دانشگاه خوارزمی

دانشکده‌ی علوم - گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

فیزیک اتمی - مولکولی

عنوان:

" نظریه‌ی تقویت نور توسط لیزرهای چند مدی کلاس A و B تا تقریب مرتبه‌ی دوم"

استاد راهنما:

دکتر جعفر جهان پناه

نگارش:

حکیمه مرادی

دی ماه ۱۳۹۱

تقدیم به:

والاترین معانی عشق زندگی‌ام، گران بهاترین سرمایه‌ام، مادر

دستم برای از شما نوشتن می‌لرزد. هیچ کلمه‌ای قدرت بیان مهربانی‌های بی‌پایان شما را ندارد. با یک دنیا شور و اشتیاق وضوی عشق می گیرم و پیشانی بر خاک گذاشته خداوند بزرگ را شکر می‌کنم که که نعمت وجودت را به من ارزانی داشته است. اکنون این ثمره دوران تحصیلم را به شما تقدیم می‌کنم و دست هایت را می‌بوسم.

تقدیم به خانواده‌ی عزیزتر از جانم.

تشکر و قدردانی:

سپاس ایزد منان و حنانی را که یاری نمود تا ذره ناچیزی از معرفت بی کرانش را فرا گیرم و درود بر بهترین خلایق، حضرت محمد مصطفی (ص).

از خانواده‌ی عزیزم تشکر و قدر دانی می کنم که در این راه مشوق من بودند و از برادر عزیزم جناب آقای دکتر باقر مرادی که واقعا در این پایان نامه یاور و مشوق من بودند تشکر و قدردانی می کنم امیدوارم همیشه سلامت و سربلند باشند.

به مصداق آیه‌ی « من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق » بسی شایسته است از استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر جعفر جهان پناه که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم ودانش را با راهنمایی‌های کار ساز و سازنده بارور ساختند، نهایت تشکر و قدردانی را دارم. امیدوارم در تمام مراحل زندگی موفق و موید باشند.

هم‌چنین از دوستان عزیزم خانم‌ها آسیه اسعدزاده، شیرین بیات و اسما احمدی پور تشکر می کنم.

چکیده:

در این‌جا نظریه تقویت خطی و غیرخطی نور توسط لیزرهای کلاس A و B در حالت نوسانی چند مد مورد بررسی قرار گرفته است. پدیده ترکیب چارموج (FWM) میان مد مرکزی کاواک و سیگنال ورودی تقویت شده، دنباله‌ای از مولفه‌های جانبی در میدان الکتریکی کاواک و در فواصل مساوی فرکانسی ایجاد می‌کند. تولید پالس‌های کوتاه به وسیله‌ی فاز مولفه‌های جانبی نشان داده شده است. در روش خطی، لیزرتقویت‌کننده‌ی سه مد شبیه به لیزر بدون تقویت‌کننده عمل می‌کند به گونه‌ای که نوسان‌های دو مد مجاور راست و چپ با سیگنال تقویت‌کننده‌ی ورودی و تصویر مولفه‌های جانبی جای-گزین شده‌اند. در روش غیر خطی، ابتدا بیش از دو مولفه‌ی جانبی به مولفه‌های میدان الکتریکی کاواک اضافه و سپس مد مرکزی کاواک از سیگنال ورودی دور شده است. در همان زمان، با افزایش شدت سیگنال ورودی، تعداد فوتون‌های مد مرکزی به صفر کاهش می‌یابد. در این لحظه پدیده‌ی قفل شدگی رخ می‌دهد و به‌طور هم‌زمان همه‌ی مولفه‌های جانبی و مد مرکزی کاواک روی سیگنال تزریق شده پرش می‌یابند. سرانجام رابطه‌ی بقای انرژی میان انرژی ورود به لیزر توسط پمپاژ و سیگنال تزریق شده که بین مد مرکزی کاواک و مولفه‌های جانبی توزیع شده است، و تابش گسیل خودبخود، به‌دست آمده است.

کلمات کلیدی: لیزر کلاس A و B، تقویت کننده، ترکیب چار موج، تقریب مرتبه دوم، لیزر چند مد، قفل شدگی.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱- مقدمه‌ای بر پایان نامه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۲- مفاهیم بنیادی لیزر ۵

۲-۱- ماهیت نور ۶

۲-۲- فرایندهای بنیادی لیزر ۸

۲-۲-۱- فرایند گسیل خودبخودی ۸

۲-۲-۲- فرایند گسیل القایی ۱۰

۲-۲-۳- فرایند جذب ۱۲

۲-۳- معرفی اجزای لیزر ۱۳

۲-۴- انواع لیزر ۱۴

۲-۴-۱- لیزر حالت جامد ۱۵

۲-۴-۲- لیزر گازی ۱۵

۲-۴-۳- لیزر مایع ۱۵

۲-۴-۴- لیزر نیم رسانا ۱۶

۲-۵- نحوه‌ی اندازه‌گیری پارامترهای لیزر ۱۸

۲-۵-۱- توان لیزر ۱۸

۲-۵-۲- انرژی پالس لیزر ۱۸
۲-۵-۳- پهنای زمانی پالس ۱۸
۲-۵-۴- شدت پرتو لیزر ۱۹
۲-۶- تقویت نور به وسیله‌ی محیط مادی ۱۹
۲-۷- تقویت نور به وسیله‌ی لیزر ۲۱
۲-۸- محاسبه‌ی شرایط وارونی جمعیت در حالت آستانه ۲۳
۲-۹- خواص نور لیزر ۲۳
۲-۹-۱- تکفامی ۲۴
۲-۹-۲- همدوسی ۲۴
۲-۹-۳- جهت‌مندی ۲۶
۲-۹-۴- درخشایی ۲۷
۲-۱۰- مدهای محوری ۲۹
۲-۱۱- مدهای عرضی ۳۲
۳- نظریه‌ی لیزرتقویت کننده‌ی تک مد ۳۵
۳-۱- معادلات حرکت ماکسول- بلوخ ۳۶
۳-۱-۱- معادله‌ی حرکت میدان الکتریکی در کاواک لیزر ۳۶
۳-۲- معادلات وارونی جمعیت و گشتاور دو قطبی اتم ۴۰
۳-۳- لیزر تقویت کننده‌ی تک مد ۴۴
۳-۴- حل معادله‌ی تک فرکانسی لیزرهای تقویت کننده ۴۸
۳-۵- قانون بقای انرژی در تقویت کننده‌ی لیزری ۵۲

۴- نظریه‌ی لیزر تقویت کننده‌ی چند مدی ۵۵

۴-۱- مدل ۵۶

۴-۲- معادلات حرکت در تقویت کننده‌ی مرتبه دوم ۶۰

۴-۲-۱- حل معادلات حرکت ۶۱

۴-۳- قانون پایستگی انرژی در تقویت کننده‌ی لیزری مرتبه دوم ۶۶

۴-۴- بهره‌ی لیزر ۷۴

۴-۵- قانون بقای انرژی با بهره‌های لیزر ۷۶

۵- قفل شدگی لیزرو مشخصات زمانی پالس ۷۹

۵-۱- قفل شدگی مد لیزر ۸۰

۵-۲- روش قفل شدگی مد ۸۱

۵-۳- معادله‌ی قفل شدگی لیزر ۸۲

۵-۴- مشخصات زمانی پالس‌ها ۸۷

۵-۴-۱- مقایسه‌ی شدت میدان الکتریکی تقریب مرتبه‌ی اول و دوم ۹۵

۵-۴-۲- اثرات تغییر فاز در برایند شدت میدان الکتریکی ۹۶

۵-۴-۳- اثرات ضریب اتلاف مدهای جانبی ۹۷

۵-۴-۴- اثرات اختلاف فرکانسی ۹۸

۵-۴-۵- اثرات آهنگ اتلاف وارونی جمعیت ۱۰۰

نتیجه گیری ۱۰۱

پیوست ۱۰۳

منابع ۱۱۰

فصل اول

مقدمه‌ای بر پایان‌نامه

۱- مقدمه

مشخصات لیزر تقویت‌کننده‌ی تک مد، به دو صورت تئوری و تجربی مورد بررسی قرار گرفته است [1]. هم‌چنین ویژگی لیزر تقویت‌کننده‌ی آرگون - یون در حالت بالای آستانه از جمله، اختلاف فرکانسی ω بین سیگنال ورودی ω_S و فرکانس لیزر بدون تقویت‌کننده‌ی ω_{L0}، اندازه‌گیری شده است[۲] که به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\omega = \omega_S - \omega_{L0} \qquad (۱-۱)$$

هرچقدر شدت میدان ورودی به کاواک لیزر بیشتر باشد مراتب بالاتر مولفه‌های میدان α تولید خواهند شد. با ورود سیگنال، دامنه‌ی پرتو ورودی به مقدار α_+ افزایش می‌یابد و بر اثر فرایند ترکیب چار موج (FWM[1]) با میدان الکتریکی α_{L0} باعث پدید آمدن α_+، α_-، α_{2+} و α_{2-} می‌شود. به علت تامین انرژی مربوط به میدان‌های الکتریکی جدید، دامنه α_{L0} کاهش می‌یابد. در این صورت بسامد مربوط به مد مرکزی به اندازه‌ی ω_L'' از پرتو ورودی دور می‌شود. ساختار لیزر چند فرکانسی با استفاده از معادلات حرکت ماکسول- بلوخ به‌دست می‌آید. هریک از معادلات ماکسول- بلوخ که برای لیزر تک فرکانس به دست آمده‌اند توسط میدان الکتریکی با هم ترکیب می‌شوند[۲].

لیزر تقویت‌کننده مبتنی بر پدیده‌ی ترکیب چار موج FWM است. این پدیده به‌صورت تجربی مشاهده شده است [۳و ۴] و برای لیزرهای کلاس A و B به‌صورت تئوری توسط تعدادی از دانشمندان بررسی شده است [۲و ۵]. هم‌چنین شرایط پایداری این لیزر در هر دو حالت تک فرکانسی[۲] و چند فرکانسی[۳] مورد بحث قرار گرفته است [۶]. در اینجا لیزرهای کلاس A و B را در حالت چند مد بر مبنای دو پارامتر میدان الکتریکی α و وارونی جمعیت D تا تقریب مرتبه‌ی دوم بررسی می‌کنیم به‌طوری‌که مدها در فرکانس‌های متوالی ω_{L0}، ω_+، ω_-، ω_{2+} و ω_{2-} قرار داشته باشند و سیگنال جهت تقویت مدها، با فرکانس $\omega_L + \bar{\omega}$ به داخل کاواک لیزر فرستاده شده است. درون لیزر همواره مدهای

[1] Four– Wave- Mixing
[2] Single– frequency
[3] Multi– frequency

زیادی در حال نوسان هستند و اصل لیزر مبتنی بر این است که یک یا چند تا از این مدها را تقویت کند. در این مطالب ما شرایطی را بررسی می‌کنیم که مد مرکزی ω_{L0} در بالای آستانه[1] نوسان کند در حالی که مدهای مجاور در زیر آستانه[2] و نوسانی نداشته باشند.

تزریق سیگنال اپتیکی به داخل لیزر بدون تقویت‌کننده‌ی[3] چند مدی [4]، یک روش کاربردی برای تولید پالس‌های قوی و کوتاه با مدت زمان از مرتبه‌ی نانو تا پیکو ثانیه در تقویت سیگنال ورودی است [۷و ۸و۹]. این حالت یکی از روش‌های قفل‌شدگی[5] مد می‌باشد که مشخصات موقت پالس‌ها به‌طور مستقیم به وسیله‌ی انتخاب فرکانس، فاز و سیگنال تزریق شده‌ی قوی تعیین شده است [۱۰]. دیگر کاربردهای مهم آن، می‌توان به کاهش پهنای پالس زمانی[6] [۱۱]، اختلال[7] [۱۰] و پایداری لیزرها[8] [۱۲و۱۳و۱۴] اشاره کرد.

دو روش مختلف برای جای‌گزین کردن نوسانات فاز خروجی مدهای طولی در لیزر برده[9] با نوسانات فاز قفل شده‌ی مولفه‌های جانبی وجود دارد [۱۵ و۱۶] . روش اول، یک سیگنال ورودی داریم که رنج طیفی آن نزدیک به رنج قفل شدگی لیزر چند مدی در حالت بالای آستانه می‌باشد [۱۳و۱۷] . روش دوم، مدهای طولی مجاورکاواک را در حالت زیر آستانه نگه می‌داریم که باعث می‌شود سیگنال و تصویر مولفه‌های جانبی میدان، به وسیله‌ی فعل و انفعالات پدیده‌ی FWM میان مد مرکزی کاواک و سیگنال تقویت شده‌ی ورودی تولید شوند [۵و ۱۵] . اکثر مولفه‌های جانبی میدان می‌توانند به وسیله‌ی کاهش دادن سیگنال ورودی یا به وسیله‌ی نزدیک شدن به رنج فرکانس قفل شدگی، در مدهای مجاور کاواک ایجاد شوند. انرژی سیگنال و تصویر مولفه‌های جانبی میدان بوسیله‌ی مد مرکزی کاواک فراهم شده است. هنگامی‌که انرژی مد مرکزی به‌طور کامل میان مولفه‌های جانبی میدان توزیع شود، فرکانس مد

[1] Above- threshold
[2] Below- threshold

[3] Free- Running Laser
[4] Multi - Frequency
[5] Mode- Locking techniques
[6] Frequency bandwidth
[7] Noise
[8] Instability Lasers
[9] Slave Laser

مرکزی و مولفه‌های جانبی به‌طور هم‌زمان به‌وسیله‌ی تزریق سیگنال ورودی قفل می‌شوند [۵]. تعیین مرز قفل‌شدگی در شرایطی از پارامترهای لیزر هم‌چون، آهنگ پمپاژ لیزر، شدت سیگنال ورودی و اختلاف فرکانسی تشدید در مد مرکزی کاواک تعیین شده است [۱]. هم‌چنین جابجایی فرکانسی مد مرکزی کاواک در تقویت سیگنال ورودی به‌طور صحیح تا تقریب مرتبه‌ی دوم محاسبه شده است. حل معادلات حرکت مربوط به حالتی که کاواک لیزر دارای سه مد و سه مولفه‌ی میدان α_L، α_+ و α_- باشد به‌طوری‌که اتلاف مربوط به مدهای جانبی به‌صورت ε_+ و ε_- در نظر گرفته شده باشد، مورد بررسی قرار گرفته است [۵و ۱۰و ۱۸و ۱۹].

مطالبی که در این پایان‌نامه ارائه می‌شوند: فصل دوم، مفاهیم بنیادی لیزر بیان می‌شود. در این فصل به بررسی اصول لیزر و خواص نور لیزر پرداخته‌ایم. فصل سوم، نظریه لیزر تک مد که اساس معادلات آن بر گرفته از معادلات ماکسول– بلوخ است، بررسی شده است. فصل چهارم نظریه لیزر تقویت‌کننده‌ی چند مد، جواب‌های فرضی به همراه قانون بقای انرژی و بهره‌های لیزر بیان شده است. فصل پنجم، به بررسی شرایط قفل‌شدگی و مشخصات زمانی پالس‌هایی که از جفت شدن چند مد طولی تا تقریب مرتبه‌دوم و با یازده عامل فیزیکی پرداخته‌ایم. هم‌چنین در این فصل جابجایی فرکانسی لیزر، قفل‌شدگی لیزر و نتایج تجربی بررسی شده است.

فصل دوم

مفاهیم بنیادی لیزر

۲-۱- ماهیت نور

اصطلاح لیزر[1] مخفف عبارت زیر

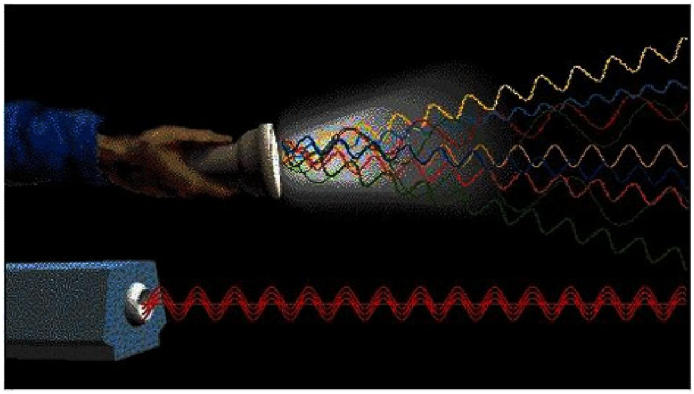
"Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation"

به معنی تقویت نور توسط تابش تشعشع القایی است. این وسیله مبتنی بر همان اصول میزر است. به گسیل طول موج‌های بلندتر ناحیه میکروویو" میزر "گفته می‌شود. اولین میزر با استفاده از گذار میکروویو در مولکول‌های آمونیاک (NH_3) ساخته شد. در سال ۱۹۵۸ اولین بار پیشنهاد فعالیت میزر در فرکانس‌های نوری در مقاله‌ای توسط اسکاولو[2] و تاونز[3] ارائه شد. در سال ۱۹۶۰ یعنی کمتر از دو سال سال دیگر، میلمن[4] موفق به ساخت لیزر پالسی یاقوت شد. در سال ۱۹۶۲ پروفسورعلی جوان اولین لیزر گازی را به جهانیان معرفی نمود و بعدها نوع سوم وچهارم لیزرها، که لیزرهای مایع و نیمه رسانا بودند اختراع شدند. نوری که توسط لیزر گسیل می گردد در یک سو و بسیار پر انرژی و درخشنده است که قدرت نفوذ بالایی نیز دارد به‌طوری‌که در الماس فرو می‌رود. لیزر معمولاً در طول موج‌های مادون قرمز نزدیک، مرئی و ماورای بنفش طیف الکترومغناطیس می‌باشد. تنها چیزی که نور لیزر را از نورهای معمولی متمایز می‌سازد هماهنگی ایجاد شده در نور لیزر می‌باشد که در مباحث زیر، این مطالب بررسی شده است. این هماهنگی ویژگی‌های خاص و کاربردهای مختلف آن‌را در زمینه‌های بسیاری توجیه می‌کند. در شکل (۲-۱) تصویری از نور معمولی و لیزر نمایش داده شده است.

لیزر اصولا به منبع نور همدوس و تکرنگ نیز گفته می‌شود. بنابراین پی بردن به چگونگی عمل لیزر و ویژگی‌های تابش لیزرها نیاز به آگاهی بیشتر در مورد ماهیت نور است. یونانی‌ها اولین کسانی بودند که کوشیدند طبیعت نور و چگونگی دیدن را توضیح دهند. بعد از آن، علوم تجربی دو نظریه‌ی مترادف را به ارمغان آورد. یکی نظریه‌ی ذره‌ای نیوتن بود و نور را متشکل از باریکه‌ای از ذرات می‌دانست

[1] Laser
[2] Schawlow
[3] Townes
[4] Mailman

که تابع قوانین حرکت می‌باشد و دیگری نظریه‌ی موجی هوک و هویگنس که طبیعت موجی را برای نور پیشنهاد کردند.



شکل (۲-۱) تصویری از نور معمولی و لیزر

هر نظریه‌ای که راجع به نور پذیرفته شود باید قادر باشد پدیده‌هایی مانند: انعکاس، شکست، پراش و تداخل نور را توضیح دهد. واژه‌ی پراش به توانایی خمش به دور گوشه‌ها[1] تا حد معینی اطلاق می‌شود، به‌طوری‌که حتی وقتی یک چشمه نقطه‌ای نور به کار برده شود، سایه لبه‌های یک جسم کاملا تیز نیست. اگر نور به خط مستقیم سیر می‌کرد لازم بود سایه‌ها کاملا تیز باشند، حرکت غیر مستقیم نور در این حالت نشان داده می‌شود. پدیده تداخل حالتی است که نور از دو یا چند چشمه همدوس ترکیب شوند و نواحی تاریک و روشن متناوبی را تشکیل دهند، که این نواحی را فریز[2] می‌نامند. تداخل نور اولین بار توسط یانگ در سال ۱۸۰۱ ارائه شد که فقط با در نظر گرفتن نظریه موجی نور قابل توضیح است.

[1] Bend round corner
[2] Fringes

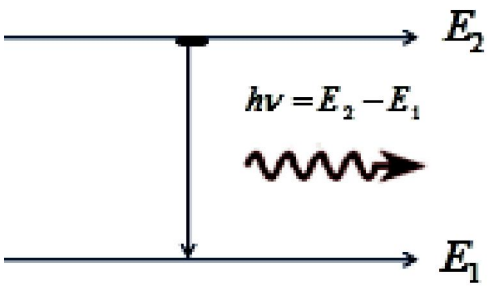
۲-۲- فرایندهای بنیادی لیزر

اولین شرط ایجاد لیزر، داشتن ماده یا محیطی است که بتواند انرژی را در خود ذخیره کند. نمونه-هایی از این مواد عبارتند از: بلورهایی مثل یاقوت، ایتریوم، آلومینیوم گارنت، یا گازهایی مثل CO_2 و He - Ne و ... و مایعاتی مانند رنگ‌های رودآمین – G۶ می‌باشد. محیط مادی به عنوان یک تضعیف کننده‌ی نور عمل می‌کند و نور هنگام عبور از محیط تضعیف می‌شود. اگر بخواهیم نور را از یک محیط عبور دهیم و تقویت شود باید فرایندهای اندرکنش امواج الکترومغناطیسی با ماده (اتم ها و مولکول‌ها) را شناسایی کنیم. فرایندها شامل: ۱- فرایند گسیل خودبخود[۱] ۲- فرایند گسیل القایی[۲] ۳- فرایند جذب[۳]

۲-۲-۱- فرایند گسیل خودبخود:

اتم‌ها در حالت عادی مایل هستند به کمینه‌ی انرژی برسند. اگر اتم به‌وسیله‌ی پمپاژ به تراز بالایی سیستم تحریک شود با کوچک‌ترین اختلال به تراز پایین بر می‌گردد که این اختلال بر اثر افت و خیز خلا ایجاد می‌شود. با توجه به رابطه‌ی $E_n = \left(n+\frac{1}{2}\right)\hbar\omega$، حداقل انرژی در حالت پایه به‌طوری‌که هیچ نوری وارد نشود برابر $\frac{1}{2}\hbar\omega$ می‌باشد. این انرژی پایه همواره در محیط وجود دارد و با برگشت به حالت پایه، تبدیل به تابش یک فوتون با فرکانس ν خواهد شد. طبق شکل (۲-۲)، اتم تحریک شده به تراز بالایی بر اثر فرایند گسیل خودبخود به تراز پایین فرود می‌آید. طبق قانون بقای انرژی، انرژی فوتون تولید شده باید با انرژی که اتم از دست می‌دهد برابر باشد.

[1] Spontaneous Emission
[2] Stimulated Emission
[3] Absorption Emission



شکل (۲-۲) فرایند گسیل خودبخود به وسیله‌ی اتم و تولید فوتون

مدت زمانی که طول می‌کشد تا این‌که اتم از تراز دوم به تراز اول فرو افت داشته باشد را آهنگ گذار یک اتم گویند. فرض کنید جمعیت تراز دوم N_2 باشد، در حالت گسیل خودبخود، آهنگ فرو افت اتم برابر است با:

$$\frac{dN_2}{dt} = -A_{21}N_2 \qquad (۱-۲-۲)$$

در رابطه‌ی بالا، علامت منفی نشان دهنده‌ی کاهش تعداد اتم‌ها در تراز دوم بر اثر فرایند گسیل خودبخود می‌باشد. فرایند گسیل خودبخود 10^{-7} ثانیه طول می‌کشد. A_{21} را آهنگ گذار توسط فرایند گسیل خودبخود یا ضریب اینشتین برای یک اتم گویند و مقدار آن به نوع گذار و خصوصیات اتم بستگی دارد. ضریب اینشتین از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید [۲۰]:

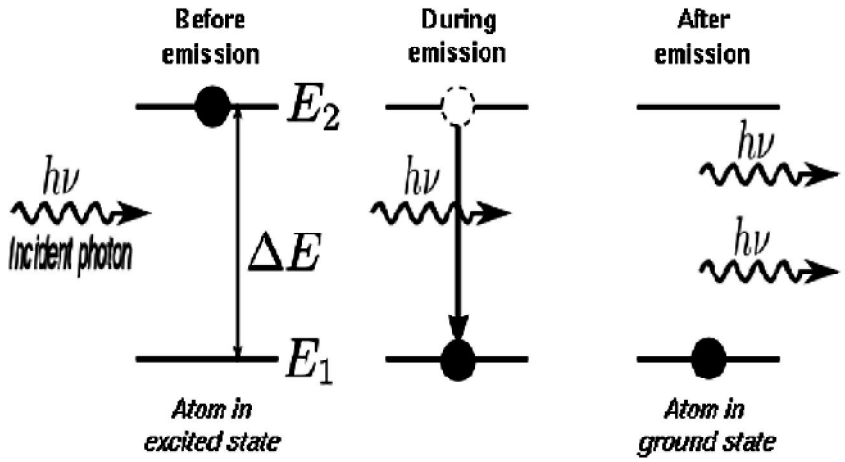
$$A_{21} = \frac{1}{t_{21}} \qquad (۲-۲-۲)$$

t_{21} طول عمر گسیل خودبخود می‌باشد و داری بعد عکس زمان می‌باشد.

مشخصات گسیل خودبخود: ۱- جهت مند نیستند، انرژی آن‌ها در همه‌ی راستاها تقسیم می‌شود. ۲- تکفام نیستند، هیچ رابطه‌ی فرکانسی با هم ندارند. ۳- همدوس یا هم‌فاز نیستند.

۲-۲-۲- فرایند گسیل القایی:

عمل لیزرها به گسیل القایی بستگی دارد که بوسیله ضریب اینشتین B_{21} مشخص می شود. مجموعه‌ای از اتم‌ها یا مولکول‌ها با ترازهای انرژی (۱) و (۲) را در نظر می‌گیریم که تحت تابش نوری با فرکانس ν_{12} قرار گرفته‌اند. در این فرایند گذار اتم از تراز دوم به تراز اول رخ می‌دهد با توجه به این‌که فرکانس گذار باید با فرکانس اتم فرودی برابر باشد در غیر این‌صورت تابش گذار رخ نخواهد داد. هم‌چنین به این‌که، کدام تراز با چه فرکانسی تحریک شود بستگی ندارد بلکه فرکانس‌ها باید، هم‌جهت و هم-فرکانس باشند و هم‌دیگر را تقویت کنند. شکل (۲-۳) فرایند گسیل القایی در حالت قبل و بعد از گذار نشان می‌دهد.

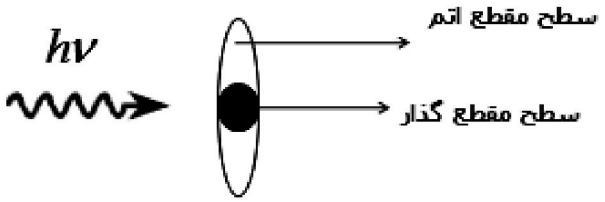


شکل (۲-۳) طرحی از فرایند گسیل القایی

مشخصات فرایند گسیل القایی: ۱- جهت‌مند ۲- تکفام یا هم‌فرکانس ۳- همدوس.

تفاوت فرایند گسیل خودبخود و گسیل القایی: در مورد گسیل خودبخود رابطه‌ی فازی معینی بین موج گسیل شده از یک اتم و موجی که از اتم دیگر گسیل می‌شود وجود ندارد و امواج می‌توانند به هر طرف گسیل یابند. اما در گسیل القایی، چون این فرایند با اعمال موج الکترومغناطیسی فرودی صورت می‌گیرد. گسیل هر اتم به‌صورت هم‌فاز به موج فرودی افزوده می‌شود. علاوه بر این، موج فرودی جهت موج گسیل شده را در فرایند گسیل القایی تعیین می‌کند. تابش‌های القایی همدوس هستند، یعنی همه‌ی امواج سازنده‌ی چنین تابش‌هایی هم‌فاز هستند. شرایط را می‌توان با ردیف سربازهایی که همه‌ی آن ها با هم قدم‌ها را بر می‌دارند مقایسه نمود. این فرایند با گسیل خودبخود دارای فرق اساسی است که در آن اتم‌ها کاملا به‌صورت اتفاقی گسیل می‌کنند. به‌طوری‌که رابطه‌ی خاص فازی بین امواج مرتبط نمی‌باشد. این گونه تابش‌ها را غیر همدوس می‌نامیم و می‌توان با حرکت و جابجایی اتفاقی مردم شهر مقایسه نمود.

آهنگ گذار: برای همه اتم‌ها سطح مقطع اتم و سطح مقطع گذار تعریف می‌شود. در صورتی‌که فوتون به سطح مقطع گذار برخورد کند گذار رخ می‌دهد. سطح مقطع گذار σ_{21} همیشه از سطح مقطع اتم کوچک تر است. در شکل (۲-۴) سطح مقطع اتم و سطح مقطع گذار نمایش داده شده است.



شکل (۲-۴) نمایش سطح مقطع اتم و سطح مقطع گذار

B_{21} احتمال این‌که یک اتم توسط شار فوتونی F به سطح مقطع گذار برخورد کند برابر است با: