فیزیک لیزر

[1] دکتر محمد رسول صبوری نژاد

خلاصه

با تحریک دوباره "اتم های تحریک شده"، فوتونهایی ساطع می شود که با تقویت آنها، تشعشعات منوکروماتی حاصل می شود که در مسیر خود در خلاء "جهت و فاز یکسان" داشته و از شدت انرژیکی بالایی برخوردارند.

ماهیت این امواج منوکرومات و کوهرنت به نحوی است که موجب تغییر ماهیت نسوج، در برخورد با آنها می گردد. دو خاصیت عمده این تشعشعات پرانرژیک انعقاد و انهدام نسجی است که اصول عمده جراحی لیزر را لحاظ می کند.

مقدمه:

جهان افتالمولوژی، همگام با پیشرفت تکنولوژی، به سرعت در حال تغییر است. یکی از این فرآورده های تکنیکی ظهور و پیدایش لیزر است. کاربرد لیزر در چشم پزشکی، افق های تازه ای را در درمان بیماریهای و خیم چشمی گشوده است. امید است این فرآورده تکنولوژی، هرچه بیشتر در مراکز چشم پزشکی ایران مورد شناخت و بهره - برداری قرار گیرد.

آنچه که در زیر می خوانید مطالب فشرده ای است در مورد اصول فیزیکی لیزر، بدون آنکه به موارد استعمال آن در چشم پزشکی، اشاره ای رفته باشد. چرا که این خود بحث جداگانه ای را می طلبد.

اشعه لیزر: LASER

کلمه LASER* متشکل از حروف اول یکسری کلمات است که چگونگی تولید آنرا بعنوان یک نور مشخص می کند. تفاوت عمده این نور با نور عادی در چگونگی تولید آن است و چون ماهیت این نور از امواج الکتروماگنتیک است در نتیجه قابل رؤیت است.

امواج نوری ممکن است طول موج بلند یا کوتاه داشته باشد. امواج با طول موج بلند شامل اشعه مادون قرمز، میکروویو و امواج رادیویی است و امواج با طول موج کوتاه شامل اشعه - ماوراء بنفش، اشعه ایکس و اشعه گاما است.

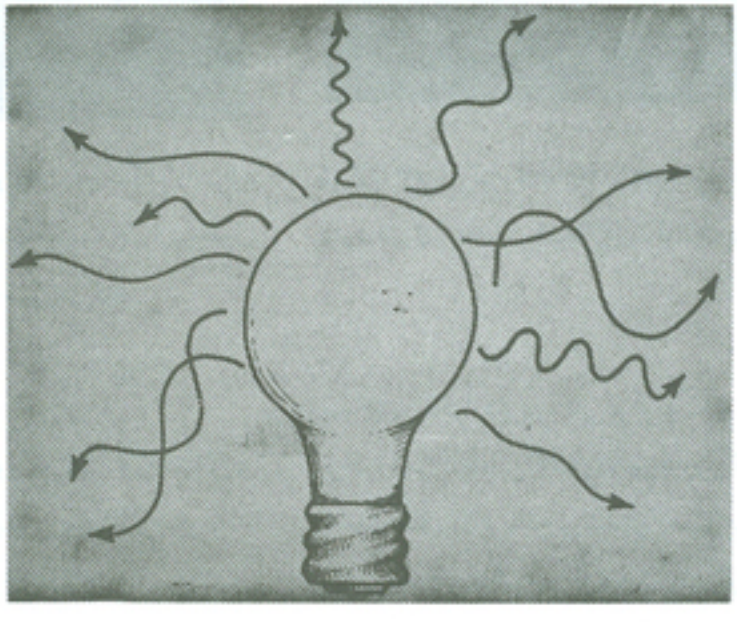
تمام امواج الکتروماگنتیک با سرعت نور در خلاء سیر می کنند. میزان این سرعت با حاصل ضرب طول موج در فرکانس آن معلوم می گردد. و چون این سرعت برای تمام امواج نوری یکسان است، نتیجتاً "سرعت با طول موج نسبتی معکوس خواهد داشت." هرقدر طول موج بزرگتر باشد فرکانس آن

* LIGHT- Amplification- By Stimulated Emission of Radiation

[1] استادیار - متخصص بیماریهای چشم - بیمارستان توتونکاران رشت

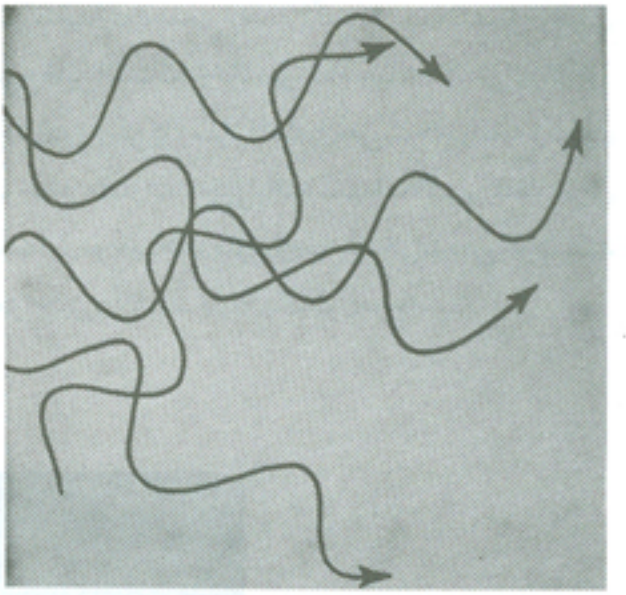
کمترخواهد بود." بنابراین می توان نسبت نوررا باطول موج با فرکانس آن مشخص نمود. "هرقدرفرکانس بالاتریاطول موج کمترباشد تمایل نوربه "آبی تربودن است"، یعنی نور تمایل داردکه درطیف رنگ آبی (طول موج کوتاه) قرارگیرد. مشخصه دیگرنورمیزان انرژی آن است که با فرکانس نسبت مستقیم دارد. یعنی "هرقدرطول موج نورکوتاهترباشد، انرژی آن بیشتر است."

"نورسفید" که تجمعی ازهمه رنگ هاست. متشکل ازطول موج هایی است که درخلاء درتمام جهات سیرمی کند شکل (۱). این نورپلی کروماتیک نامیده می شود چراکه ازطول موجهای متفاوت تشکیل یافته است. اما اگرنورفقط دارای یک طول موج باشد. منوکروماتیک خوانده می شود مانند امواج لیزری که فقط دارای یک طول موج است.

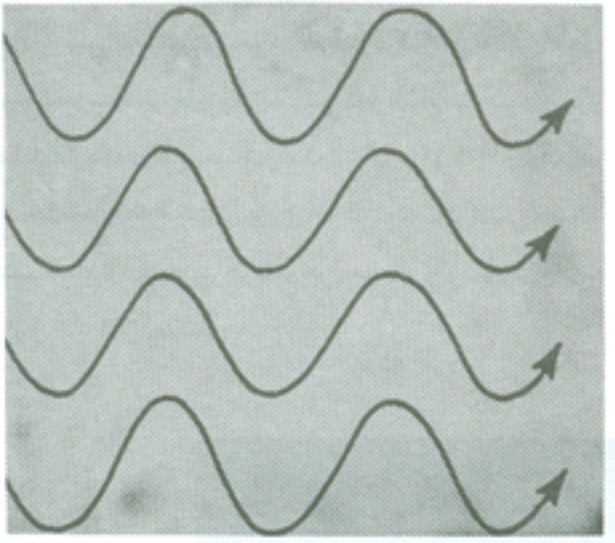


شکل (۱): "نورسفید متشکل ازتمام امواج است ودرتمام جهات سیرمی کند (۳).

امواج منوکروماتیک نورعادی، درحرکت سینوسی خود، در خلاء جهت یکسان ندارد ودریک زمان به پیک نمی رسد شکل (۲). درمقابل نورلیزری که منوکروماتیک است، در حرکت سینوسی درخلاء جهت یکسان داشته ودریک زمان به پیک می رسد وفاصله پیک هانیزیکسان است که چنین نوری Coherent نامیده می شود شکل (۳). بنابراین Cohernet بودن یکی ازوجوه مشخصه اشعه لیزراست.



شکل (۲): امواج منوکروماتیک نور عادی، متشکل از امواج باطول موج یکسان است ولی گوهرنت نیست. چراکه طول موج ها یک فازه نبوده و در یک جهت سیر نمی کند.



شکل (۳): نورلیزر Coherent است زیرا امواج جهت یکسان دارد. در یک زمان به پیک می رسد فاصله پیک ها نیز برابر است. (۳)

تئوری لیزر:

درفیزیک مدرن، واحد نور "فوتون" و واحد انرژی نوری "کوانتوم" نامیده می شود. برابر تئوری کوانتوم، فوتون یا الکترون در سطح مشخصی از انرژی قرار دارد. این اصل فیزیکی که در اوایل قرن بیستم تعریف شده، اساس تئوری جراحی با لیزر را تشکیل می دهد.

وقتی انرژی نوری از محیطی عبور داده می شود، فوتونهای آن ممکن است جذب محیط گردد و در نتیجه الکترونهای اتم های آن تحریک شده و در سطح بالاتری از انرژی قرار گیرد، و به مدارهای بالاتری صعود کند.

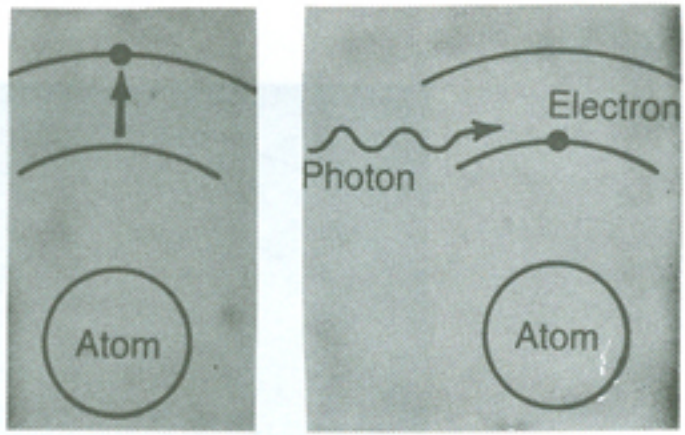
در اغلب موارد الکترونهای قابل صعود در اتم، در مدارهای پایینی آن قرار دارد و وقتی فوتونهای نوری با این اتم ها برخورد می کند، این الکترونهای با انرژی کم واقع در مدار پایین، به مدارهای بالاتر با انرژی بیشتر "پمپ" می شود. شکل (۴)

سپس صدها میلیونیم ثانیه بعد الکترون بخودی خود، به مدار قبلی (پایین) باز برمی گردد. در این بازگشت سریع، الکترون انرژی گرفته شده را بصورت فوتون نوری پس خواهد داد. شکل (۵)

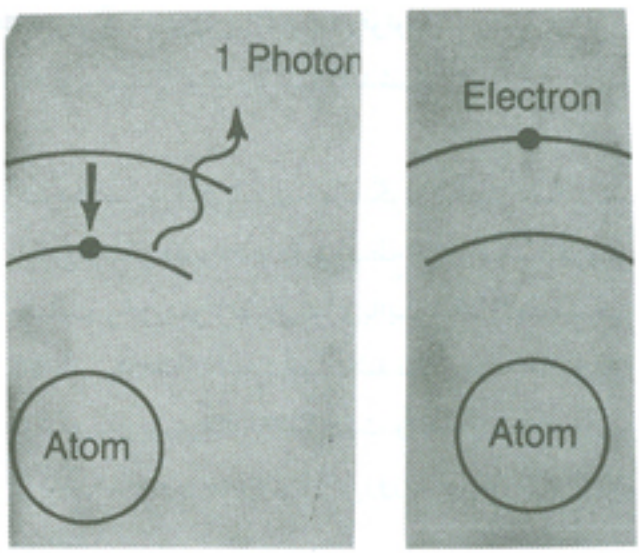
این فوتون دقیقاً همان خصوصیات فیزیکی فوتون پمپاژ کننده را خواهد داشت. این فرآیند Spontaneous Emmision نامیده می شود.

فوتونهای پمپاژکننده هرچند منوکروماتیک است ولی فاقد فاز

وجهت یکسان است. یعنی Coherent نمی باشد. بنابراین از نظر فیزیك لیزری، تشعشعی بدون فایده است.



شکل (۴): انرژی فوتون ممکن است جذب شده، و الکترون را به موارد بالاتر با انرژی بیشتر پمپ نماید. (۳)



شکل (۵): Spontaneous Emmision: یك الکترون تحریك شده به مدار قبلی خود برمی گردد در این بازگشت یك فوتون نوری از خود ساطع می کند. مسیر این فوتون جهت مشخصی ندارد. (۳)

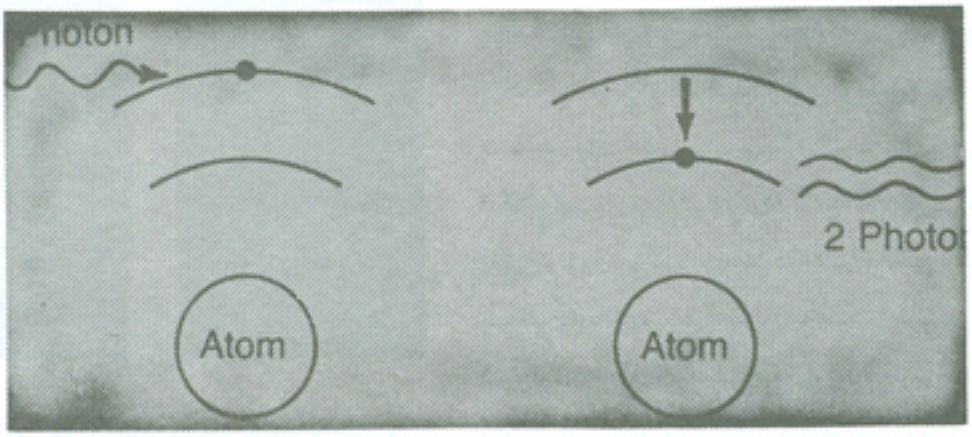
حال وضعی را تصور می کنیم، که در آن الکترونهای محیط در بالاترین سطح انرژی و بالاترین مدار خود قرار گرفته باشد. به این مدیوم، با این خصوصیات، فوتونهای نوری تابانده می شود. چه وضعی پیش می آید؟

تحقیقات فیزیکی نشان می دهد که این الکترونها با انرژی زیاد در بالاترین مدار با صدور دو فوتون نوری، به مدار پایین تر با سطح کمتر انرژی، بازگشت می کند. به عبارت دیگر الکترونهای مدار بالا Knocked- out می شود و به مدار پایین تر نزول می کند. نتیجتاً در حالیکه فقط یك فوتون نوری به اتم تابانده شده، الکترون به هنگام ناك اوت شدن، دو فوتون نوری از خود ساطع می کند فوتون تحریك کننده (فوتون اول) و فوتون صادر شده (فوتون دوم) شکل (۶). فوتون دوم، همان خصوصیات فوتون اول را داشته، در جهت و فاز با آن یکسان است. این فرآیند Stimulated Emmision خوانده می شود.

معمولاً ماهیت محیط، به نحوی است که بیشتر الکترون اتم های آن، در پایین ترین سطح انرژی خود قرار دارد. در حالیکه یکی از شروط لازم برای عملکرد لیزری وجود محیط است که قبل از ورود اشعه نوری به آن، الکترونهای قابل "صعود به مدار بالاتر" آن در بالاترین سطح انرژی خود باشد. چنین شرایطی از محیط را Population Inversion گویند.

برای ایجاد چنین وضعی، باید به محیط انرژی داده شود. این امر به دو صورت انجام می گردد. یك راه این است که از تشعشعات نوری برای ارتقاء انرژی الکترونها استفاده شود مانند آنچه که در لیزرهای جامد مانند روبی لیزر و یا گ لیزر انجام می شود و یا اینکه از جریانهای الکتریکی استفاده

بـــعمل آید، مـــانند آنچه که در لیزرهـــای گازی چون آرگون و کـریپتون انجام می گردد. بنابراین دو حالت احتمـالی برای اشعه نوری بـــاطول موج مشخص که از مدیوم لیزرگـــازی یا جامد عبور داده می شود، ممکن است پیش آید.



شکل (۶): Stimulated emision یك فوتون به یك الکترون تحریك شده اصابت می کند در نتیجه الکترون به مدار قبلی با انرژی کمتر خود برمی گردد. در این بازگشت دو فوتون نوری ساطع می کند که از نظر فاز یکسان اند که به نام فوتون پمپاژکننده و فوتون تولید شده نامیده می شوند. (۳)

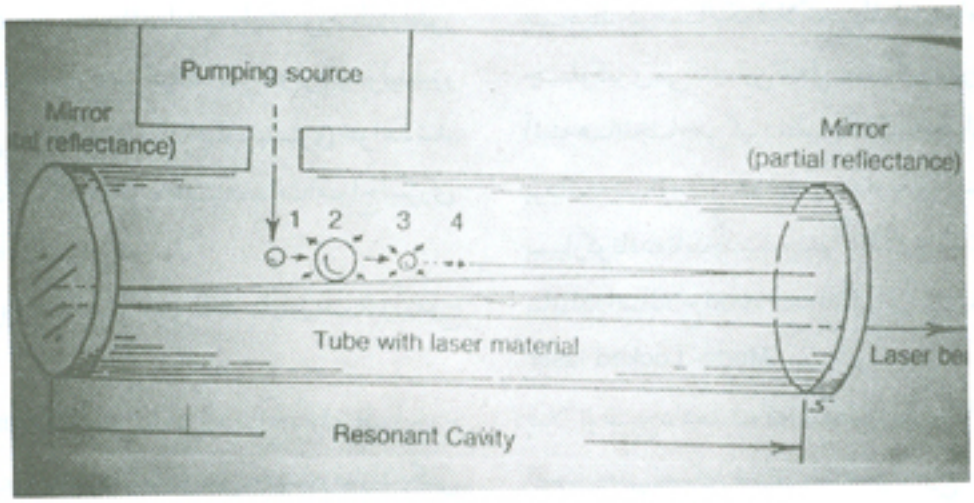
محیط لیزری معمولا" دریك حفره استوانه ای موسوم به Resonant Cavity (حـفره تشدید) یـا Laser Cavity قرار داده می شود.

یك حالت این است که اشعه نوری وارد شده به حفره تشدید کاویتی تضعیف شود این در وقتی است که الکترون اتم های مدیوم در پایین ترین سطح انرژی باشد در این صورت اشعه نـوری بعد از خـروج حفره به علت از دست دادن فوتونهای خود که جذب الکترونهای محیط شده، تضعیف شده است. این اشعه بهره لیزری ندارد.

حـالت دیگر این است کـه اشـعه نوری بعد از خروج تقویت گـردد. ایـن در وقتی است، همـانگونه کـه قبلا" اشاره شد، الکترونهـای مدیوم در بالاترین سطح انرژی بـاشد. در ایـن حـالت برخورد فوتونهـای نوری با ایـن الکترونها، سبب Knocked- down شدن آنهـا شده، کـه نتیجه آن صدور فوتونهـای نوری Coherent است. واضـح است کـه ایـن واکنش هـا بطور زنجیره ای داخل روزنـانس کاویتی، اتفاق می افتد.

حـال می توان این تشعشعـات کوهرنت تولید شده را، بـاز مـجددا" تـقویت نمود این کـار با عبور چندین بـاره اشـعه در داخل حفره انجام می گردد.

بدین طریق که در دو انتهای حفره دو آینه قرار داده می شود که موجب برگشت اشعه بعد از برخورد با آنها می گردد. نتیجه اینکه اشعه چندین بار داخل مدیوم حرکت رفت و برگشت انجام داده، موجب تحریک هرچه بیشتر الکترونها می گردد. این اقدام فیزیکی را Amplification گویند شکل (۷).



شکل (۷): شمای سیستم لیزری: ماده لیزر در یک لوله استوانه‌ای بین دو آینه گذاشته می شود. وقتی انرژی بداخل لوله پمپاژ می شود. اتم های ماده (۱) تحریک شده به سطح انرژی بالاتری صعود می کند. (۲) اتم های تحریک شده، در این حالت در برخورد با فوتون به سطح انرژی کمتری نزول می کند. (۳) در این سقوط انرژیکی است که الکترون از خود فوتون های نوری ساطع می کند (۴). فوتون صادر شده، بین آینه ها نوسان پیدا می کند تا اتمهای بیشتری را تحریک کند، آنقدر که تا Light Amplification حاصل شود. اکنون نور شایستگی آن را یافته است، که بعنوان "اشعه لیزر" سیستم را ترک کند (۲).

وقتی دو آینه، در دو انتهای حفره طوری قرار گرفته باشد که تمام اشعه نوری را منعکس کند واضح است که اشعه ای موسوم به اشعه لیزری، از سیستم خارج نخواهد شد. برای رفع این مشکل در یک انتها، آینه طوری قرار داده می شود که بطور جزیی نور را منعکس می کند. در نتیجه اجازه دهد که از این انتها، لیزر از سیستم خارج گردد شکل (۷).

تا اینجا روشن گردیده که ماهیت لیزر کدام است و چگونه پدید می آید. یک امر مهم دیگر چگونگی خروج آن از سیستم است:

لیزر ممکن است بدو فرم مورد استفاده قرار گیرد. فرم Continue (پیوسته) و فرم Pulse (منقطع).

فرم Continue وقتی است که منبع پمپاژ کننده انرژی را بطور

لاینقطع، به سیستم وارد کند شکل (۷). در این صورت لیزر بطور مداوم از سیستم خارج می گردد.

فرم Pulse وقتی است که منبع پمپاژکننده، انرژی را بطور منقطع به داخل حفره پمپاژ نماید و در اینصورت لیزر بطور منقطع از سیستم خارج می گردد. این دو فرم از تولید لیزر اهمیت فراوانی دارد که بعداً به آن اشاره بیشتری خواهد شد.

با توجه به موارد ذکر شده قبلی، خصوصیات امواج لیزری بطور خلاصه به قرار زیر است:

۱- اشعه منوکرومات است. یعنی فقط دارای یک طول موج است.

۲- اشعه Coherent است. یعنی امواج دارای طول موج یکسان است. و در حرکت سینوسی، جهت و فاز آن یکی است و در یک زمان به پیک می رسد.

۳- اشعه لیزری، برخلاف اشعه معمولی که در تمام جهات منتشر می شود، فقط در یک جهت در طول یک محور، نشر می کند.

۴- اشعه لیزر بسیار قدرتمند است.

فرم Pulse در قدرت بالا، قادر است هر نوع ماده ای را تبخیر کند.

تکنیک های خاص در لیزر:

به منظور ایجاد قدرت زیاد در لیزرهای جامد مانند Neodynium YAG Laser از مدهای خاصی استفاده شده است که از جمله آنها مانند: کیو - سوئیچ و مد - لاک Q-Switched Laser. حرف Q از کلمه quality factor اخذ شده تا نسبت میزان انرژی ذخیره شده به میزان انرژی پراکنده شده را در مدیوم نشان دهد.

"High Q" مبین خوب بودن ذخیره انرژی و در مقابل "Small Q" نشانگر کم بودن آن است.

Q-swithing مدی است که از صدور اشعه لیزر از الکترونهای محیط، در حالیکه قبلاً تحریک شده و آماده نشر آنند، جلوگیری می کند. این عمل با مسدود کردن موقت یکی از آئینه ها انجام می گیرد بطوریکه که بعد از مدت زمانی از برداشته شدن مانع، تولید لیزر ادامه پیدا می کند. این زمان بسیار کوتاه ده تا پنجاه بیلیونیم 10^{9} ثانیه است. (۹)

بنابراین اصطلاح Nanosecond برای این مد بکار می رود.

Mode- Locked laser

قبلاً توضیح داده شده که اشعه لیزر بطور خالص منوکرومات است. یعنی تماماً دارای یک طول موج است. این فقط از نظر تئوری است. در عمل نشان داده شده که همراه امواج لیزری امواجی است که طول موج آنها، اندکی متفاوت با طول موج لیزر است.

Mode locking مدی است تا این طول موج های اندک متفاوت را کنترل نماید. به این طریق که یک لایه "رنگ" در مسیر اشعه در داخل حفره لیزر گذاشته می شود. این رنگ در برابر اشعه "اپاک" است. تا وقتی که شدت اشعه داخل حفره به حدی رسیده باشد که بتواند یک لحظه "رنگ" را از پاک بودن درآورده، شفاف نماید. در این لحظه است که "لیزر" اجازه صدور می یابد.

زمان pulse برای مد - لاک یک تریلوئیم ثانیه (10^{12}) است بنابراین اصطلاح Picosecond برای این مد بکار می رود.

هرچند از نظر کلینیکی، مد - لاک با "کیوسوئیچ" تفاوت دارد، ولی در حقیقت "مد - لاک" نوعی از "کیوسوئیچ" است. هردو

متد می تواند قدرت های بالایی از پولسس های لیزر را ایجاد نماید.(۳)

بیولوژی لیزر:

تغییرات نسجی ناشی از لیزر در نسوج بدن، اغلب به یکی از دو روش های زیر انجام می شود:

الف- فتوکواگولاسیون

ب - فتودیسرپشن

الف: Photocoagulation

وقتی انرژی لیزری در نسوج پیگمانته جذب شود تبدیل به انرژی حرارتی می گردد. انرژی حرارتی در اینحالت، موجب انعقاد یا (کواگولاسیون) در نسج تارگت می شود. از این نوع لیزر می توان از لیزر آرگون و کریپتون نام برد.

ب: Photodisruption

انرژی لیزری می تواند، در نسج تارگت آسیب مکانیکی ایجاد نماید و در نقطه بسیار کوچکی از آن که مورد اصابت اشعه قرار گرفته، یك انفصال در "تمامیت" نسج ایجاد نماید. از این نوع لیزر می توان Neodymum- YAG laser را نام برد.

بنابراین، فتوکواگولاسیون و فتوویسرپشن، دو مکانیسم بیولوژیکی است که لیزر با این مکانیسم ها، در نسوج اعمال "اثر" می کند.(۲)

REFERENCES:

1- Bryan. Nichols AMERICAN ACADEMY OF OPHTHALMOLOGY, CALIFORNIA, 1989 SECTION 2 P.P 35

2- SHIELD .M. BRUCE.MD- TEXT - BOOK OF Glaucoma Lonodon; William Wilkims 1987- P.P- 432 .

3- Duan. THOMAS. CLINICAL OPHTHALMOGY. PHILADELPHIA; HARRER S ROW PUBLISHERS 1987 Vol (I) Chop 69.

Physic of Laser

Dr. Sabori Negad M.R.

SUMMARY

laser operate on the principle that excited atoms can be stimulated to emit photons, Resulting in a Markedly amplified light that possesses the Unique properties of coherence, Monochromacy and high Intensity.

The Nature of this light allows precise alteration of tissues, primarily by photocoagulation and disruption which has been Utilized in several forms of surgery .