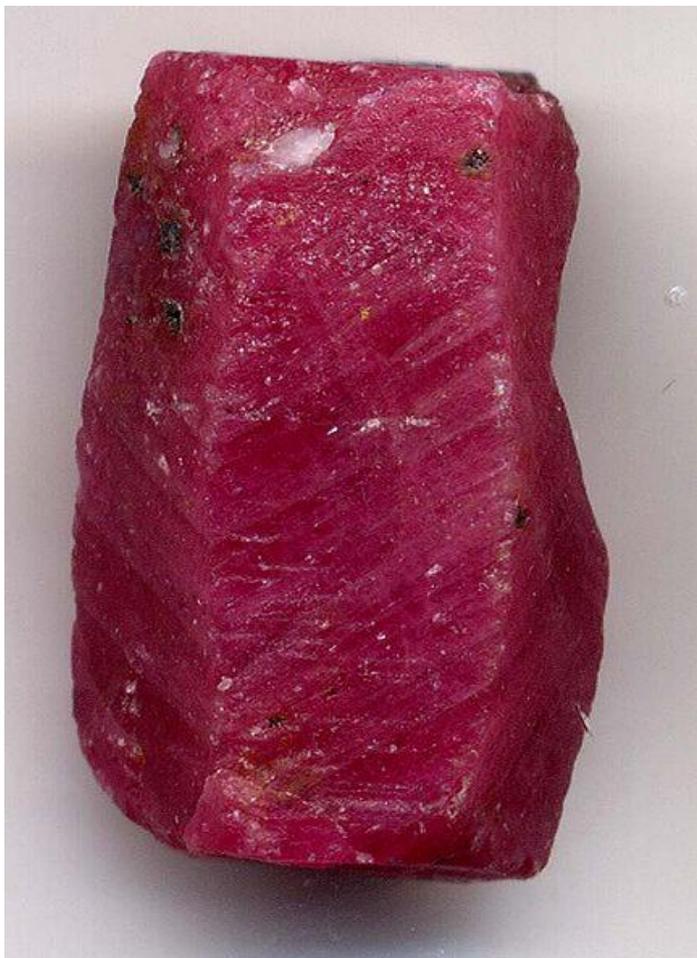
- 1 — активная среда;
- 2 — энергия накачки лазера;
- 3 — непрозрачное зеркало
- 4 — полупрозрачное зеркало;
- 5 — лазерный луч.



Непрозрачное
зеркало

Полупрозрачное
зеркало





*Необработанный кристалл рубина,
длина около 2 см.*



Огранённый рубин



Гелий-неоновый лазер
Светящийся луч в
центре — это не
собственно лазерный
луч, а электрический
разряд, порождающий
свечение, подобно
тому, как это
происходит в
неоновых лампах. Луч
проецируется на экран
справа в виде
светящейся красной
точки.

Принцип действия лазера основан на свойстве атома излучать фотоны при переходе из возбужденного состояния в основное.

При нормальных условиях число атомов, находящихся в веществе в возбужденном состоянии, значительно меньше числа атомов, находящихся на основном энергетическом уровне.

В лазерах с помощью специальных приемов и путем подачи на активную среду энергии накачки (свет, высокочастотное электромагнитное поле и др.) добиваются того, что число атомов, находящихся в возбужденном состоянии, становится значительно больше числа атомов, находящихся на основном энергетическом уровне.

Лавинообразный переход атомов за очень короткое время из возбужденного состояния в основное приводит к возникновению лазерного излучения.

В России «Санитарными нормами и правилами устройства и эксплуатации лазеров» № 5804-91 установлено 4 класса опасности лазеров.

Эксимерный лазер — разновидность ультрафиолетового газового **лазера**, широко применяемая в глазной хирургии (Кератэктомия) и полупроводниковом производстве.

Непрерывное лазерное излучение — излучение, существующее в любой момент времени наблюдения. **Импульсное излучение** — излучение, существующее в ограниченном интервале времени, меньшем времени наблюдения

Эксимерлазерная коррекция зрения

Эксимерные лазеры, применяемые для коррекции аномалий рефракции, можно разделить на три основных типа: полноапертурные, полусканирующие и сканирующие.

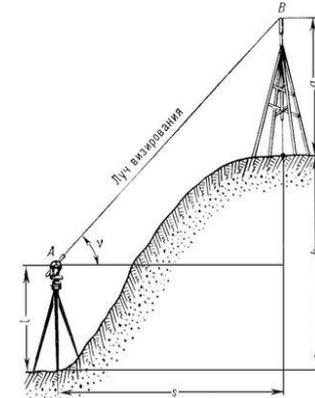
- ***Полноапертурные лазеры***
воздействуют сразу на всю зону роговицы.
- ***Полусканирующие лазеры***
производят фотоабляцию роговицы с помощью щели, которая постоянно перемещается, постепенно обрабатывая всю аблируемую область роговицы.

- ***Сканирующие лазеры*** - последнее поколение лазеров, используемое сейчас в клинической практике. Такие лазеры проводят фотоабляцию с помощью пятна очень маленького диаметра. Работа лазера MEL-70 G-scan, очень точна и безопасна.

Типы и характеристики лазеров

Рабочее вещество (активная среда, тип лазера)	Длина волны, мм	Режим работы	Мощность, Вт	Частота следования импульсов, Гц	Длительность импульсов	Область применения
Эксимерные лазеры	< 0,4	Импульсный	10	1...10 ⁴	10 нс	Фотофизика, фотохимия, спектроскопия
Аргон	0,48	Непрерывный	1...30	—	—	Испарение
	0,51	Импульсный	1...25	1...10 ³	5...100 мкс	
Гелий-неон	0,63	Непрерывный	0,001...0,03	—	—	Юстировка, нивелирование
Рубин	0,69	Импульсный	1...20	1	0,3...6 мс	Сварка, сверление
Углекислый газ	10,6	Непрерывный	10...10 ⁴	—	—	Резание, сварка, термообработка
		Импульсный	1...250	1...10 ³	50...150 мс	Легирование, сверление, сварка
		С модуляцией добротности	10...10 ⁴	200...500	30...300 мкс	Испарение, сварка

Юстировка (от нем. justieren выверять) — совокупность операций по выравниванию конструкций и конструктивных элементов

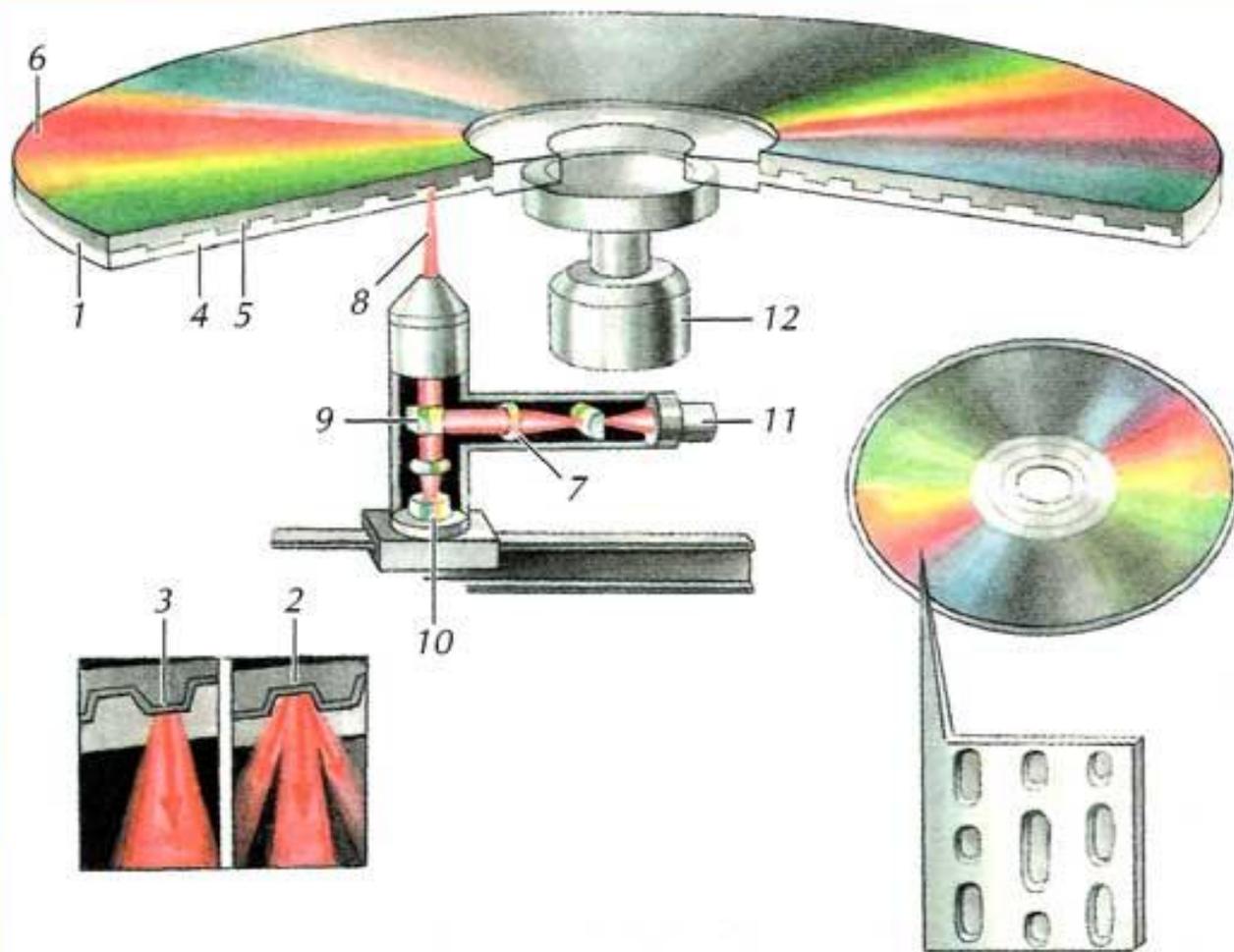


Нивелирование

Легирование (нем. legieren — «сплавливать», от лат. ligare — «связывать») — добавление в состав материалов примесей для изменения (улучшения) физических и химических свойств основного материала **20**

К **1 классу** относятся полностью безопасные лазеры, т.е. такие лазеры, выходное коллимированное излучение которых **не представляет опасности при облучении глаз и кожи.** Большинство лазеров, полностью изолированных от человека (например, лазерные записывающие устройства для компакт-дисков), относятся к классу 1. Для лазеров класса 1 не требуется никаких мер безопасности.

КОЛЛИМИРОВАННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ — лазерное излучение в виде пучков, выходящих непосредственно из лазеров или отраженных от зеркальных поверхностей (без рассеивающих систем).



Считывание информации с компакт-диска.

1 — компакт-диск; 2 — впадина; 3 — островок; 4 — светопрозрачное покрытие, защищающее нанесённую на CD информацию от повреждения; 5 — отражающее покрытие (записывающая поверхность); 6 — защитный слой; 7 — фокусирующий объектив; 8 — лазерный луч; 9 — преломляющая призма; 10 — фотодетектор; 11 — лазерное устройство; 12 — двигатель, вращающий диск.

Ко **2 классу** относятся лазеры, выходное излучение которых представляет **опасность при облучении глаз или кожи человека** коллимированным пучком; диффузно отраженное излучение безопасно как для кожи, так и для глаз во всех диапазонах. Примерами лазеров класса 2 являются лазерные указки и некоторые регулировочные лазеры.







Лазеры 3 класса — это лазеры, выходное излучение которых **представляет опасность при облучении глаз не только коллимированным, но и диффузно отраженным излучением на расстоянии 10 см.**

Лазеры этого класса создают опасность для глаз, поскольку реакция естественного отвращения, состоящая из мигательного рефлекса (приблизительно 0,1... 0,15 секунд), поворота глаз и движения головы и дрящаяся 0,25 секунд недостаточно быстра, чтобы ограничить экспозицию сетчатки безопасным в данный момент уровнем. Ущерб может быть также причинен и другим структурам глаза (например, роговице и хрусталику). Диффузно отраженное ЛИ не представляет опасности для кожи. Этот класс распространяется только на лазеры, генерирующие излучение с длиной волны от 1400 до 10^5 нм.

Примерами лазеров класса 3 являются многие исследовательские лазеры и военные лазерные дальномеры.



IV международный салон вооружения и военной техники. Выставка технологий
© Игорь Долгов / Фотобанк Лори



lori.ru/1808831



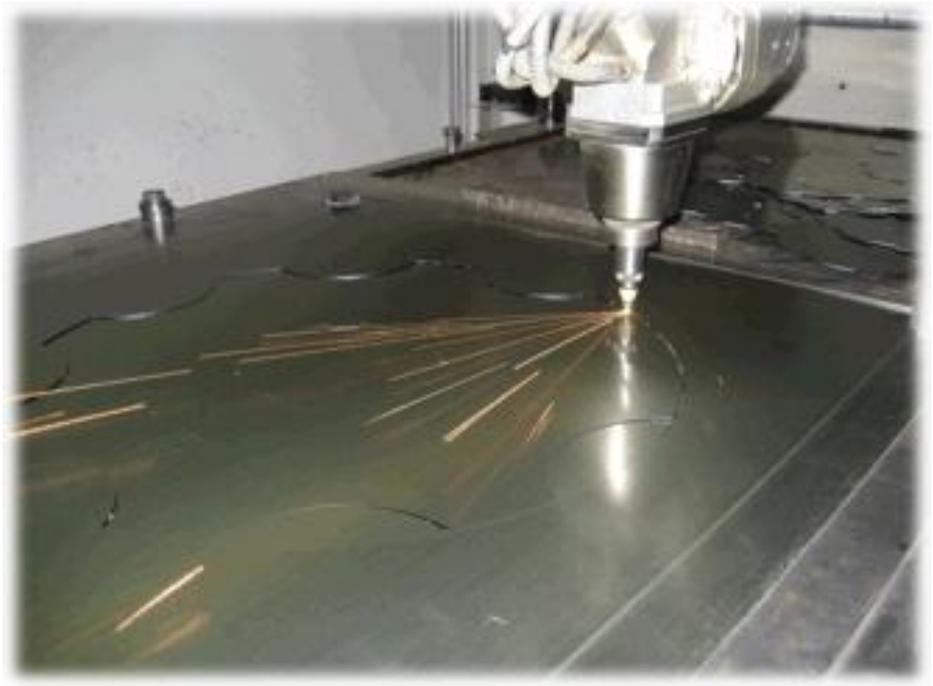
IV международный салон вооружения и военной техники. Выставка технологий
© Игорь Долгов / Фотобанк Лори



lori.ru/1808846

Лазеры 4 класса — лазеры, диффузно отраженное излучение которых представляет опасность не только для глаз, но и для кожи на расстоянии 10 см от отражающей поверхности. Фактически, все хирургические лазеры и лазеры для обработки материалов, используемые для сварки и резки, если они не закрыты защитной оболочкой, относятся к классу 4. Все лазеры со средней выходной мощностью более 0,5 Вт также относятся к классу 4.



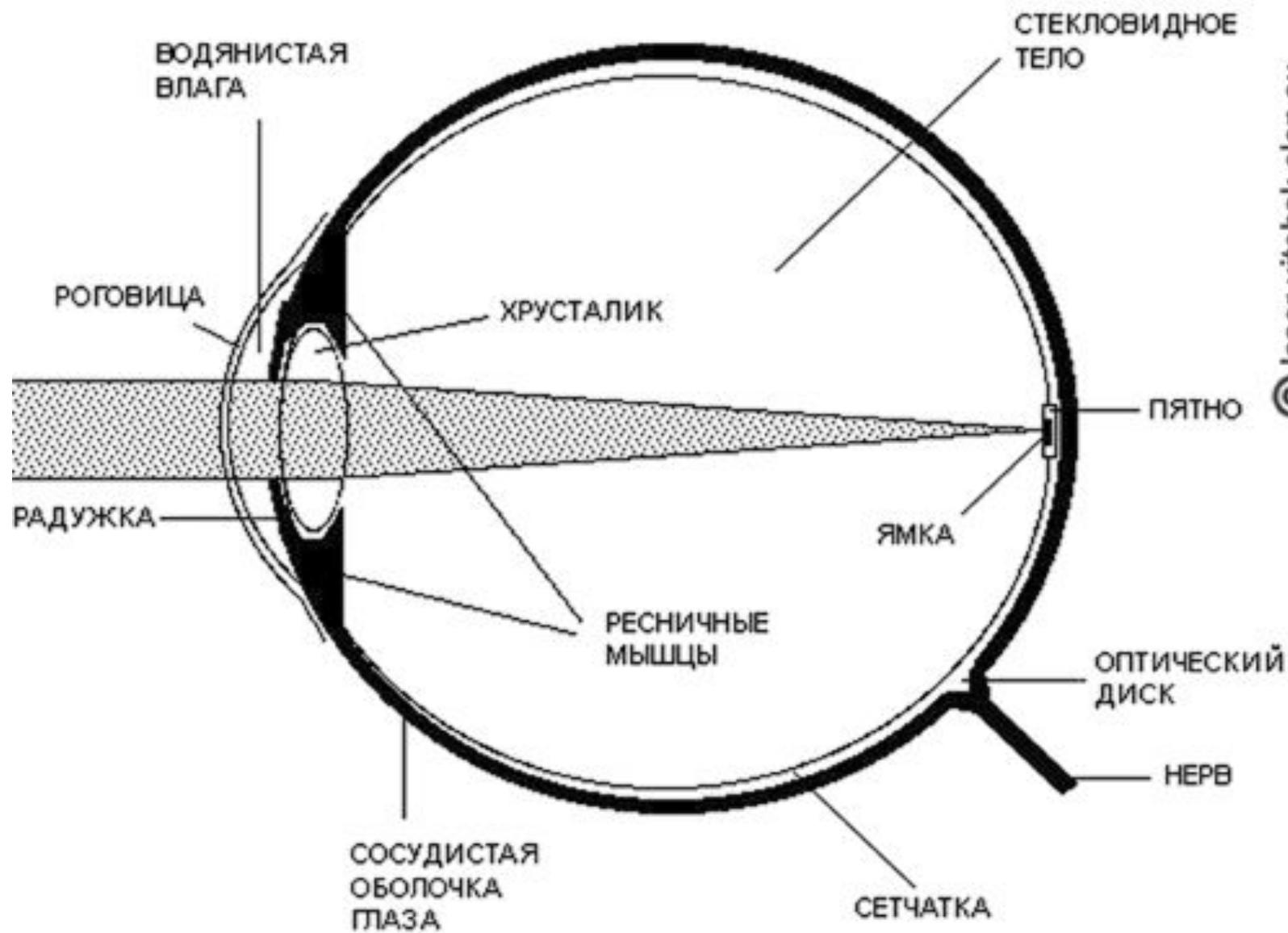




ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Лазерное излучение представляет особую опасность для тех тканей, которые максимально поглощают излучение. Наиболее уязвимым для лазерного излучения является орган зрения человека.

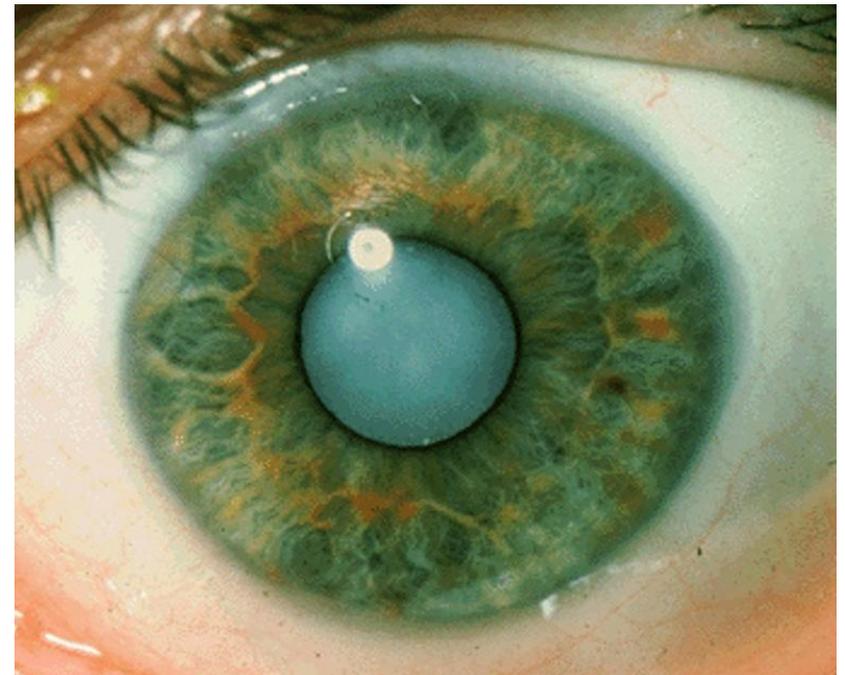
Сетчатка глаза, наиболее важная его структура, может быть поражена лазерами видимого и ближнего ИК диапазонов, поскольку в силу специфики «своей работы» она наиболее чувствительна к воздействию электромагнитных излучений видимого диапазона спектра. Лазерное УФ и дальнее ИК излучения не достигают сетчатки, но могут повредить роговицу, радужку, хрусталик.





Степень повреждения радужной оболочки в некоторой мере зависит от ее окраски. **Зеленые и голубые глаза более уязвимы**, чем карие.

Нагрев хрусталика, возникающий в результате воздействия лазерного излучения, ведет к образованию **катаракты**.





Степень поражения глаза может меняться в широких пределах — от быстропроходящих функциональных расстройств (ослепление при вспышке, послеобразы) до тяжелых разрушений, сопряженных с выбросом фрагментов в стекловидное тело и кровотечением.

Гибель клеток фоторецептора приводит к необратимому нарушению зрения, поскольку эти клетки не восстанавливаются.

Вторым критическим органом к действию ЛИ являются **кожные покровы.**

Взаимодействие лазерного излучения с кожей зависит от длины волны и пигментации кожи. Отражающая способность кожного покрова в видимой области спектра высокая. ЛИ дальней ИК области начинает сильно поглощаться кожей, поскольку это излучение активно поглощается водой, которая составляет 80% содержимого большинства тканей, что приводит к возникновению **опасности ОЖОГОВ КОЖИ.**



СО₂ лазер

1 год после удаления

При большой интенсивности облучения возможны повреждения не только кожи, но и внутренних тканей и органов. Эти повреждения имеют характер отеков, кровоизлияний, а также свертывания или распада крови.

Неспецифические сдвиги в состоянии здоровья лиц, обслуживающих лазеры:

- невротические состояния
- сердечно-сосудистые расстройства
- астенический и астеновегетативный синдромы.





НОРМИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Нормирование лазерного излучения (ЛИ) осуществляется на основании **«Санитарных норм и правил устройства и эксплуатации лазеров» №5804-91.**

Согласно этому документу ПДУ ЛИ устанавливаются для двух условий облучения глаз и кожи — однократного и хронического в трех диапазонах длин волн:

I — от 180 до 380 нм (УФ область);

II — от 380 до 1400 нм (видимая и ближняя ИК);

III — от 1400 до 10^5 нм (дальняя ИК).

Нормируемыми параметрами лазерного излучения являются:

энергетическая экспозиция H — величина, определяемая интегралом облученности во времени, ($\text{Дж}/\text{м}^2$);

облученность E — отношение потока излучения, падающего на малый участок поверхности, содержащий рассматриваемую точку, к площади этого участка, ($\text{Вт}/\text{м}^2$).

Значения H и E принимаются усредненными по ограничивающей апертуре, диаметр которой принимается равным $1,1 \cdot 10^{-3}$ м при воздействии лазерного излучения на глаза в I и III диапазонах длин волн и при воздействии на кожу; и $7 \cdot 10^{-3}$ м при воздействии на глаза во II диапазоне. Ограничивающая апертура — круглая диафрагма, ограничивающая поверхность, по которой производится усреднение облученности или энергетической экспозиции.

Наряду с энергетической экспозицией и облученностью регламентируются также энергия W (Дж) и мощность излучения P (Вт), прошедшего через ограничивающие апертуры указанного выше диаметра.

Указанные энергетические параметры связаны соотношениями:

$$H_{\text{пду}} = \frac{W_{\text{пду}}}{S_a};$$

$$E_{\text{пду}} = \frac{P_{\text{пду}}}{S_a},$$

где S_a — площадь ограничивающей апертуры, м².

Соотношения для определения $W_{\text{пду}}$ при однократном воздействии на глаза коллимированного лазерного излучения в спектральном диапазоне II ($380 < \lambda \leq 1400$ нм). Длительность воздействия менее 1 с.
Ограничивающая апертура — $7 \cdot 10^{-3}$ м

Спектральный интервал λ , нм	Длительность воздействия t , с	$W_{\text{пду}}$, Дж
$380 < \lambda \leq 600$	$t \leq 2,3 \cdot 10^{-11}$	$\sqrt[3]{t^2}$
	$2,3 \cdot 10^{-11} < t \leq 5,0 \cdot 10^{-5}$	$8,0 \cdot 10^{-8}$
	$5,0 \cdot 10^{-5} < t \leq 1,0$	$5,9 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt[3]{t^2}$
$600 < \lambda \leq 750$	$t \leq 6,5 \cdot 10^{-11}$	$\sqrt[3]{t^2}$
	$6,5 \cdot 10^{-11} < t \leq 5,0 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$
	$5,0 < t \leq 1,0$	$1,2 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt[3]{t^2}$
$750 < \lambda \leq 1000$	$t \leq 2,5 \cdot 10^{-10}$	$\sqrt[3]{t^2}$
	$2,5 \cdot 10^{-10} < t \leq 5,0 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-7}$
	$5,0 \cdot 10^{-5} < t \leq 1,0$	$3,0 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt[3]{t^2}$
$1000 < \lambda \leq 1400$	$t \leq 10^{-9}$	$\sqrt[3]{t^2}$
	$10^{-9} < t \leq 5,0 \cdot 10^{-5}$	10^{-6}
	$5,0 \cdot 10^{-5} < t \leq 1,0$	$7,4 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt[3]{t^2}$



МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Методы проведения дозиметрического контроля установлены в МУ № 5309-90 МУ 5309-90 «МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОРГАНОВ И УЧРЕЖДЕНИЙ САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИХ СЛУЖБ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И ГИГИЕНИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ» и частично рассмотрены в СанПиН «Санитарными нормами и правилами устройства и эксплуатации лазеров» № 5804-91

В основе методов лазерной дозиметрии лежит принцип наибольшего риска. В соответствии с ним оценка степени опасности проводится для наихудших, с точки зрения биологического воздействия, условий, то есть измерение уровней лазерного облучения осуществляется при работе лазера в режиме максимальной мощности, определенной условиями эксплуатации.

В процессе поиска и наведения измерительного прибора на объект излучения должно быть найдено такое положение, при котором регистрируются максимальные уровни лазерного излучения. При работе лазера в импульсно-периодическом режиме измеряются энергетические характеристики максимального импульса серии.

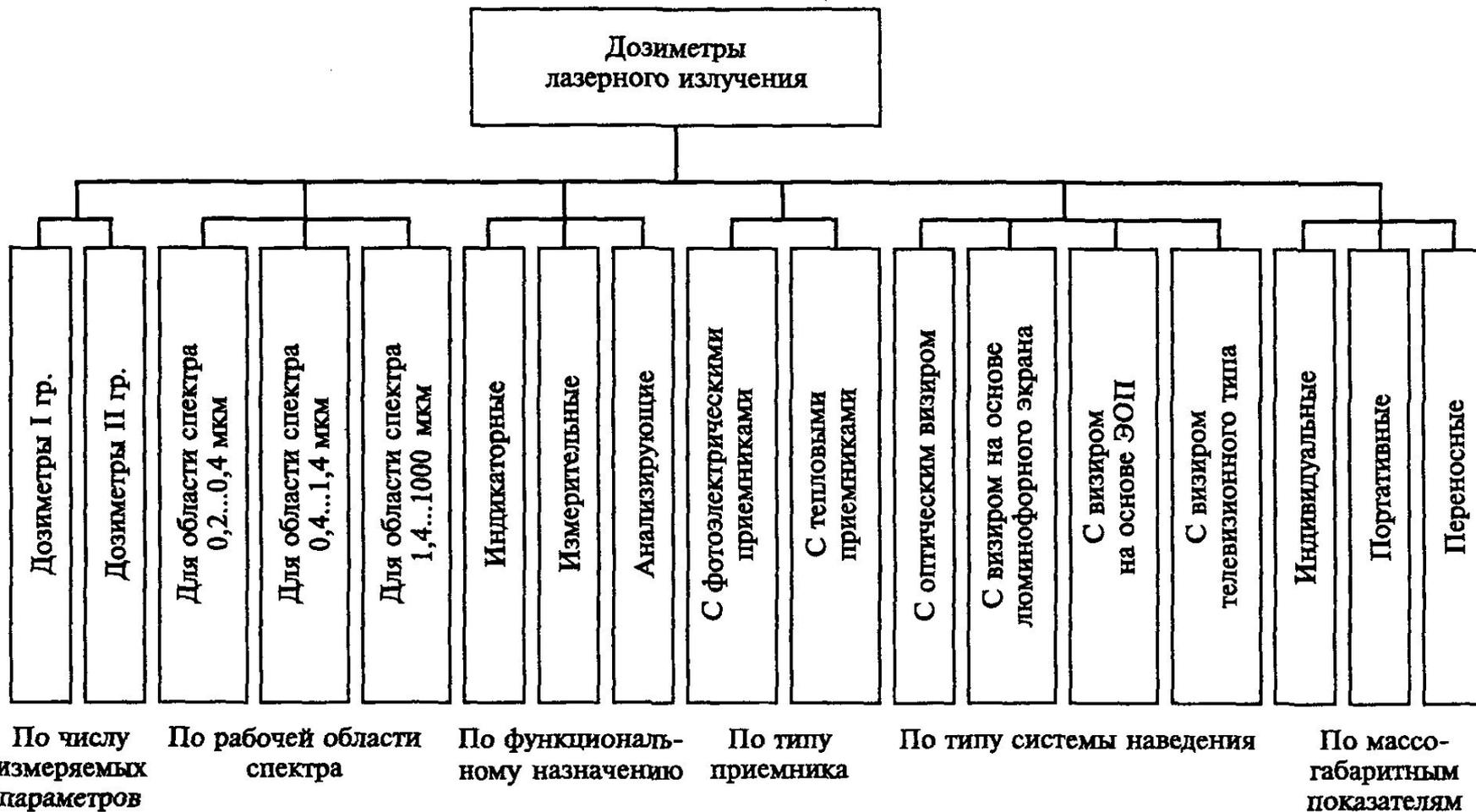


Рис. 11.1. Классификация дозиметров лазерного излучения



**Дозиметр
лазерного
излучения
ЛД-4.**



**ДОЗИМЕТР ДЛЯ
КОНТРОЛЯ
ЛАЗЕРНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ РАДИИ.**



Применяемые приемники лазерного излучения для контроля уровня облучения глаза имеют контрастно-частотную характеристику (КЧХ), аналогичную КЧХ оптической системы глаза.

Применяемая аппаратура должна быть аттестована органами Госстандарта и проходить государственную поверку.

Опасные и вредные производственные факторы, возникающие при эксплуатации лазеров

Опасные и вредные производственные факторы	Класс лазера			
	1	2	3	4
Лазерное излучение:				
прямое, зеркально отраженное	-	+	+	+
диффузно отраженное	-	-	+	+
Повышенная напряженность электрического поля	-(+)	+	+	+
Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	-	-	-(+)	+
Повышенный уровень ультрафиолетовой радиации	-	-	-(+)	+
Повышенная яркость света	-	-	-(+)	+
Повышенные уровни шума и вибрации	-	-	-(+)	+
Повышенный уровень ионизирующих излучений	-	-	-	+
Повышенный уровень электромагнитных излучений ВЧ- и СВЧ-диапазонов	-	-	-	-(+)
Повышенный уровень инфракрасной радиации	-	-	-(+)	+
Повышенная температура поверхностей оборудования	-	-	-(+)	+
Химические опасные и вредные производственные факторы	При работе с токсичными веществами			

Примечания: Обозначения: + имеют место всегда; - отсутствуют; -(+) наличие зависит от конкретных технических характеристик лазера и условий его эксплуатации. Диффузно отраженное лазерное излучение — это лазерное излучение, отраженное от поверхности, соизмеримой с длиной его экспозиции. Диффузно отраженное лазерное излучение в пределах полусферы. Зеркально отраженное — лазерное излучение, отраженное под углом, равным углу падения излучения.



СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ ЛАЗЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

К основным организационным мероприятиям относятся:

- рациональное размещение лазерных установок;
- ограничение времени воздействия излучения;
- обучение персонала;
- проведение инструктажей;
- выбор, планировка и внутренняя отделка помещений;
- организация рабочего места.



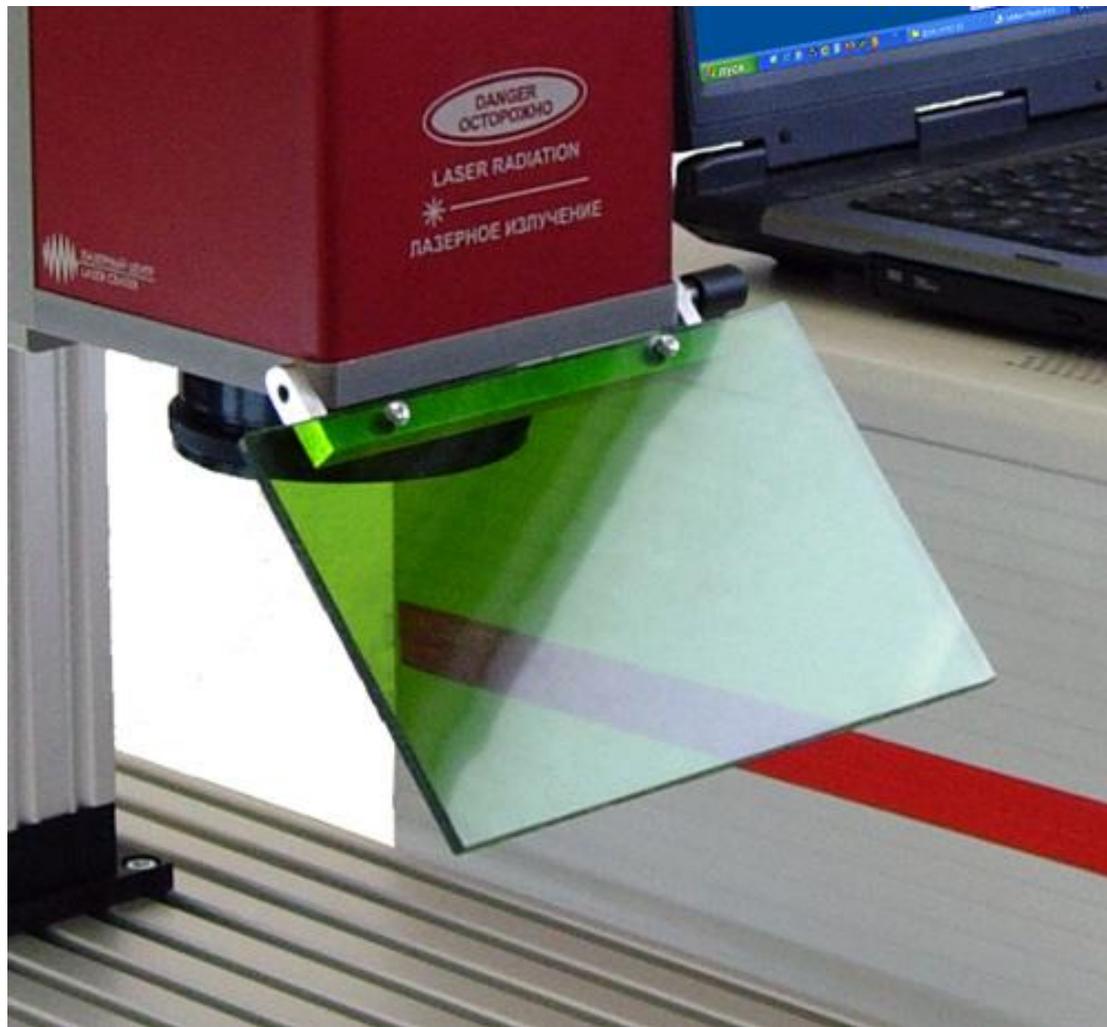
К техническим мероприятиям относятся:

- применение коллективных средств защиты;
- применение индивидуальных средств защиты;



К средствам коллективной защиты от лазерного излучения относятся:

оградительные устройства (экраны, щиты, смотровые окна, световоды, перегородки, кожухи, козырьки и др.),

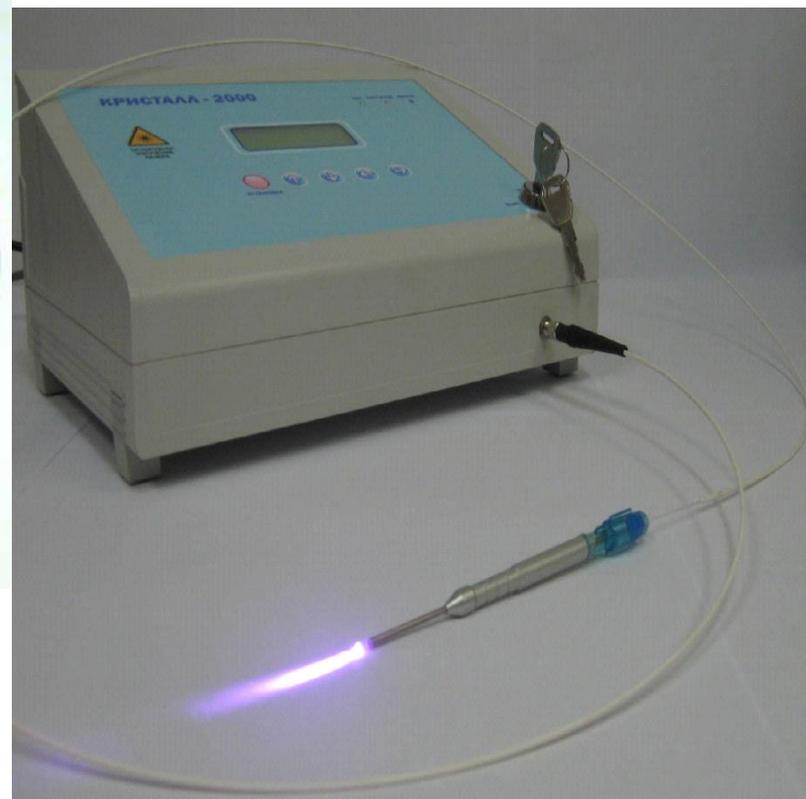


Защитный экран.



Смотровое окно при лазеротерапии

Световод с прямым выходом излучения.



Лазерный аппарат "Кристалл-2000" для применения в дерматологии



**Оптический
лазерный
излучатель
MULTITEST MT3104**
стабильный уровень
выходного излучения
индикация рабочей
длины волны на
большом ЖКИ
дисплее компактный
корпус с кожухом





Средства индивидуальной защиты от лазерного излучения включают:

- средства защиты глаз и лица (защитные очки, щитки, насадки);
- средства защиты рук (перчатки);
- специальную одежду (халаты из хлопчатобумажной или бязевой ткани).

Эффективная защита глаз от **излучения синего лазера**.





Санитарно-гигиенические и лечебно-профилактические методы

включают:

- контроль за уровнями опасных и вредных производственных факторов на рабочих местах;
- контроль за прохождением персоналом предварительных и периодических медицинских осмотров.