



Лекция 4. Физика и технология лазеров в медицине

Губарев Ф.А.

Введение

Трудно себе представить, что тонкий, однонаправленный, когерентный, движущийся, усиленный луч света, генерируемый возбужденными атомами, достаточно мощный, чтобы резать сталь.

В 1917 году Альберт Эйнштейн предположил, что при определенных условиях атомы могут поглощать свет и стимулировать их потенциальную энергию.

Чарльз Таунс предложил термин «лазер» (усиление света путем вынужденного излучения) в 1951 году.

Теодор Майман исследовал блики лампы-вспышки в стержне синтетического рубина, создав первый в своем роде лазер в 1960 году. В лазере происходит возбуждение атомов, которые испускают фотоны, которые затем проходят через среду, такую как кристалл, газ или жидкость. Поскольку каскад энергии фотонов проносится через среду, отскакивая от зеркал, он отражается назад и вперед и обретает энергию, способную создать пучок света с высокой мощностью.



Введение

Хотя сегодня лазеры используются во многих отраслях, одним из наиболее значимых применений лазерной технологии является ее использование в медицине. За последние полвека лазеры стали более быстрыми и менее инвазивными, они используются в дерматологии, офтальмологии, стоматологии, отоларингологии, гастроэнтерологии, урологии, гинекологии, кардиологии, нейрохирургии и ортопедии. Во многих отношениях лазер произвел революцию в диагностике и лечении заболеваний.

В качестве хирургического инструмента лазер способен выполнять три основные функции. Когда он фокусируется в точке, он может прижигать соседние ткани, уменьшая хирургическую травму, вызванную ножом. Он может испарять поверхность ткани. С использованием оптических волокон лазер позволяет врачу видеть внутри тела. Лазеры также стали незаменимым инструментом в биологических применениях от микроскопии высокого разрешения до субклеточной нанохирургии. Действительно, медицинские лазеры являются ярким примером того, как движение идеи может действительно изменить медицинский мир. В данной лекции будут рассмотрены различные применения лазеров в медицине.



Объекты лазерного воздействия

Воздействие лазерного луча не ограничивается прямым воздействием луча. В частности, для мощных лазеров воздействие отраженного излучения может быть столь же опасным, как и воздействие основного пучка.

Внутриполостное воздействие означает, что глаз или кожа подвергаются воздействию всего или части лазерного луча. Отражения от зеркальных поверхностей могут быть столь же вредны, как и воздействие прямого луча, особенно если поверхность плоская. Изогнутые зеркальные поверхности расширяют луч, поэтому открытый глаз или кожа не поглощают весь пучок, пучок рассеивается на большую площадь.

Диффузная поверхность - это поверхность, которая отражает лазерный луч во многих направлениях. Зеркальные поверхности, которые не являются полностью плоскими, например, ювелирные изделия или металлические инструменты, могут вызывать диффузные отражения пучка. Эти отражения не несут полную мощность или энергию первичного пучка, но могут представлять опасность, особенно для мощных лазеров. Диффузные отражения от лазеров класса 4 способны инициировать пожары.



Ретроспектива

Альберт Эйнштейн (1879-1955) в 1905 году опубликовал несколько работ, одна из которых принесла ему Нобелевскую премию по физике в 1921 году. Это была статья о фотоэлектрическом эффекте: свет может выбивать электроны с некоторых металлических поверхностей. Это было недвусмысленное проявление того, что свет можно описать как частицы, фотоны. Его волновая природа была уже известна. В определенных условиях проявляется волновая природа, в других случаях проявляется природа частиц.

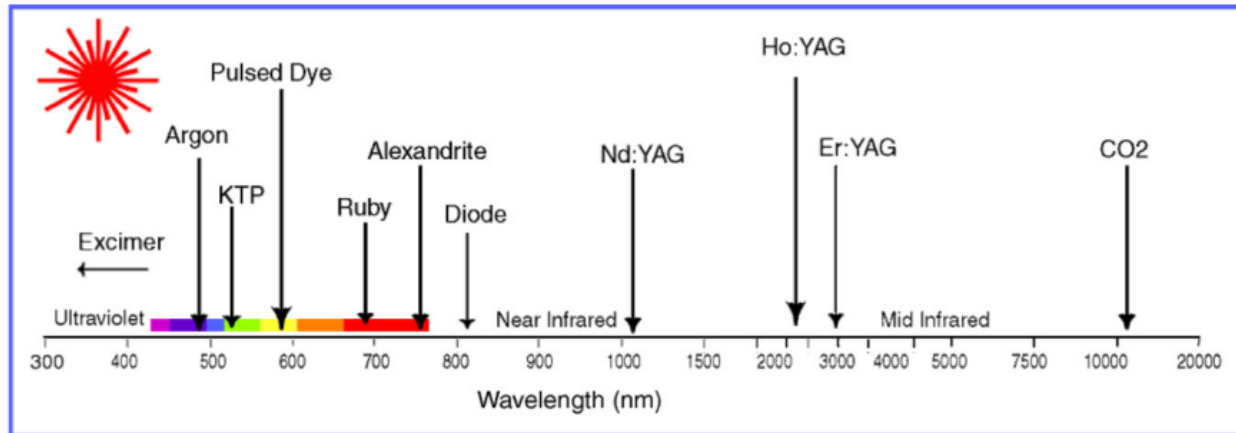
В 1924 году индийский физик Сатиендра Нат Бозе (1894-1974) опубликовал статью о работе Макса Планка по фотонам. Ключевой особенностью было то, что фотоны, в отличие от электронов, занимают точно такое же энергетическое состояние. Модель Эйнштейна была использована для исследования свойств большого числа возбужденных атомов. Такие возбужденные атомы могут спонтанно испускать фотон с характерной длиной волны λ при возвращении в их невозбужденное основное состояние. Когда такой фотон проходит близко к другому возбужденному атому, он может стимулировать этот атом испустить фотон, который является точной копией проходящего. Этот процесс является усилением света путем вынужденного излучения - LASER.



Ретроспектива

В то же время атомы в основном состоянии могут поглощать фотоны. В тепловом равновесии в более низких энергетических состояниях всегда больше электронов, чем в верхних. Поэтому вероятность поглощения входящих фотонов больше, чем для усиления. Чтобы получить усиление, необходимо иметь больше атомов в возбужденном состоянии, чем в основном состоянии. Это состояние, которое называется инверсией населенности, может быть получено путем передачи энергии, например, электрический, химический или радиационный, к системе. Принцип вынужденного излучения был экспериментально продемонстрирован для микроволн, прежде чем он был показан для света. В 1954 году было построено первое микроволновое усиление с помощью вынужденного излучения (MASER). Возможность расширить этот принцип в инфракрасную и видимую области была предложена Шаулоу и Таунсом в 1958 году, а Майман построил первый лазер в 1960 году. Он использовал кристалл рубина, окруженный лампами-вспышками для создания инверсии. Красный свет ($\lambda = 694 \text{ нм}$) этого лазера излучается хромом, присутствующим в примеси в кристалле Al_2O_3 . В том же году гелий-неоновый (He-Ne) лазер был разработан Яваном с коллегами. В 1961 году Джонсон построил легированный неодимом иттрий-алюминий-гранатовый лазер (Nd: YAG). Аргоновый ионный лазер (Ar^+) был изобретен Беннеттом и коллегами в 1962 году. Лазер на диоксиде углерода (CO_2) был создан Пателом в 1964 году.

Ретроспектива

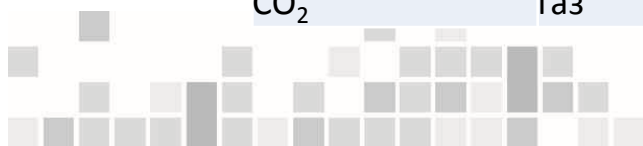


Позднее были изобретены различные типы твердотельных лазеров, таких как полупроводниковые лазеры, лазеры на парах металлов и лазеров на свободных электронах. Длина области длин волн постепенно сместилась в ультрафиолетовый диапазон, который делает возможным ионизацию и разрыв связей молекул мишени. Медицинский потенциал лазера используется с момента его изобретения. Сегодня лазеры широко используются практически во всех областях медицины для диагностики и терапии. Широкий диапазон длин волн и плотности потока излучения доступны для различных применений. Кроме того, доступны импульсные и непрерывные лазеры, что расширяет диапазон применимости лазеров.



Лазеры непрерывного действия

Лазер	Среда	λ , нм	Мощность	$\delta_{\text{вода}}$	$\delta_{\text{ткани}}$
HeCd	газ	325.0	<100 мВт	3.2 м	8 мкм
		442.0	<200 мВт	20 м	0.3 мм
Argon ion	газ	488.0	2-10 Вт	23 м	0.8 мм
		514.5	10-100 Вт	18 м	1 мм
Kr ion	газ	530.9	0.1-10 Вт	16 м	1.1 мм
		568.2	0.1-10 Вт	13 м	1.6 мм
		676.4	0.1-10 Вт	12 м	5 мм
KTP/Nd: YAG	твердое тело	532.0	1-10 Вт	16 м	1.1 мм
HeNe	газ	632.8	100 мВт	4.8 м	3.5 мм
Dye	жидкость	400-500	1-100 Вт	11-20 м	0.1-0.9 мм
		550-700		14-2 м	1-5 мм
GaAlAs	полупроводник	780	1-100 Вт	60 см	7 мм
		820		46 см	8 мм
		870		25 см	7 мм
Nd:YAG	твердое тело	1064	100 Вт	4 см	4 мм
Nd:YAP	твердое тело	1080	10-100 Вт	5 см	4 мм
		1341		8 мм	4 мм
Ho:YAG	твердое тело	2100	10-100 Вт	0.2 мм	1 мм
HF	химический	2600-3000	150 Вт	200-0.5 мкм	300-1 мкм
CO ₂	газ	10600	100 Вт	10 мкм	20 мкм



Импульсные лазеры

Лазер	Среда	λ , нм	Мощность	$\delta_{\text{вода}}$	$\delta_{\text{ткани}}$
Эксимерный ArF	газ	193	5-25 нс	25 см	<1 мкм
Эксимерный KrCl	газ	222	250 нс	90 см	1 мкм
Эксимерный KrF	газ	248	2-50 нс	1.5 м	1.2 мкм
Эксимерный XeCl	газ	308	20-300 нс	2.5 м	5 мкм
Эксимерный XeF	газ	351	1-30 нс	5 м	20 мкм
Cu	пары металлов	511	2.5-20 нс	19 м	0.9 мм
		578		5 м	1.6 мм
KTP/Nd: YAG	твердотельный	532	100 нс-250 мкс	10 м	1.1 мм
Nd:YAG	твердотельный	1064	30-100 пс	3 см	4 мм
Ruby	твердотельный	694	20нс - 1 мс	60 см	5 мм
Alexandrite	твердотельный	720-800	0.1 мс	0.2 м	6-8 мм
GaAS	Semiconductor	904	150 фс	5 см	4 мм
Ti: sapphire	твердотельный	700-1000	10-100 фс	60-1 см	5-8 мм
Ho: YAG	твердотельный	2100	100 нс - 250 μ s	0.1 мм	1 мм
Er: YAG	твердотельный	2940	10 нс	0.3 мкм	1 мкм
Лазер на свободных электронах	электроны	800-6000	2-10 пс	20 см-2 μ m	8 - 30 мкм
CO ₂	газ	10600	100 нс - 1 мс	10 мкм	20 мкм

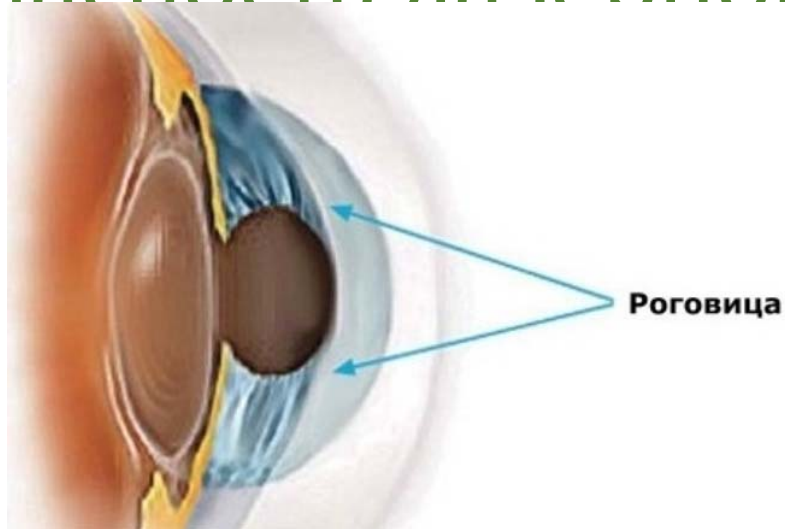


Опасность лазерного излучения - глаза



Свет вызывает биологический ущерб как при воздействии температуры за счет поглощенной энергии, так и в результате фотохимических реакций. Характер повреждения зависит от длины волны света и подвергаемой воздействию ткани. Основная опасность от лазерного излучения, главным образом – это термические эффекты, а критические органы - это глаза и кожа. Оптические компоненты глаза – это те компоненты, которые действуют вместе, чтобы сфокусировать изображение объекта на сетчатке, - это роговица, жидкое тело, хрусталик и стекловидное тело. Компонентами глаза, наиболее подверженными лазерному повреждению, являются роговица, сетчатка и хрусталик.

Опасность лазерного излучения - глаза



Роговица

Живые ткани контактируют непосредственно с окружающей средой. Его защищает только тонкая слезная пленка. Эпителий роговицы имеет один из самых высоких показателей метаболизма во всем теле. Слой толщиной 6-10 мкм, который защищает роговицу, хорошо сбалансирован. Внешняя часть поверхности слезного слоя представляет собой поверхностный липидный монослой толщиной менее 0,5 мкм, а под ним - слои муцинов с постепенно увеличивающимися концентрациями муцина. В результате роговица имеет средний показатель преломления 1,376. Это обеспечивает примерно 70% преломляющей способности глаза. Роговица имеет высокий уровень метаболизма – обновляется каждые 24-48 часов.



Опасность лазерного излучения - глаза

Зрачок

- апертура глаза.
- нормальный размер 2 - 7 мм.
- размер уменьшается с возрастом.
- для расчета воздействия используется 7 мм.

Радужная оболочка

- регулирует зрачок глаза.
- круглая, пигментированная мембрана.
- расположена за роговицей.

Склера

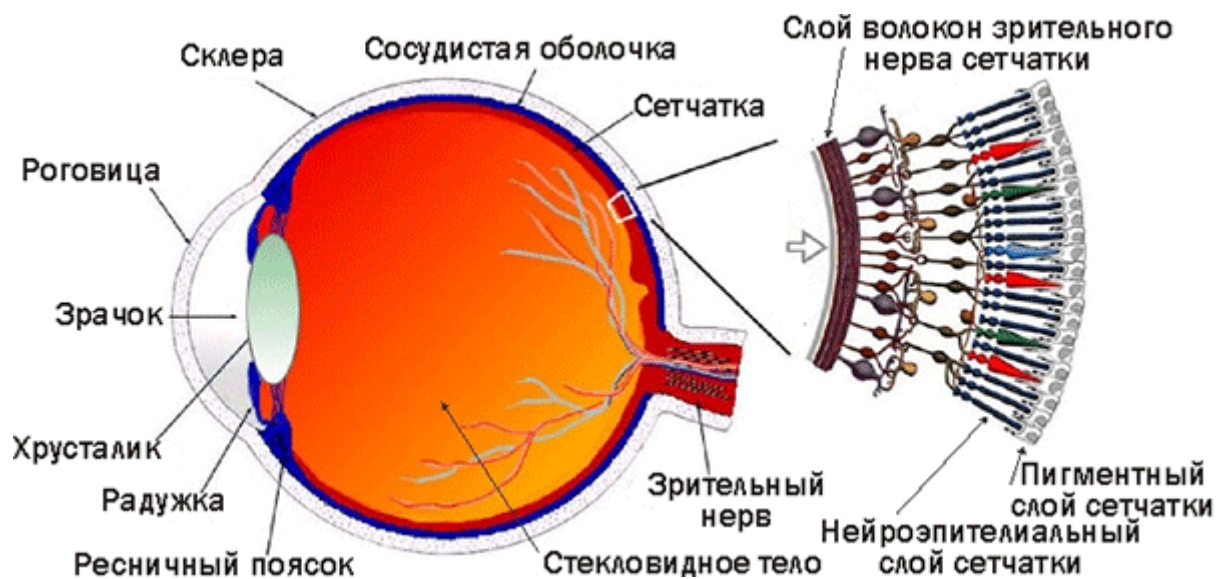
- плотная волокнистая оболочка.
- поддерживает сферическую форму глаза и глазное давление.



Опасность лазерного излучения - Глаза

Сетчатка

Сетчатка является продолжением мозга и состоит из нескольких сложных слоев нервных клеток. Она состоит из палочек и колбочек - палочек для ночного и периферийного зрения, колбочек для цветного зрения.



Опасность лазерного излучения - Глаза

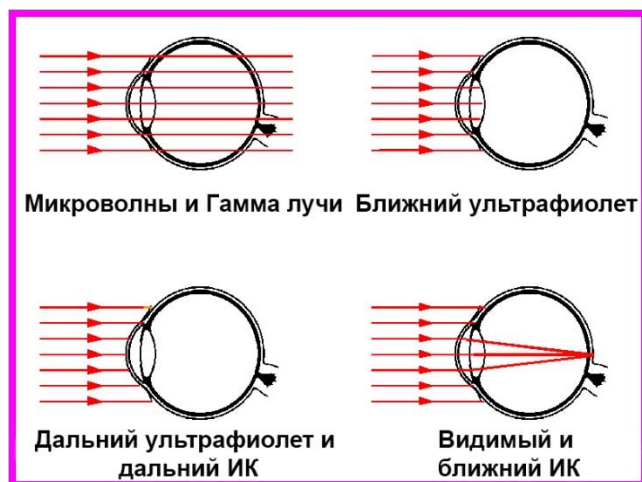
Хрусталик

Кристаллическая линза удерживается с помощью мелких связок, которые соединены с цилиарным телом. Цилиарные мышцы контролируют способность фокусировки глаза.

Хрусталик построен из слоев ячеек, похожих на кожицу лука. Хрусталик обеспечивает точную хрусталика медленный метаболизм. Со временем развивается катаракта, хрусталик мутнеет. Линза затвердевает и желтеет с возрастом.



Опасность лазерного излучения - глаза



Потенциальное расположение травмы глаза напрямую связано с длиной волны лазерного излучения:

- * ближний ультрафиолет (UVU) 315-400 нм:
 - большая часть излучения поглощается хрусталиком;
 - эффекты медленные и проявляются спустя годы (например, катаракта).

* Дальний ультрафиолетовый (UVB) 280-315 нм и (UVC) 100-280 нм

- большая часть излучения поглощается роговицей;
- кератоконктивит (снежная слепота / временная слепота) приводит к абсорбции достаточно высоких доз.

* Видимый 400-760 нм и ближний инфракрасный диапазон 760-1400 нм

- большая часть излучения передается сетчатке;
- большая доза может вызвать временную слепоту или ожоги сетчатки.

* Дальняя инфракрасная область 1400 нм - 1 мм

- большая часть излучения поглощается роговицей;
- большая доза вызывает ожоги роговицы.

Опасность лазерного излучения - глаза

Лазерная травма сетчатки может быть тяжелой из-за увеличения (оптического усиления) глаза, что составляет приблизительно 100 000 крат. Это означает, что облучение 1 мВт/см^2 , попадающее в глаз, будет усилено до 100 Вт/см^2 , когда оно достигнет сетчатки. Термический ожог получается, когда кровотоком сосудистого слоя не может регулировать тепловую нагрузку на сетчатку. Вторичное кровоотечение в стекловидное тело может возникать в результате ожогов, которые повреждают кровеносные сосуды. Это кровоотечение может затенять область зрения далеко за пределами области поражения. Хотя сетчатка может восстанавливаться, серьезная травма макулярной области сетчатки может привести к временной или постоянной потере остроты зрения или слепоте. Фотохимическое повреждение роговицы при ультрафиолетовом облучении может привести к конъюнктивиту. Это болезненное состояние может длиться несколько дней и очень неприятно. Длительное УФ-облучение может вызвать образование катаракты.

Время облучения также играет роль в травме глаза. Например, если лазер излучает видимое излучение (от 400 до 700 нм) мощностью пучка меньше $1,0 \text{ мВт}$, а время экспозиции составляет менее 0,25 секунды, травмы сетчатки не произойдет. Поэтому, лазеры Класса 1, 2а и 2 обычно не представляют опасности для сетчатки. Излучение лазеров Класса 3а, 3б или 4 гораздо опаснее и может привести к травме до того, как человек успеет отреагировать.



Опасность лазерного излучения - глаза

0,25 секунды считается тем временем, которое требуется человеку, чтобы моргнуть или отвести глаза.

Для импульсных лазеров длительность импульса также влияет на вероятность повреждения глаза. Импульсы длительностью менее 1 мс, сфокусированные на сетчатке, могут вызвать акустический эффект, что приводит к значительному повреждению и кровотечению в дополнение к ожидаемому тепловому повреждению. Современные импульсных лазеры имеют длительность импульса меньше 1 пикосекунды, что существенно опаснее.

Стандарты безопасности определяют Максимально допустимую экспозицию (MPE), которую глаз может получать без травмы при определенных условиях воздействия. Если MPE превышено, вероятность травмы глаза резко возрастает. Основное правило безопасности при работе с лазером:

НИКОГДА НЕ СМОТРИТЕ ПРЯМО НИ НА КАКОЙ ЛАЗЕРНЫЙ ЛУЧ!

Если вы можете предотвратить попадание лазерного луча и отраженных лучей в глаза, вы можете предотвратить болезненную и, возможно, ослепительную травму.



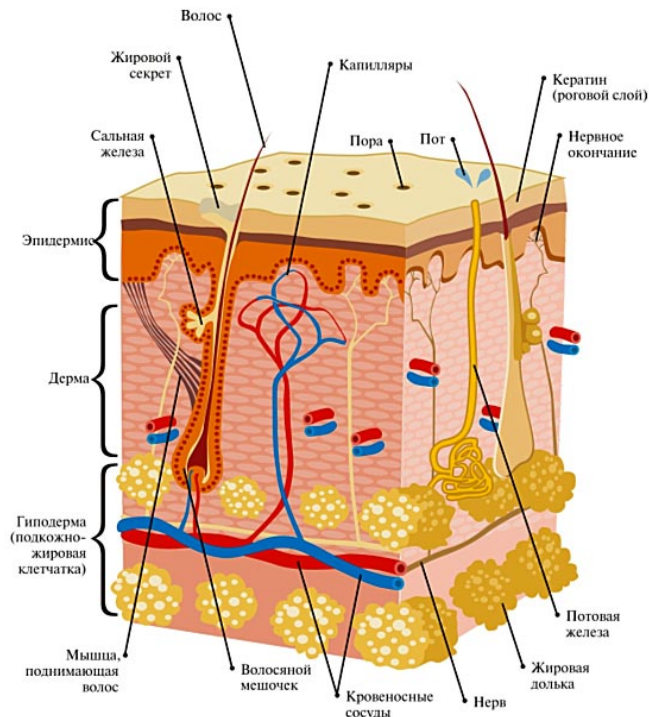
Опасность лазерного излучения - кожа

Кожа - самый большой по площади орган тела и, как таковой, подвергается наибольшему риску контакта с лазерным лучом.

Наиболее вероятными поверхностями кожи, которые подвергаются воздействию, являются руки, голова и плечи. Лазеры могут нанести вред коже с помощью фотохимических или термических ожогов. В зависимости от длины волны луч может проникать как в эпидермис, так и в дерму. Эпидермис является самым внешним живым слоем кожи. Дальний и средний ультрафиолет поглощаются эпидермисом. Из-за кратковременного воздействия луча может возникнуть солнечный ожог (покраснение и вздутие). УФ-облучение также связано с повышенным риском развития рака кожи и преждевременного старения кожи (морщины и т. д.).



Опасность лазерного излучения - кожа



Строение кожи

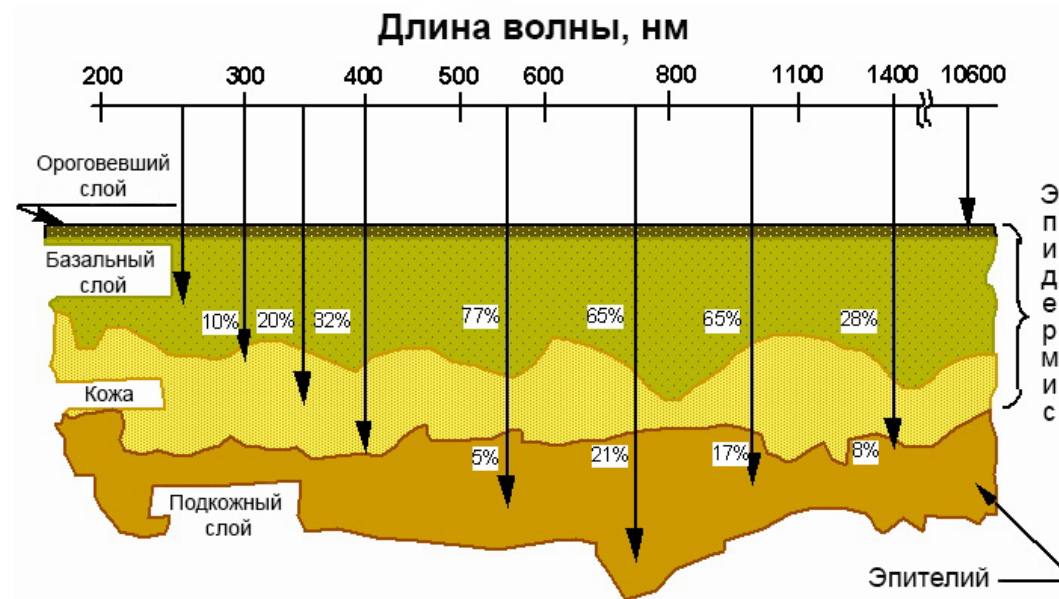
Stratum Corneum - это самый верхний слой или роговой слой. Он состоит из сплюснутых мертвых эпидермальных клеток, которые защищают живую ткань от потери воды, травмы от физических воздействий и лучистой энергии. Толщина составляет 8-20 мкм, за исключением подошв стоп и ладоней рук, где она составляет 500-600 мкм. Эпидермис является самым внешним слоем живой ткани, где происходит процесс загара. Он имеет относительно однородную толщину около 50-150 мкм.

Кожа состоит в основном из соединительной ткани, что придает коже эластичность и поддерживающую силу. В этот слой входят нервные клетки, кровеносные сосуды и лимфатические железы. Толщина этого слоя изменяется по всему телу от 1 до 4 мм. Подкожная ткань состоит в основном из жировой ткани, служащей изоляцией и амортизирующей средой. Толщина этого слоя изменяется в зависимости от площади тела, а также от человека к человеку.

Опасность лазерного излучения - кожа

Как лазерное излучение влияет на кожу?

Лазерные эффекты зависят от плотности мощности падающего пучка, поглощения тканями на длине волны падающего излучения, времени воздействия и влияния кровообращения и теплопроводности в области поражения. Различные длины волн света проникают в кожу по-разному. При приблизительно 750 нм происходит поглощение подкожным слоем. Показаны примеры воздействия ИК-СО₂-лазера на биоткани.



Опасность лазерного излучения - кожа

Непосредственный эффект воздействия лазерного излучения выше порога биологического повреждения заключается в сжигании ткани. Травма кожи может быть результатом либо теплового повреждения после повышения температуры в тканях кожи, либо из-за фотохимического эффекта (например, «солнечного ожога») из-за чрезмерного уровня ультрафиолетового облучения. Некоторые люди имеют повышенную чувствительность к свету или могут принимать лекарства по рецепту, которые вызывают повышенную фоточувствительность. Особое внимание следует уделить воздействию этих (предписанных) лекарств, включая некоторые антибиотики и фунгициды, на человека, принимающего лекарство и работающего с лазерами. Возможны отсроченные эффекты, которые проявляются со временем.

Излучение в видимой области имеет меньшие неблагоприятные эффекты от повторного или хронического лазерного облучения кожи. Показано, что только оптическое излучение в ультрафиолетовой области спектра вызывает долговременные эффекты. Этими эффектами являются: ускоренное старение кожи и рак кожи. В настоящее время стандарты лазерной безопасности для воздействия на кожу пытаются рассмотреть эти неблагоприятные воздействия.



Опасности, не связанные с излучением

Существуют и другие опасности, связанные с работой лазера, помимо воздействия пучка или бликов от него. Многие из этих опасностей, не связанных с лучом, могут быть гораздо более опасными, чем сам луч.

Электрическая опасность

При использовании мощных источников питания и импульсных лазеров существует большая опасность поражения электрическим током. Электрический шок обычно случается, когда человек работает на оборудовании, которое неправильно заземлено или имеет конденсаторный банк, который не был разряжен.

Потенциальные проблемы при работе с лазерными установками:

- открытые клеммы;
- неправильно изолированные клеммы;
- скрытые предупреждающие огни включения питания;
- отсутствие обучения процедуре сердечно-легочной реанимации или отсутствие подготовки;
- не заземленное или неправильно заземленное лазерное оборудование;
- отсутствие или неисправное состояние блокировок;
- кабели на полу, которые могут стать причиной падения или скольжения.



Опасности, не связанные с излучением

Взрывоопасность

При использовании ламп высокого давления, ламп накаливания и конденсаторных батарей в лазерном оборудовании существует опасность взрыва. Эти элементы должны быть заключены в корпуса, которые могут выдерживать высокое давление, возникающее в результате взрывающихся компонентов. Кроме того, луч может вызвать взрывы у лазера класса 4 при попадании излучения в газовый баллон, регулятор или подающий шланг.

Сжатые газы

Работа некоторых лазеров связана с применением опасных газов, такие как хлор, фтор, хлористый водород и фтористый водород. Существуют типичные проблемы безопасности, возникающие при использовании сжатых газов. К ним относятся:

- работа со свободно стоящими баллонами, которые не огорожены от персонала;
- невозможность защитить открытые баллоны от атмосферных газов и загрязнений;
- отсутствие дистанционной запорной арматуры;
- отсутствует соответствующая маркировка баллонов с опасными газами;
- газы разного назначения (токсичные, коррозионные, легковоспламеняющиеся, окислители, инертные вещества, высокого давления, криогенные), не хранятся отдельно в нарушение инструкций.



Опасности, не связанные с излучением

Лазерные красители и растворители

Красители используются в некоторых лазерах в качестве активной среды. Эти красители представляют собой сложные органические соединения, которые смешиваются в растворе с растворителями. Некоторые красители являются высокотоксичными или канцерогенными, и при обращении с ними необходимо проявлять большую осторожность. Инструкция по безопасности должна быть доступна всем, кто работает с этими красителями.

Шум

Некоторые лазеры, такие как эксимерные, создают громкий шум. По вопросам защиты от шума следует обращаться в Отдел по охране труда.

Пожароопасность

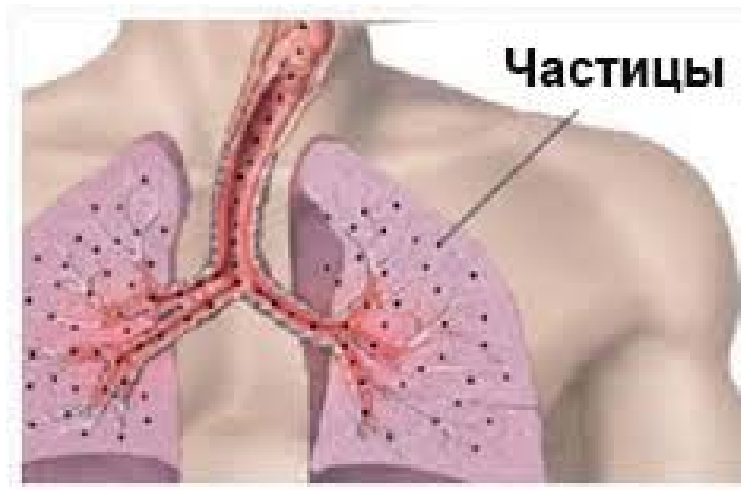
Существует риск возникновения пожара при использовании лазеров класса IV. Пожар может возникнуть, когда корпус лазера класса IV изготовлен из материала, который подвергается воздействию излучения более 10 Вт/см^2 или средней мощности пучка, превышающей 0,5 Вт. В этой ситуации следует использовать огнестойкие материалы. Барьеры, такие как черная фотографическая ткань, широко используются при работе с лазерным излучением. Эти материалы не должны использоваться в качестве основного барьера. Пучки с достаточной энергией быстро сжигают этот материал, вызывая дым, огонь и нарушение барьера.

Опасности, не связанные с излучением

Загрязнение воздуха, связанное с лазерным излучением

При взаимодействии луча с веществом возможно появление «облака» загрязняющих веществ. Эти загрязнители воздуха в основном связаны с лазерами класса 3В и 4. Это могут быть пары металлов, пыль, химические пары, аэрозоли, содержащие биологические загрязняющие вещества. Некоторые примеры загрязнителей: полициклические ароматические углеводороды (метилметакрилаты) при обработке полимеров; цианистый водород и бензол при резке ароматических полиамидных волокон; частицы плавленного кварца при резке кварца; тяжелые металлы при литографии; бензол при резке поливинилхлорида; цианид, формальдегид, синтетические и натуральные волокна и др.

Загрязнители поражают органы дыхания.



Опасности, не связанные с излучением

Специальные оптические материалы, используемые для инфракрасных окон и линз, являются источником потенциально опасных загрязняющих воздух веществ. Например, теллурид кальция и теллурид цинка горят в присутствии кислорода, когда превышены пределы облучения. Следует также контролировать воздействие оксида кадмия, теллура и гексафторида теллура.

Воздействие этих загрязнителей должно контролироваться для снижения воздействия ниже предельно допустимых концентраций (ПДК).

Итак, существуют три основные меры защиты от загрязнения: **вытяжная вентиляция, защита органов дыхания и изоляция процесса.**

Когда это возможно, следует избегать рециркуляции воздуха. Вытяжную вентиляцию, включая использование вытяжных шкафов, следует использовать для борьбы с загрязнением воздуха. Защита органов дыхания может использоваться при коротких воздействиях или в качестве промежуточной меры защиты до тех пор, пока не будут реализованы другие административные или инженерные средства защиты.



Защита от лазерного излучения

Потенциальные опасности существуют для всех людей, работающих вблизи лазерной системы. Люди должны быть предупреждены о наличии и расположении лазеров и о назначении предупреждающих меток для лазеров всех классов. Особое внимание следует уделять окружению, в котором используется лазер. Этот фактор следует рассматривать вместе с классом и применением лазера для определения применяемых мер контроля. Основными элементами, которые необходимо учитывать, являются:

- количество и класс лазеров;
- расположение лазеров;
- наличие (доступ) неосведомленного, незащищенного персонала;
- постоянство траекторий луча;
- наличие объектов, которые могут иметь зеркальные поверхности или отражающие объекты на пути луча;
- использование оптических устройств, таких как линзы, микроскопы и т.д.

Меры контроля могут быть разбиты на два типа: административный контроль, такой как обучение, вывески, регламенты и т.д., а также технические средства управления, такие как ключевые элементы управления, блокировки, жалюзи и т.д.



Классификация лазеров

Класс 1

Лазеры класса 1 – это самый высший класс лазеров, помещаются в защитный корпус. Если лазер класса 1 имеет встроенный лазер класса 3b или 4, на любых съемных частях корпуса должны быть предусмотрены блокировки, или лазер должен иметь панель контроля доступа которая либо блокируется, либо требует инструмента для снятия. Если защитный кожух снят, следует соблюдать меры осторожности, соответствующие закрытому классу лазера. Все лазеры класса 1 должны иметь маркировку.



Классификация Лазеров

Класс 2

Лазеры класса 2 должны иметь маркировку. Лазерный луч не должен быть целенаправленно направлен на глаз любого человека. Юстировка лазерных оптических систем (зеркал, линз, дефлекторов лучей и т.д.) должна выполняться таким образом, чтобы мощность первичный луча или зеркальное отражение первичного луча не превышала максимальный уровень на случай прямого попадания в глаз.

Рабочая область должна быть отмечена предупреждающей табличкой или знаком, предупреждающим пользователей, чтобы не смотрели на луч и не направляли луч в глаза людей. Если превышает значение на случай прямого попадания в глаз, необходимо использовать смотровые окна или дисплеи, чтобы уменьшить экспозицию до приемлемых уровней. Если лазер класса 2 имеет встроенный лазер класса 3b или 4, на любых съемных частях корпуса должны быть предусмотрены блокировки, или лазер должен иметь защитный кожух, которая либо заблокирована, либо требует специального инструмента для снятия. Если защитный кожух снят, следует соблюдать меры осторожности, соответствующие классу встроенного лазера.



Классификация лазеров

Класс 3a (3R)

Лазеры класса 3a должны быть соответствующим образом маркированы. Рабочая область должна быть отмечена предупреждающей табличкой или знаком, предупреждающим пользователей, чтобы не смотрели на луч и направляли луч в глаза людей. Съёмные части корпуса и панели доступа для обслуживания должны иметь блокировки для предотвращения случайного поражения. Также может использоваться постоянный ограничитель пучка или аттенюатор. Если превышает максимально допустимое значение для прямого попадания в глаза, необходимо использовать порталы просмотра или дисплеи, чтобы уменьшить экспозицию до приемлемых уровней. Процедуры выравнивания должны быть разработаны для обеспечения того, чтобы предельное значение не превышалось.



Классификация лазеров

Класс 3b

Эти лазеры используются в задачах, где может быть установлен контроль неавторизованного доступа. Если лицо, не прошедшее обучение по лазерной безопасности, должно войти в зону, оператор лазера или руководитель должны сначала проинструктировать человека о требованиях безопасности и при необходимости предоставить защитные очки. Если весь пучок не закрыт или существует ограниченный открытый луч, оператор, руководитель или специалист по лазерной безопасности должны определить зону опасности. При использовании или запуске лазера следует использовать сигнал тревоги, предупредительный сигнал или словесный обратный отсчет.

Контролируемая область должна: иметь ограниченный доступ; иметь заслонки для предотвращения потенциально опасных лазерных лучей, должна быть оборудована так, чтобы снизить рассеянные и зеркальные отражения, иметь защиту глаз для всего персонала, лазерный луч не должен проходить на уровне глаз, иметь ограничения на окна и дверные проемы. Если превышает максимально допустимое значение для прямого попадания в глаза, необходимо использовать порталы просмотра или дисплеи, чтобы уменьшить экспозицию до приемлемых уровней. Процедуры выравнивания должны быть разработаны для обеспечения того, чтобы предельное значение не превышалось.

Классификация лазеров

Класс 4B

В дополнение к мерам безопасности, описанным для класса 3b, лазеры класса 4 должны использовать только люди, обученные в областях, предназначенных для использования таких лазеров. Для предотвращения непредвиденного входа в контролируемую зону следует использовать отказоустойчивые блокировки, и доступ должен ограничиваться оператором только для лиц, которым был проведен инструктаж по технике безопасности, и которые надевают надлежащие лазерные защитные очки. Операторы лазеров отвечают за предоставление информации и защиту неподготовленного персонала, который может оказаться в зоне работ с лазерным излучением.

Зона работ с лазерным излучением должна быть:

- только для уполномоченного персонала;
- иметь возможность аварийного отключения;
- оснащена устройством, которое позволяет отключать лазер или уменьшать излучение до безопасного уровня;
- разработана таким образом, что лазер можно было контролировать и запускать из удаленного места;
- иметь блокировки лазерного излучения, в частности возможность сброса накопленной энергии накачки в фиктивную нагрузку и/или прерывания пучка с помощью жалюзей.

Спасибо за внимание!

