لیزر
و
کاربردهای آن در علوم پزشکی

هاله ثمینی
کارشناس ارشد فیزیک، واحد علوم دارویی دانشگاه آزاد اسلامی

■ مقدمه فیزیک لیزر

به طوری که می‌دانیم نور (تابش الکترومغناطیسی) دارای چهار مشخصه اصلی یعنی طول موج، فرکانس (بسامد)، سرعت و دامنه است که در انواع مختلف نور، این مشخصه‌ها متفاوت‌اند. به‌طوری که طول موج نور مریی بین ۰/۴ تا ۰/۷ میکرومتر، طول موج نور مادون قرمز (inferared radiation) بین ۰/۷ تا ۱/۴ میکرومتر و طول موج نور ماورای بنفش (ultraviolet radiation) بین۰/۲ تا ۰/۴میکرومتر است. طول موج امواج رادیویی خیلی زیاد و طول موج اشعه ایکس و پرتوهای کیهانی و گاما بسیار کوتاه است. نورهایی با طول موج زیاد، فرکانس کم و به‌عکس نورهایی با طول موج کم، فرکانس بالا دارند.

نور مریی یعنی نوری که چشم انسان آن را به‌صورت نور سفید حس می‌کند مخلوطی از شش رنگ (قرمز، نارنجی، زرد، سبز، آبی بنفش) با طول موج‌های متفاوت است. به‌طوری که طول موج نور قرمز ۰/۷ میکرومتر (۷۰۰ نانومتر) و طول موج نور بنفش ۰/۴ میکرومتر (۴۰۰ نانومتر) است.

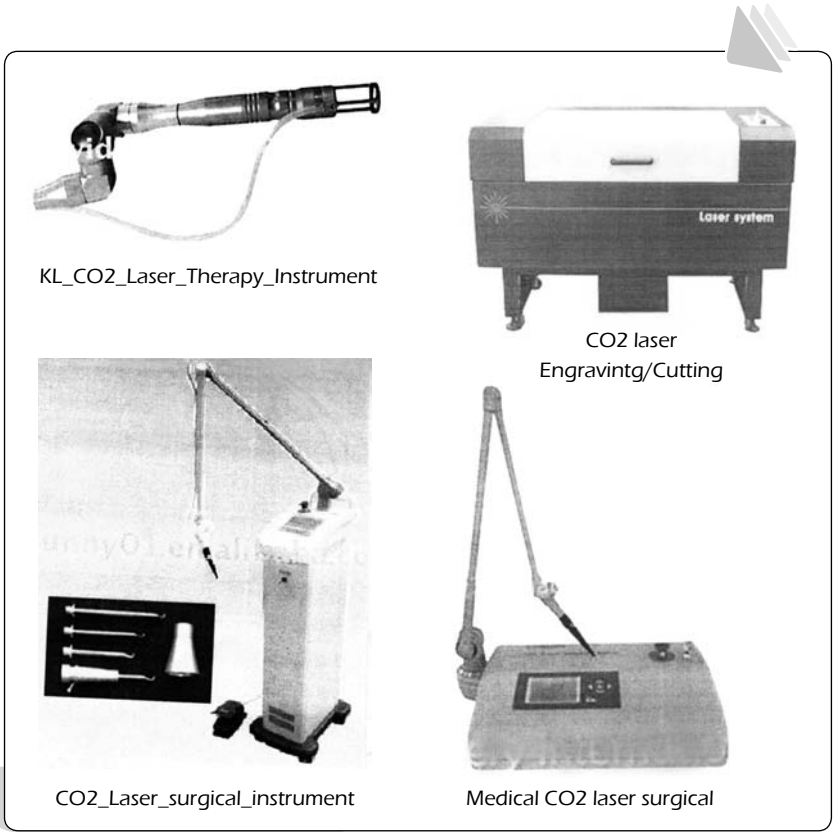
نـور سـفید، نـور ناهمـدوس می‌باشـد (non-choherent) بـه دلیـل این‌کـه طـول موج‌های نوری متفاوت سازنده آن در جهت‌های مختلـف حرکت می‌کنند. وقتـی نور چراغ قوه از فاصله دور روی یک صفحه کاغذ انداخته می‌شود دایره بزرگی را روی کاغذ روشن می‌کند. در حالی کـه نور لیـزر نور تک رنگ بوده و همه امواج آن طول موج و فرکانس یکسان داشته و با هم همفاز می‌باشـند و به این جهت نور لیزر، با باریکه‌های مستقیم حرکت کرده و پخش نمی‌شوند. نور سفید وقتی از یک منشـور عبور داده شود به رنگ‌های سـازنده خود تجزیه می‌شود، در حالی که نور لیزر بدون تجزیه شدن و به‌صورت باریکه مستقیم تک رنگ از منشور خارج می‌شود. به این جهت وقتی باریکه لیزر از فاصله دور بر روی یک صفحه کاغذ تابانده شود دایره‌ای به قطر بسیار کوچک را روشن می‌کنـد و به نور لیزر نور همدوس (coherent) اطلاق می‌شـود. همدوسی سـبب افزایش شدت پرتـو و تـک رنگی و واگرایـی (Divergency) پرتومی‌شـود.

کلمه LASER، مخفف Light Amplification by Stimulation Emission of Radiation است. برای اولین بار در سال ۱۹۵۹ به کار گرفته شد که ترجمه فارسی آن نور تقویت شده توسط نشر برانگیخته (گسیل‌القایی) می‌باشد یعنی برای تولید اشعه لیزر از نشر برانگیخته یا گسیل القایی (stimulated Emission) برای تقویت نور استفاده می‌شود.

لیزرها حاوی یک کاواک (محفظه حاوی ماده فعال، ماده‌ای در حالت گاز، مایع یا جامد که تولید اشعه لیزر می‌کند)، منبع پمپاژ (pumping source) که منبع تحویل انرژی به سیستم لیزر است. در لیزرها سه پدیده جذب (absorption)، گسیل خودبخودی (spontaneous emission) و گسیل القایی رخ می‌دهد. اتم‌ها با جذب یا کسب انرژی از حالت پایدار به حالت برانگیخته در می‌آیند یعنی الکترون‌های آن‌ها از تراز انرژی بالا به تراز انرژی پایین، انرژی کسب شده را به شکل نور از دست داده و تولید اشعه لیزر (پرتو خروجی) می‌کنند. به عبارت دیگر، وقتی به الکترون‌های موجود در ترازهای انرژی پایین فوتون‌هایی به عنوان تحریک‌کننده تابانده شود، فوتون‌ها توسط الکترون‌ها جذب شده و به ترازهای انرژی بالاتر می‌روند و سپس این الکترون‌های برانگیخته، از طریق گسیل خودبخودی یا گسیل القایی به حالت پایدار برمی‌گردند. منظور از گسیل خودبخودی این است که خود الکترون‌های برانگیخته فوتونی با انرژی معین تابش می‌کنند. منظور از گسیل القایی این است که اگر فوتونی به الکترون‌های برانگیخته بتابد، می‌تواند آن‌ها را وادار به فرود به تراز پایه کرده و سبب کاهش الکترون‌ها در تراز بالا و افزایش الکترون‌ها در تراز پایین می‌شود. در این مرحله نیز فوتونی ساطع می‌شود. در گسیل خودبخودی بین فوتون اولیه و ثانویه رابطه فازی معینی وجود ندارد و امواج می‌توانند به هر جهتی گسیل شوند ولی در گسیل القایی مسیر و فاز فوتون اولیه و ثانویه برابر است و از هر تابش، دو تابش حاصل شده و نور تقویت می‌شود. تکرار این روند در لیزر، موجب تقویت بیشتر و ایجاد پرتو لیزر می‌شود. لیزرها بسته به نوع محیط فعال خود به لیزرهای گازی، جامد مایع و نیمه هادی (دیودی) تقسیم می‌شوند. مواد

مورد استفاده در محیط فعال با توجه به ساختار مولکولی خود فقط طول موج خاصی را تابش می‌کنند. کلمه‌ای که به دنبال لیزر ذکر می‌شود مشخص‌کننده ماده فعال لیزر است (مثل لیزر گازکربنیک که در آن ماده فعال دی‌اکسیدکربن است). اخیراً لیزرهای الکترون آزاد یا FEL (Free electron laser) و نانولیزرها نیز ساخته شده‌اند. اختراع لیزر و تکامل آن وابسته به اطلاعات پایه فیزیک و شیمی و اولین کاربردهای آن نیز در رشته‌های فیزیک و شیمی بوده و در رشته‌های دیگر مثل زیست‌شناسی، پزشکی (جراحی لیزری، ساخت چاقوی ظریف لیزری جلوگیری از خونریزی در جراحی‌ها، درمان پرمویی یا هیرسوتیسم در خانم‌ها، چشم‌پزشکی) ارتباطات فضایی، امور نظامی و اندازه‌گیری‌ها و بازرسی‌ها و ... کاربرد دارد. نمونه لیزرهای گازی شامل لیزر هلیوم ـ نئون، لیزر آرگون یونی، لیزر یونی کریپتون، لیزرهای اگزایمر (مولکول‌های دو اتمی یا دیمر)، لیزرهای یونی کادمیوم، لیزر دی‌اکسید کربن می‌باشند. در این نوع لیزرها در اطاقکی شبیه لامپ‌های فلورسنت، گازی در میان دو الکترود مثبت و منفی در جریان است که الکترون‌های اتم‌های گاز در جریان توسط الکترون‌های بین دو الکترود برانگیخته (تراز انرژی بالا) می‌شوند. پروسه دادن انرژی و تهییج الکترون‌ها از ترازهای انرژی پایین به بالا (pumping) با استفاده از تخلیه الکتریکی صورت می‌گیرد. اتم‌های برانگیخته شده، موقع دور شدن از الکترودها به تراز انرژی پایین‌تر افتاده و در حین سقوط فوتون‌هایی را گسیل می‌کنند که این فوتون‌ها بین دو آینه به جلو و عقب بازتاب و تقویت شده و می‌توانند از طریق آینه خروجی نیمه شفاف به‌صورت نور لیزر از لیزر گازی خارج و در سطوح مورد نظر تابانده شوند. یکی از متداول‌ترین لیزرهای گازی لیزر هلیوم ـ نئون است که در این لیزرها باریکه لیزری توسط اتم‌های نئون وجود داشته و گاز هلیم به نسبت ۱۰ به ۱ گاز نئون اضافه شده است. گاز هلیم به برانگیخته شدن اتم‌های نئون کمک می‌کند. در واقع، در این نوع لیزر پرتو لیزر توسط اتم‌های نئون به‌وجود می‌آید و اتم‌های هلیم فقط به انتقال الکترون به ترازهای بالایی نئون کمک می‌کنند. طول موج اصلی لیزرهای‌هلیم ـ نئون ۶۳۳ نانومتر (۰/۶۳۳ میکرومتر) است. لیزرها براساس آهنگ خروج انرژی از آن‌ها به دو نوع پیوسته کار (continuous wave) و پالسی تقسیم می‌شوند. واحد توان خروجی لیزرهای پیوسته برحسب وات و لیزرهای پالسی برحسب ژول بیان می‌شود. موج خروجی لیزرهای گازی معمولاً پیوسته است ولی می‌تواند به موج پالسی نیز تبدیل شود. عمق نفوذ مفید پرتو حاصل از این نوع لیزر در حالتی که پروب به پوست تماس پیدا کند بین ۶ تا ۸ میلی‌متر در توان ۲/۵ میلی‌وات و ۱۰–۸ میلی‌متر در توان ۷ میلی‌وات است. توان لیزرهای هلیم ـ نئون معمولاً زیر ۵۰ میلی‌وات است. این لیزرها بسیار ایمن بوده و برای منظورهای مختلف پزشکی مثل تهیه عکس‌های سه‌بعدی (هالوگرام)، اسکن و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و نیز در صنایع مورد استفاده دارند. نوع دیگری از لیزرهای گازی، لیزرهای گازکربنیک (دی‌اکسیدکربن) هستند که طول موج خروجی آن حدود ۱۰/۶ میکرومتر و توان آن‌ها تا ۱۰۰ کیلووات متغیر بوده

و لذا کاربرد فراوانی در پزشکی، در جوشکاری surface treating (روسازی) و laser marking (علامت‌گذاری) و ... به کار می‌رود که در انواع مختلف این نوع لیزرها محیط فعال مخلوطی از دی‌اکسیدکربن (حدود ۱۰ درصد)، نیتروژن (حدود ۱۰ درصد) و هلیم (حدود ۸۰ درصد) می‌باشد که هر یک از این گازها برای منظورهای خاصی جز محیط فعال می‌باشند. به‌طوری که گاز نیتروژن برای جذب انرژی و انتقال آن به مولکول‌های دی‌اکسیدکربن می‌باشد تا این مولکول‌ها برانگیخته شوند. گاز هلیم به انتقال گرمایی و نیز برگرداندن مولکول‌های دی‌اکسیدکربن به ترازهای انرژی پایه کمک می‌کند ولی نور لیزری توسط مولکول‌های دی‌ا کسیدکربن گسیل می‌شود. قدرت خروجی بسیار زیاد این نوع لیزرها باعث می‌شود که آن‌ها قادر به بخار شدن هر ماده‌ای شوند. در جراحی، از باریکه کانونی شده لیزر (غالباً لیزر دی‌اکسیدکربن) به جای چاقوی



شکل ۱ ـ انواع مختلف لیزر دی‌اکسیدکربن

جراحی استفاده می‌شود زیرا باریکه مادون قرمز لیزر دی‌اکسیدکربن موجب تبخیر سریع مولکول‌های آب در نتیجه برش بافت می‌شود. لیزرهای دی اکسیدکربن به اشکال مختلف و برای منظورهای مختلف ساخته شده است (شکل ۱). نوع دیگر لیزرهای گازی، لیزرهای یونی مثل Argon-ion laser (لیزر یونی آرگون) است که در آن به عنوان محیط فعال از یون‌های آرگون (Ar^+) استفاده می‌شود. در لیزرهای یونی کریپتون (krypton-ion laser) علاوه بر یون آرگون، از یون کریپتون نیز استفاده شده است و لذا بنام لیزرهای آرگون ـ کریپتون معروف هستند. این لیزرها نور لیزر موج پیوسته با گستره توان چند میلی‌وات تا ۲۰ وات تولید می‌کنند. لیزرهای آرگون می‌توانند تابش فرابنفش و مادون قرمز و هم‌چنین تابش آبی، سبز، قرمز و حتی سفید ایجاد کنند. توان خروجی لیزرهای کریپتون از لیزرهای آرگون ضعیف‌تر است ولی می‌توانند گستره وسیع‌تری از طول موج‌های نور مریی را نیز گسیل دارند.

در لیزرهای یونی، الکترون‌ها در اثر برانگیخته شدن شدید اتم‌ها، از اتم جدا و ایجاد یون مثبت (مثل AR^+ و Kr^+) می‌شوند. لیزرهای یون فلزی (metal-Ion Laser) نوعی لیزرهای گازی هستند که طول موج‌های ماوراء بنفش (فرابنفش) ایجاد می‌کنند. نمونه این نوع لیزرها، لیزر هلیوم ـ نقره (He-Ag) با طول موج ۲۲۴ نانومتر و لیزر نئون ـ مس (Ne-Cu) با طول موج ۲۴۸ نانومتر می‌باشند.

لیزرهای اگزایمر نوع دیگری از لیزرهای گازی هستند که در آن‌ها گازهایی مثل آرگون، کریپتون و گزنون در کاواک به روش تخلیه الکتریکی تحریک و یونیزه شده و آن‌ها اتم‌های خنثی را تحریک و مولکول‌های یونیزه ایجاد می‌کنند، این مولکول‌ها ترکیبات اگزایمر (مولکول دو اتمی) نامیده می‌شوند و شامل XeF, KrF, ArF و XecI می‌باشند. فوتون‌های آزاد شده این مولکول‌های برانگیخته، طول موج‌های مختلف ایجاد می‌کنند. به‌طوری‌که پرتو خروجی این لیزرها بین ۰/۱۹۳ تا ۰/۳۵۱ میکرومتر است که انرژی بالایی داشته و آسیب بافتی کمتری ایجاد می‌کنند و لذا در پزشکی مورد مصرف دارند.

در لیزرهای مایع به عنوان محیط فعال از مایعات استفاده می‌شود. به این نوع لیزرها لیزرهای رنگی (Dye laser) نیز گفته می‌شود زیرا در آن‌ها به عنوان محیط فعال از یک رنگ آلی استفاده می‌شو.د. این لیزرها طول موج‌های UV، مریی و IR ایجاد می‌کنند و انواع موج پیوسته و پالسی دارند.

■ کاربردهای لیزر در علوم پزشکی

در سال ۱۹۶۰ لیزرها به عنوان «راه‌حلی برای مشکل» (a solution looking for a problem) کشف شده و از آن به بعد هزاران مورد مصرف در جوامع پیشرفته پیدا کرده‌اند که از آن جمله می‌توان به علوم پزشکی، صنایع، مخابرات امور نظامی و ... اشاره نمود.

یکی از کاربردهای لیزر که در زندگی روزمره شاهد آن هستیم اسکنر بارکد (در سوپرمارکت‌ها انبارهای دارویی، دراگ‌استورها و ...) برای بارکدخوانی است که در سال ۱۹۷۴ اختراع شد. در این روش روی کد درج شده روی کالا یک پرتو

کم‌توان تابیده می‌شود و کد دیجیتال توسط لیزر اسکن شده و به کامپیوتر (رایانه) ارسال می‌شود که کامپیوتر آن‌را خوانده و تفسیر و نمایش می دهد. در سال ۲۰۰۴، بدون احتساب لیزرهای دیودی، تقریباً ۱۳۱۰۰۰ لیزر به ارزش ۲/۱۹ بیلیون دلار به فروش رسید و در همین سال تقریباً ۷۳۳ میلیون لیزر دیود به ارزش ۳/۲ بیلیون دلار آمریکایی به فروش رسید. موارد مصرف متنوع برای لیزر، نیاز به لیزرهای با توان خروجی متفاوت دارد. بیشتر لیزرها با برون‌ده خیلی بالا و پالس کوتاه ساخته شده‌اند که در ارتباطات و برش از آن‌ها استفاده می‌شود.

در زمینه علوم پزشکی، لیزر امروزه کاربردهای متنوعی دارد. یکی از مهم‌ترین این کاربردها در جراحی است. به‌ویژه در چشم‌پزشکی، بدون بریدن یا ایجاد اختلال در چشم می‌توان به وسیله لیزر به بافت‌های درونی چشم دسترسی پیدا کرد. با استفاده از باریکه لیزری برشی به باریکی پهنای یک سلول ایجاد می‌شود. کاتاراکت (آب مروارید) مربوط به کدرشدن عدسی چشم است که باعث تار شدن دید می‌شود. سابقاً عدسی کدر شده را با عدسی مصنوعی تعویض می‌کردند. امروزه با استفاده از باریکه لیزر مادون قرمز سلول‌های تیره شده را بخار کرده و دید را اصلاح می‌کنند بدون آن‌که به سایر بافت‌های چشم آسیب برسد. گلوکوم (آب سیاه چشم) که در آن فشار مایع زلالیه در اتاق قدامی چشم بالا می‌رود و یکی از بیماری‌های چشم منتهی شونده به کوری است.

امروزه با استفاده از لیزر کانال‌های خروجی برای مایع زلالیه را باز کرده و فشار مایع زلالیه روی عصب بینایی را برطرف می‌کنند. اعمال جراحی دیگری مثل اصلاح دید در افراد نزدیک‌بین توسط لیزر، اصلاح اختلال ایجاد شده در شبکیه (retina) مثل استحاله لکه زرد (macula lutea) که باعث کاهش دید واضح می‌شود انجام می‌شود. حتی در آستیگماتیسم که از ایجاد برجستگی‌ها یا فرورفتگی‌هایی در سطح قرنیه ایجاد شده و سبب تاری دید می‌شود امروزه توسط جراحی با لیزر اگزایمر سطح قرنیه را صاف می‌کنند ولی مطالعات در این زمینه هنوز کامل نشده است. در جراحی‌های دیگر نیز امروزه از لیزر استفاده می‌شود. به عنوان مثال با استفاده از پرتو لیزر باعث تبخیر قسمتی از دیسک بین مهره‌ای شده و لذا از فشار آن روی اعصاب می‌کاهند. با استفاده از لیزر دی‌اکسیدکربن زگیل (پاپیلویا) روی حنجره و نیز غدد سرطانی کوچک روی تارهای صوتی، مغز، ریه، مثانه، دستگاه گوارش درمان می‌شوند.

حتی امروزه با استفاده از لیزر لوزه‌ها برداشته می‌شوند (tonsillectomy). در زمینه بیماری‌های زنان مثل سرطان دهانه رحم و نیز آندومتریوز از لیزر دی‌اکسیدکربن استفاده می‌شود. به‌طور کلی، لیزر دی‌اکسیدکربن به عنوان وسیله جراحی برای برداشتن بافت‌ها و چاقوی جراحی بدون خونریزی برای ایجاد برش‌های کنترل شده به‌کار می‌رود. در شاخه درماتولوژی، برای درمان هیرسوتیسم (پرمویی) از لیزر استفاده می‌شود. با توجه به این که رنگ‌دانه مو (ملانین) در پیاز مو بیشتر است پرتو لیزر را جذب و انرژی آن را به گرما تبدیل کرده و باعث تخریب انتخابی پیاز شده و در نتیجه مانع رشد مجدد مو در ناحیه پرمو می‌شود. برای درمان پیگمانتاسیون

اپی‌درمی و چین و چروک (wrinkles) همراه با photoaging (پیری زودرس پوست در اثر تابش زیاد آفتاب)، ملاسما (ماسک آبستنی) و اسکارهای آکنه (جای زخم جوش‌های جوانی) از fractional layer treatment در گردن، سینه و دست‌ها استفاده می‌شود.

لیزر در دندان‌پزشکی نیز موارد مصرف متعددی پیدا کرده است. از آن جمله تراشیدن لثه توسط لیزر (برداشتن بافت معیوب لثه) را می‌توان نام برد که بیمار بدون احساس درد، جراحی را پشت سر می‌گذارد. در ضمن برای درمان زخم‌های دهان غیرحساس کردن عاج دندان‌های بی‌حفاظ، انجام روت‌کانال از اشعه لیزر استفاده می‌شود. امروزه برای سفید کردن دندان‌ها نیز از لیزرهایی با طول موج ۵۱۴–۴۸۸ نانومتر مثل لیزر آرگون یا لیزرهای دیودی با طول موج ۸۱۰ نانومتر استفاده می‌شود.

■ ایمنی لیزر Laser Safety

با توجه به خطرناک بودن لیزرهای اولیه (Theodore Moiman Laser) آن‌ها را می‌توان تشبیه به یک تیغ ژیلت کرد. امروزه عقیده بر این است که حتی لیزرهای با توان کم (توان خروجی چند میلی‌وات) می‌توانند به بینایی آسیب برسانند. لیزرها با توجه به درجه ایمنی و خطرات خود از I تا IV طبقه‌بندی شده‌اند. گروه I، لیزرهایی هستند که برای افرادی که با آن‌ها کار می‌کنند خطری ندارند و لذا برای استفاده از آن‌ها دستور ایمنی خاصی وجود ندارد (مثل لیزرهای اسکنر بارکد در سوپرمارکت‌ها)، گروه II، لیزرهای کم خطرند و در صورتی که مدت طولانی مورد استفاده باشند می‌توانند به چشم آسیب برسانند (مثل لیزرهای هلیم ـ نئون). این‌ها با علامت احتیاط با رنگ زرد مشخص می‌شوند و به استفاده‌کنندگان توصیه می‌شود که به‌طور مستقیم به باریکه خیره نشوند. گروه III، لیزرهایی با خطر متوسط هستند که باریکه آن‌ها قدرت زیادی دارد و می‌توانند باعث آسیب به شبکیه چشم به‌ویژه محل خروج عصب بینایی شوند. این لیزرها با علامت خطر به رنگ قرمز و سفید مشخص می‌شوند و توصیه می‌شود که باریکه آن‌ها نباید مستقیم وارد چشم شود. گروه IV، لیزرهای پرخطر هستند که حتی بازتابش‌های پخش شده باریکه اصلی آن‌ها به چشم آسیب شدید رسانده و در ضمن روی پوست اثر تخریبی دارند.

این نوع لیزرها در آزمایشگاه‌ها و کارگاه‌های محافظت شده به‌کار می‌روند. این لیزرها با علامت خطر مشخص شده و در مورد طول موج و توان خروجی تابش و مشخصات دیگر آن‌ها اطلاعاتی را ثبت می‌کنند. برای جلوگیری از رسیدن طول موج‌های خاص به چشم، عینک‌های حفاظتی خاص طراحی شده‌اند و در افرادی که از لیزرهای پرخطر استفاده می‌کنند باید از عینک محافظ مخصوص استفاده کنند.

منابع

1. Monograph of laser-wikipedia, laser, http://en.wikipedia.org/wiki/laser, 2007, 1-12.

2. Rahman Z. Alam M. Dover S. Fractional Laser treatment for pigmentation and Texture improvement, skin therapy letter.com. 2006, 11: 1-8.

۳. اورمند ز. لیزر و کاربردهای آن. تهران: نشر دانش‌پرور؛ ۱۳۵۸.

۴. مقبلی ن. لیزر (تکنولوژی جدید نور). تهران: انتشارات فاطمی؛ ۱۳۸۱.