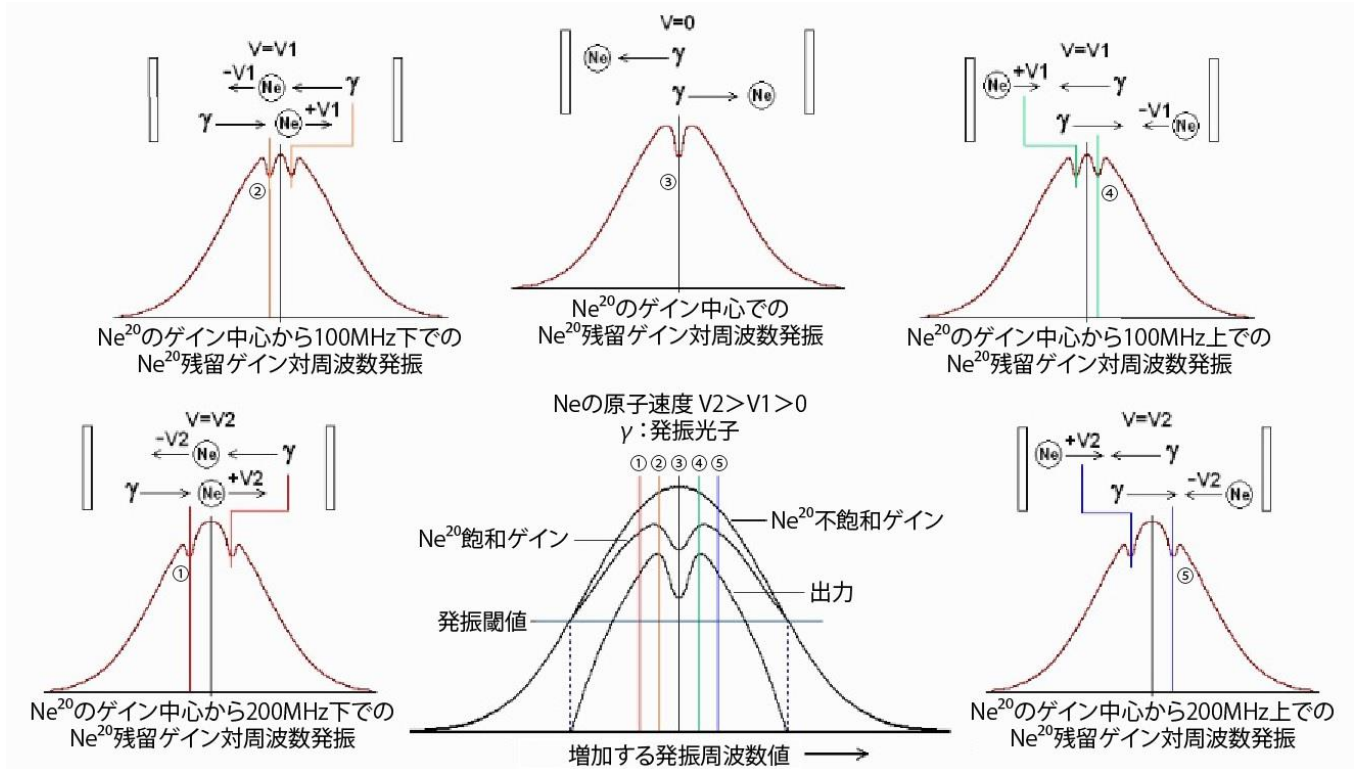


② ネオンの不均質な広がりモードスイープ

ネオンゲインカーブの形状は今ではよく知られていますが、その本当の意味は何なのでしょう？ 若干の魔法のようなプロセスの結果であるというネオンゲインカーブの形状についての一般的な意味合いは、最初の段階としては素晴らしいものですが、それがどのように波長の影響を受けるのかということや、ラムディップ(ラムくぼみ)などの事象を説明することを理解しようとするの助けにはなりません。



条件: 同素体として純粋なガス (Ne²⁰)、短い半球状ファブリーペローキャビティ、単一縦モード

HeNeレーザーでのラムディップくぼみのいろいろ

ゲインカーブで本当に描写されていることは、均一に広がる「ネオンの自然幅」と呼ばれるものから得られたカーブの組み合わせであり、かつ、光周波数でドップラーシフトの分布を意味する、励起したネオン原子の原子速度の分布でもあります。

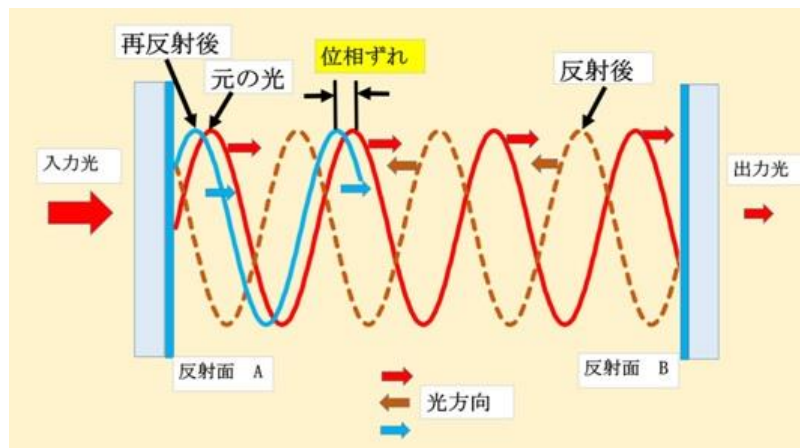
(関連する速度で受容できる) 特殊相対性理論を無視すれば、光周波数でのドップラーシフトは、光速で除して光周波数を乗じた励起原子の相対的な速度と等しくなります。つまり:

$$\Delta f = -f_0 * \frac{v_a}{c}$$

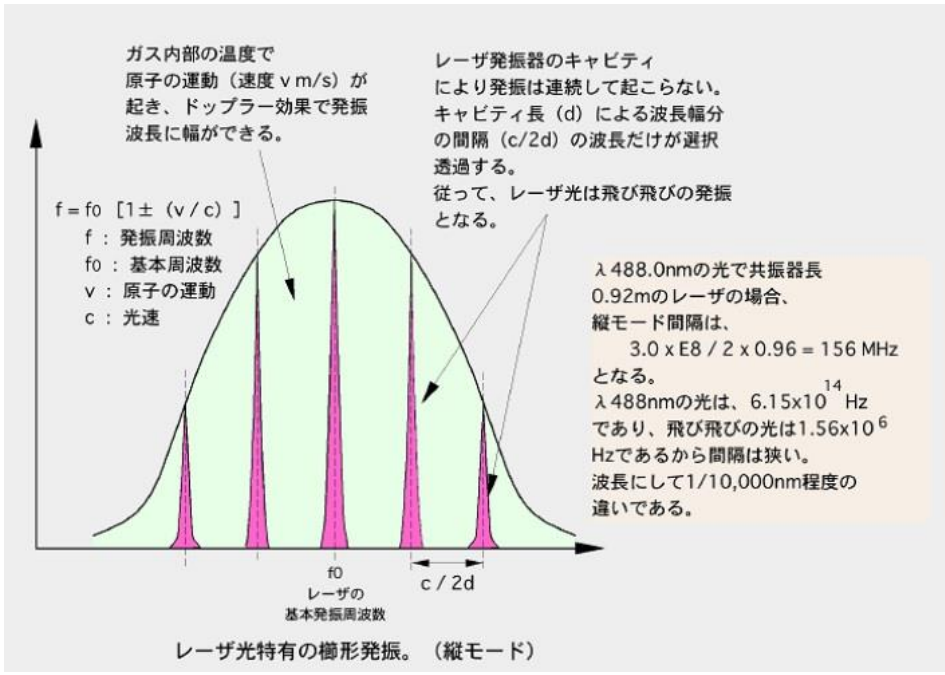
ここでは:

- Δf は光周波数遷移です。
- f_0 は元々の光周波数です。
- v_a はレーザーチューブの軸に沿って進む光子に比例する励起したエネルギー状態中の原子の速度です。
- c は光速です。

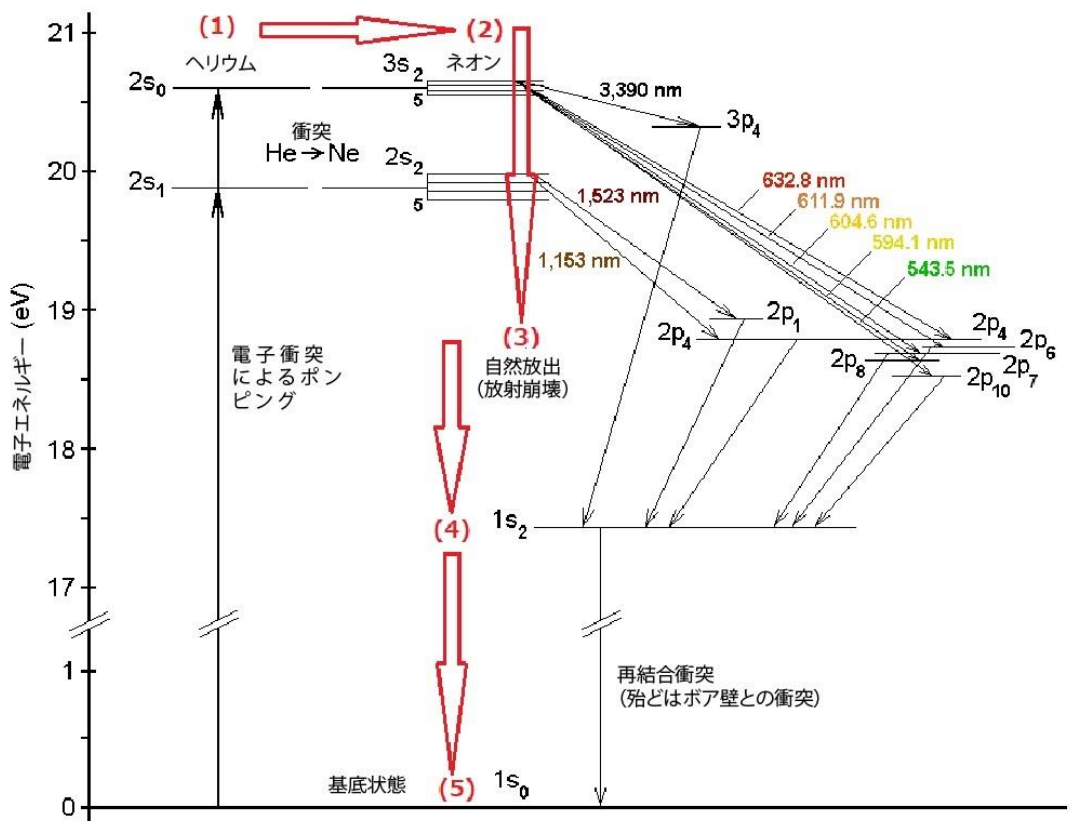
(16) 絶対零度超のいかなる温度でも、すべての原子は動いており、速度の確率分布(スピードと方向)を持ち、それらすべてがドップラー拡がりに影響します。ファブリーペロー(線状の)キャビティの場合、両方向に進んでいる光子は、励起された原子の相対的な速度を「経験します」。誘導放出が起こるのは、ドップラーシフトされた光子のエネルギーが、励起原子の起こり得る発振遷移と一致するときだけでしょう。ドップラー拡がりの幅は光周波数に直接的に比例しますが、温度と圧力を含む他の要因にも影響されます、なぜならそれらが原子速度の分布に影響するからです。従って、ドップラー拡がりカーブの形状は誘導放出で利用可能なすべての原子の動きの集合体の結果となります。そして不均一に広げられたネオンゲインカーブの幅は、ネオンの均一な線幅プラス不均一なドップラー拡がりとなります。それらは二乗和平方根を用いる独立したノイズ源のように加えられるため、均一線幅によるネオンゲイン幅の増加は非常に小さいです(3,391nm でも 5%程度)。そのため、均一部分を無視しても、変化量は 1/5 程度です。



ファブリーペロー共振器



エンベロープ内の縦モードの概念図



HeNe励起と発振過程

Copyright © Sam's Laser FAQ

(24) 632.8nm という通常の赤色波長の不均一にドップラー拡張されたゲイン幅全体である 1.6GHz の FWHM(半値幅)値を仮定すると、3,391nm の中赤外の波長では、ゲイン幅全体はほんの 315MHz に過ぎなくなります。そして 543.5nm の緑色波長では、ゲイン幅全体は約 1.86GHz となります。キャビティモード間の光周波数差($c / 2L$) (モード間隔)は、キャビティ長と光速にのみ依存します。そのため、一定のキャビティ長で発振可能なモード数は、波長が長くなるほどゲイン幅が狭くなるため減少します。

(28) 留意すべきは、発振モード自身は非常に狭いバンド幅を持っており、5kHz ほどに狭いか、レーザーがシングルモードで稼働する際はさらに狭くなるという点です。その点に関して、物理的振動、レーザー電源からのノイズおよび他の外部効果は制限要因であり、1Hz 未満という HeNe レーザーの理論上の最小バンド幅とはなりません (ショーロウ - タウンズ線幅)! 私がもともとと思っていたのは、商用の HeNe レーザーのバンド幅について見受けられる数値は率直ではあるが、(現実的には)ほぼ不可能だろうということです。レーザーメーカーで私が気付いている唯一の仕様は、科学パンフレット用の研究所由来のものです。最良の値はモデル 220 超安定化 HeNe レーザーのもので、1秒間に亘って 5 kHz を記録しました。しかし、バーコードスキャナーに見られるタイプの HeNe レーザーチューブの数値は、それを振動を最小にするように設置し、ノイズにしっかりとフィルターを施した HeNe レーザー電源で稼働すれば、それほど大きくならないでしょう。



バーコードスキャナー用チューブと電源基板の一例

315MHz 幅の 3,391nm でのずっと小さいゲイン幅では、632.8nm の場合と比較して発振している縦モードの数はより少ないと人は思うでしょう。あるいは同様に、315MHz の FWHM(半値幅)の範囲内で同じ数のモードを立てるには、レーザーチューブをずっと長くする必要があると思うでしょう。ところが、3,391nm での非常に高いゲイン故に、発振閾値はより低くなり、そのためネオンゲインカーブの実効ゲイン幅はずっと広がります。私はそれがどの程度かはわかりませんが、632.8nm 励起での 40 倍のゲインが可能となり、それは非常に明白となり得ます。632.8nm よりも多くのモードが存在し得ます。

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
出力波長	HeNe レーザー名	認識された ビーム色	レーザー遷移	典型的ゲイン (%/m)	最大出力 (mW) 直線(ランダム)
543.5 nm	グリーン	緑	3s2->2p10	0.52 0.59	2 (5)
594.1 nm	イエロー	オレンジ-黄	3s2->2p8	0.5 0.67	7 (10)
604.6 nm		オレンジ	3s2->2p7	0.6 1.0	3
611.9 nm	オレンジ	赤-オレンジ	3s2->2p6	1.7 2.0	7
629.4 nm		オレンジ-赤	3s2->2p5	1.9 2.0	
632.8 nm	レッド	" "	3s2->2p4	10.0 10.0	75 (200)
635.2 nm		" "	3s2->2p3	1.0 1.25	
640.1 nm		赤	3s2->2p2	4.3 2.0	2
730.5 nm		近赤外近辺	3s2->2p1	1.2 1.25	0.3
886.5 nm		" "	2s2->2p10	1.2 1.25	0.3
1,029.8 nm	近赤外	不可視	2s2->2p8	???	
1,062.3 nm	" "	" "	2s2->2p7	???	
1,079.8 nm	" "	" "	2s3->2p7	???	
1,084.4 nm	" "	" "	2s2->2p6	???	
1,140.9 nm	" "	" "	2s2->2p5	???	
1,152.3 nm	" "	" "	2s2->2p4	???	1.5
1,161.4 nm	" "	" "	2s3->2p5	???	
1,176.7 nm	" "	" "	2s2->2p2	???	
1,198.5 nm	" "	" "	2s3->2p2	???	
1,395.0 nm	" "	" "	2s2->2p?	???	0.5
1,523.1 nm	" "	" "	2s2->2p1	???	1.0
3,391.3 nm	中赤外	" "	3s2->3p4	??? 440.0	24

HeNe レーザーで発振可能な波長と出力

波長が長いために、3,391nm のレーザーチューブのモードスイープは 632.8nm のモードと比べて5倍を上回る完全なサイクルを持つでしょう。こうした同数の(3,391nm での)モードが、632.8nm レーザーの出力を攪乱したり盗んだりするモード競合に加わってきます。