

CW CO<sub>2</sub> LASER TASARIMI VE PRATİK GERÇEKLEŐTİRİLMESİ

MUSTAFA İLBAŞ

T. C.  
Yükseköğretim Kurulu  
Dokümantasyon Merkezi

Erciyes Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü'ne

Makina Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi

Olarak Sunulmuştur

Ocak - 1991

Erciyes Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makina Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

16/1/1991

Başkan : Doç. Dr. Bekir Sami YILBAŞ *Bekir Sami Yilbaş*  
Uye : Yrd. Doç. Dr. Necdet Altunbaş *Necdet Altunbaş*  
Uye : Yrd. Doç. Dr. Ali Koca *Ali Koca*

ONAY :

Yukarıdaki imzaların, adı geçen Öğretim Üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

17/1/1991  
Doç. Dr. Bekir Sami YILBAŞ  
Enstitü Müdürü  
*Bekir Sami Yilbaş*

## Ö Z G E Ç M İ Ş

1967 yılında Yozgat Sorgun'da doğdu. İlk , orta ve lise tahsilini sorgunda tamamladı. 1988 yılı şubatında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünden mezun oldu. 1989 yılında E.Ü.Mühendislik Fakültesi Makina Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak atandı. 1988-89 II.öğretim yarıyılında E.Ü. Fen bilimleri Enstitüsü Makina Anabilim Dalında yüksek Lisansa başladı. Halen E.Ü. Mühendislik Fakültesi Makina bölümünde Arş. Görevlisi olarak çalışmaktadır.

## T E Ő E K K Ü R

Bizlere ilim yapmayı nasip eden Cenab-ı Allah(c.c)'a hamededer. Mensubiyet Őuuruyla bağlı olduğum ve mensubu bulunmaktan Őeref duyduğum büyük Türk Milleti'ne Teknoloji sahasında hizmet etmemde bilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve kendileriyle çalışmaktan büyük mutluluk duyduğum saygıdeğer hocam Doç. Dr. B. Sami YILBAŞ'a en iğten Őukranlarımı sunarım.

Ayrıca çalışmalarına bilgi ve yardımlarıyla destek olan sayın Yrd. Doç. Dr. Kenan DANIŞMAN'a , tez yazımında yardımcı olan Arş. Görv. B. Sami TEZEKİCİ'ye , ve çalışmalarım esnasında her türlü desteği gördüğüm fakültemiz tüm öğretim elemanlarına teŐekkürlerimi sunarım.

Mustafa ILBAŐ

## Ö Z E T

Birinci bölümde günümüze kadar yapılan laser araştırmaları ve özellikle CO<sub>2</sub> laser'in tarihçesi özetlenmiş ayrıca laser'ler hakkında genel bilgi verilerek, kaynak, delme, kesme ve yüzey sertleştirme işlemleri gibi endüstriyel uygulamaları incelenmiştir.

İkinci bölümde, CO<sub>2</sub> laser'in çalışma prensibi açıklanarak optimum güç ve verimlilikte bir CW CO<sub>2</sub> laser dizaynı yapılmaya çalışılmış bunun içinde bir matematik model verilmiştir.

Üçüncü bölümde, CO<sub>2</sub> laser sistemi tasarımı izah edilerek, yapılan tasarım çalışmaları anlatılmış, CO<sub>2</sub> laser sistemi elemanları detaylı ve tasarıma uygun olarak incelenmiştir.

Dördüncü bölümde, Türkiye'deki laser çalışmaları özetlenmiştir. Bu çerçevede E.Ü. Mühendislik fakültesinde yapılan laser çalışmaları da anlatılarak fakültede üretiminin son safhasına gelinen CO<sub>2</sub> laserin mekanik ve diğer elemanları tasarlanmış ve ilgili teknik resimleride çizilmiştir.

Son bölümde ise irdeleme ve sonuçlar takdim edilmiştir.

## SUMMARY

In the first chapter, the historical background and  $\text{CO}_2$  laser research were outlined together with its application in industry such as welding, drilling, cutting and surface modifications.

Second chapter deals with the principles of CW  $\text{CO}_2$  laser and design procedure of the laser system. To achieve this a mathematical modelling of laser design was introduced.

In the third chapter, the design method of  $\text{CO}_2$  laser system was given in detail.

In the fourth chapter, laser work in Turkey and at Erciyes university were introduced. The laser developed in the department was explained. Mechanical mounts, jigs and electrodes were described in detail.

In the final chapter results and discussions of the present work was given.

## S E M B O L L E R

CW	Sürekli ışık
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
N <sub>2</sub>	Nitrojen
He	Helyum
A	1/τ , Einstein A katsayısı
C	2.997925.10 (cm/sn) , ışık hızı
h	Kırılma indisi (laser rodundaki)
λ	Işının dalga boyu (μm)
k	Extincion katsayısı (fiziki bir katsayı)
δ	Sogurma katsayısı (1/m)
a	Sogurma derinligi
I <sub>o</sub>	Maksimum çıkış güç şiddeti (merkezdeki ışık:W/m <sup>2</sup> )
x	Malzeme içindeki derinlik
W	Doyum parametresi
α	Çıkış aynasının iletim katsayısı (1-R <sub>1</sub> )
γ	İç boşluk (intra-cavity) optik elemanın geçirgenligi.
R <sub>1</sub>	Ön ayna yansıtma katsayısı
R <sub>2</sub>	Arka ayna yansıtma katsayısı
$\int_0^L g dz$	Küçük işaret kazancı
N*	Uyarılmış N molekülü
v	ışık frekansı
η	Verim
n	Enerji seviyesinde molekül sayısı (molekül/cm <sup>3</sup> )

t	Zaman (sn)
T	Sıcaklık (K)
L	Boşluk uzunluğu
m	Atom kütlesi
E	Enerji (joule)
E	İki seviye arasındaki enerji farkı (joule)
000...020	Vibrasyonel enerji seviyeleri
D	Parçalanma (foton/cm.sn)
F	Giriş gücünün uyarıya uygulanan oranı
g	Kazanç ( $\text{cm}^{-1}$ )
$g_1, g_2$	1. ve 2. enerji seviyelerinin çoğalması
h	$6,62377.10$ (j/sn) , Planck sabiti
k	$1,38026.10$ (j/k) , Boltzman sabiti
$K_{15} = K_{51}$	1 ve 5'inci seviyeler arasında transfer geçiş sabiti ( $\text{sn}^{-1}$ )
$K_{320}$	32. ve 0. seviyeler arasında transfer geçiş sabiti
P	Çıkış gücü ( $\text{Watt/cm}^2$ )
V	Boşalma voltajı (V)
$A^\circ$	Angström ; Thomson'a göre bir atomun çapı $1 A^\circ = 10^{-8}$ cm
$B_1, B_2, \dots$	Akı yoğunluğu
He-Ne	Helyum - Neon laseri
X	Basit atomlar
XY	Yogun olmayan gazlar veya basit moleküller
XYZ	Karışık yapıya sahip moleküller
$n_-$	Negatif iyon
$n_+$	Pozitif iyon



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
Özgeçmiş	III
Teşekkür	IV
Özet	V
Summary	VI
Semboller	VII
İçindekiler	IX
<b>BÖLÜM-I</b>	
1. GİRİŞ	1
1.1. TARİHÇE	1
1.2. LASER VE ENDÜSTRİYEL UYGULAMA ALANLARI	3
1.2.1. Genel bilgi	3
1.2.2. Laserin Avantaj ve Dezavantajları	6
1.2.3. Laser ile kesme	7
1.2.4. Laser ile kaynak	16
1.2.5. Laser ile delme	20
1.2.6. Laser ile yüzey sertleştirme	22
1.3. BU ÇALIŞMANIN GAYESİ	23

## BÖLÜM-II

Sayfa No

2. CO <sub>2</sub> LASER'İN ÇALIŞMA PRENSİBİ VE MATEMATİK MODELLENMESİ	25
2.1. CO <sub>2</sub> Laserin çalışma prensibi	25
2.1.1. Tersine çoğalma	27
2.2. Gaz Laserler ve CO <sub>2</sub> laser	30
2.2.1. Deşarj tüpünde iyonizasyon olayı	33
2.2.1.1. Gaz deşarjında meydana gelen parçacıklar	34
2.2.1.2. Parçacıklar arası etkileşme	35
2.2.2. Deşarj tüpünde plasma olayı	39
2.3. CO <sub>2</sub> laser'in matematik modellenmesi	42
2.3.1. Çıkış gücü optimizasyonu için tespit edilen parametreler	42
2.3.2. Matematik model	42

## BÖLÜM-III

3.CO <sub>2</sub> LASER SİSTEMİ TASARIMI	51
3.1. Laser tasarımı	51
3.2. CO <sub>2</sub> Laser sistemi elemanları	55
3.2.1. GİRİŞ	55
3.2.2. Güç kaynağı	55
3.2.3. LASER KAFASI	56
3.2.3.1. Elektrodlar	56
3.2.3.1.1. Elektrodların imalatı	56

3.2.3.1.2. Elektrodların soğutulması	59
3.2.3.1.3. O-ring seçimi	60
3.2.3.2. Deşarj tüpleri	61
3.2.3.3. Optik düzenlemeler	62
3.2.3.3.1. Rezonatör ve Aynalar	62

#### BÖLÜM-IV

4. TÜRKİYE'DE LASER ÇALIŞMALARI	69
4.1. Türkiye'de Laser çalışmaları	69
4.1.1. "ANAEM"de yapılan çalışmaları	69
4.2. Diğer çalışmalar	72
4.3. E.Ü. Müh.Fak.'deki Laser çalışmaları	72
4.4. YAPILAN LASERİN TEKNİK RESİMLERİ	75

#### BÖLÜM-V

5. İRDELEME VE SONUÇLAR	87
5.1. İRDELEME	87
5.2. SONUÇLAR	92
KAYNAKLAR	93

## B Ö L Ü M - 1

### 1. GİRİŞ

#### 1.1. TARİHÇE

1958'de Schwlow ve Townes "Optik Maser" yani "Laser" prensibini ortaya attılar [1]. Bu teoride hiperfrekans kavitelerinin yerini Fabry-Perot'un optik enterferometreleri alıyordu. İlk laser, 1960 yılında kalifornia'da Hugnes Air Craft Company den T.H. Maiman ve Javan tarafından, optik pompalama ile (deşarj tüpü) yardımıyla silindirik yakut kristalinden elde edildi [2].

Maiman'ın buluşu bir rastlantı değildi. Maser malzemesi olarak pembe yakut üzerinde daha önceden uzun çalışmalar yapmıştı [3]. Maiman uyarılan krom iyonlarının birbirine yakın iki enerji seviyesi arasındaki geçişte bir ışımada olmadığını bu nedenle bu düzeyde bir enerji birikmesi olacağını düşündü. Bu

enerji düzeyinden taban enerji düzeyine düşen etkileşmiş iyonların 6940 Angstrom dalga boyunda bir ışımaya yaptıklarını göstererek ilk katı laseri bulmuş oldu.

1960 yılının sonuna doğru Javan-Bennet ve Herrot tarafından Helyum-Neon gaz laseri Sorokin ve Stevenson yarı iletken laseri bularak laser teknolojisinin büyük bir hızla gelişmesini sağladı.

1963'den 1965'e kadar geçen zaman içerisinde iyonik ve moleküler bilim alanında önemli gelişmeler sağlandı. Optik ışımaların elde edildiği spektral bölge hem kısa dalga boylarında (0.27  $\mu\text{m}$ ) ve hemde uzundalga boylarında (120  $\mu\text{m}$ ) genişletildi [4]. 10  $\mu\text{m}$ 'lik bölge içerisinde  $\text{CO}_2$  molekülünün iki vibrasyonel-rotasyonel bandınının bir kaç çizgisi içindeki ışımaya 1964 yılında keşfedildi [5].

1964 yılında Patel ilk defa yaklaşık 10  $\mu\text{m}$  dalga boyunda sürekli ışımaya yapan CW  $\text{CO}_2$  laser olayını gözledi ve yayınladı. Bu özel laser pek dikkat çekmemişti. Patel daha sonra CW (=1mW) ve darbeleri  $\text{CO}_2$  çıkış güç spektrumu ile ilgili ve aynı zamanda daha önce yayınlanan sonuçların yorumunu ihtiva eden bir makale daha yayınladı. Aynı zamanlarda Patel [6] hızlı akımlı  $\text{CO}_2$ - $\text{N}_2$ -He gaz karışımı kullanarak  $\text{CO}_2$  laserden 100 Watt'ı aşan oldukça etkili CW çıkış gücü elde etti. Daha sonraları 11 kW çıkış gücünü aşan CW laser ve multijoule Q-anahtarlamalı laser darbesi, bir metre boşalma uzunluğuna sahip  $\text{CO}_2$  laserden elde edilmiştir [7].

Günümüzde endüstride ve üniversite laboratuvarlarında; yüksek verim, yüksek kazanç ve büyük güç veren sistemlerin araştırılması,  $CO_2$  moleküler ömürlerin ölçülmesi, çizgi aralığı, çizgi şekli, rotasyonel seviye değişiklikleri, kazanç karakteristikleri,  $CO_2$  laser rezonatör sönümü, radar sistemleri, uzay haberleşmesi, kesme, delme, kaynak ve sıcak plazma üretme gibi endüstriyel alanlarda  $CO_2$  laser ile ilgili yoğun araştırma ve geliştirme faaliyetleri devam etmektedir.

## 1.2. LASER VE ENDÜSTRİYEL UYGULAMA ALANLARI

### 1.2.1 Genel Bilgi

Laser, Uyarılmış ışın yayımı ile ışığın şiddetlendirilmesi anlamına gelen "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" sözcüklerinin baş harfleri alınarak meydana getirilmiştir. Laser endüstride takım tezgahı olarak geniş uygulama alanları bulmuştur. Laserlerin ilk tatbikatları sırasında , laser çıkış gücünün işleme kalitesini kontrol eden tek parametre olduğu kabul edilmiştir.[8]. Yeni araştırmalar ise işleme kalitesini kontrol eden parametrelerin; darbe uzunluğu , çıkış enerjisi , malzeme kalınlığı , delme ortamı ve basınç olduğunu göstermiştir [9],[10]. laser 'le yapılan işlemler diğer takım tezgahlarından farklıdır. Çıkış enerjileri 5-75 joule arasında değişen laser ışınlarının bir kondenser mercekle bir malzeme yüzeyine odaklandığında , odak düzleminde büyük bir güç yoğunluğu meydana gelmektedir. Bu güç yoğunluğundan dolayı malzeme sırasıyla ısınmakta, ergimekte ve buharlaşmaktadır. Böylece malzemenin ısı olarak işlenmesi

mümkün olmaktadır. Bu olayda malzemenin fizik ve termik özellikleri önemli rol oynamaktadır [11].

Genel olarak laserleri üç grupta toplamak mümkündür.

Bunlar;

A. Yapı olarak (Laser ışığı üreten ortama göre)

1. Katı Laserler
2. Sıvı Laserler
3. Gaz Laserler

B. Çıkış güçlerine göre

1. Düşük güçlü laserler
2. Orta güçlü laserler
3. Yüksek güçlü laserler

C. Çalışma esasına göre

1. Darbe esaslı laserler
2. Devamlı ışınım esaslı (sürekli) laserler

En çok kullanılanları katı ve gaz laserlerdir. Sıvı laserlerin ömrü kısadır, yani ışınım süresi azdır. Dolayısıyla yaygın kullanılmazlar.

Orta güçlü laserlerde laser gücü watt mertebesindedir. İşaretleme, kodlama ve yazma işlemlerinde kullanılabilirler. Sanayide ve tıpta kullanılabilirler. Tıbbi alanda kullanılanların dalga boyları farklıdır.

Yüksek güçlü laserler daha çok katı ve gaz laserler türündedir.  $CO_2$ , YaG Nd, Ruby (yakut) laseridir ve güç şiddetleri ise  $10^{10} - 10^{15} W/m^2$  mertebesindedir.

Darbeli laserler ; bir darbe süresinde ışınım yaparlar. yani belli bir süre boyunca ışınım yaparlar (daha çok katı laserlerde görülür) Bunlar 1 Hz - 1 kHz arasında darbe frekansına sahiptir.

Devamlı laserler ise gaz laserlerdir. Katılaserlerin mekanik durumlarından dolayı sürekli ışınım yapması oldukça zordur. Gaz laserler teorik olarak katı laserlerle aynı çalışma prensibine sahiptir. Yalnız burada YAG veya Ruby kristali yerine bir gaz ortam bulunur. Bunun için çoğunlukla Helyum-Neon gazlarının karışımı, Argon veya Karbondioksit kullanılır. Karbondioksit laserde karbondioksit gazının yanında Helyum ve Nitrojen ( $N_2$ ) karışımında kullanılır.

Gaz laserlerde ilk uyarma, gaza iyonlaştırıcı bir elektrik alanı uygulanarak bir elektrik boşalmasının sağlanmasıyla yapılabilir. İyonizasyon yoluyla Helyum, iyonize olmuş Neon'un enerji seviyesine çok yakın bir seviyeye geçirilir ve gazların atomları arasında enerji transferi meydana gelir. Böylece Neon'un elektronları enerji seviyelerini değiştirebilirler. Gaz laserler de elektrik boşalması sonucu bir miktar atom iyonlaşır. Boşalma akımını, iyonlaşma sonucu ortaya çıkan elektronlar ve iyonlar taşır. Bu elektronlar yol boyunca gaz atomlarına çarpar ve onları yüksek enerji seviyelerine çıkarabilirler. Bu çarpışmalar duran dalgayı uygun genlikte



tutmak için gereken uyarılmış atom sayısının meydana gelmesini temin edemezler. Böylece her defasında yüksek enerji seviyesine çıkarılarak uyarılmış bir atom normal olarak bir foton saçarak taban seviyeye döner.

### 1.2.2. Laserin Avantaj ve Dezavantajları

Lazerin diğer takım tezgahlarına olan üstünlüklerini aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür [12].

1. Laser ile malzemenin işlenmesinde, işleme kalitesi malzemenin mekanik özelliklerine (sertlik, kırılgenlık gibi) bağlı değildir. En sert malzemenin dahi laserle işlenmesi mümkündür.

2. Malzeme ile takım tezgahı (laser kafası) arasında herhangi bir mekanik bağlantı bulunmamaktadır. Böylelikle ara mekanik bağlantılar sistem dışı kalmıştır.

3. Çapları bir kaç mikrometreden bir kaç milimetreye kadar değişen delikleri ve delik çapının delik derinliğine oranı 1/1 ile 1/20 arasında değişen deliklerin delinmesi ve yine çok küçük boyuttaki kaynakların yapılması mümkün olmaktadır.

4. Delme zamanı çok kısa olduğu için seri imalatta işleme hızı yüksektir.

5. Delik konumunun çok hassas bir şekilde tesbit edilmesi mümkün olmaktadır.

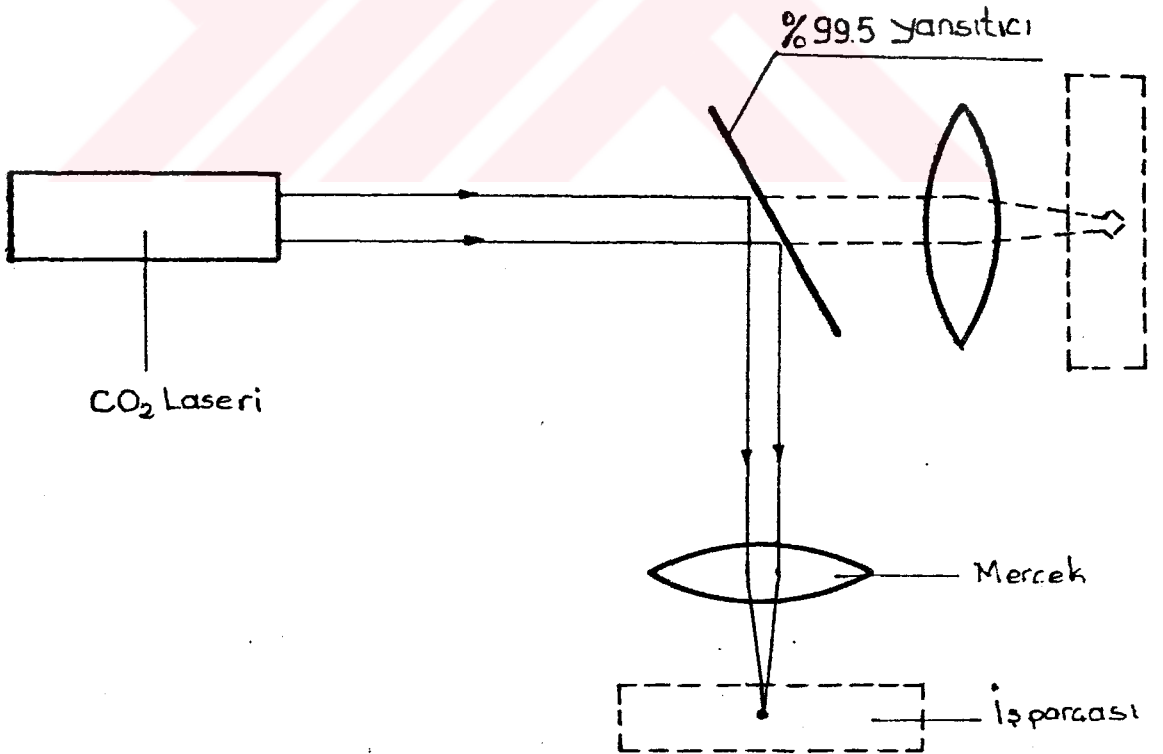
6. İşlem sırasında ısının tesir ettiği alan çok küçüktür.

Dezavantajları;

1. İmalat maliyetleri yüksektir.
2. Verimleri çok düşüktür. (% 1 ile % 6, ancak yapılan çalışmalarla  $CO_2$  laserinde % 18-20 ye ulaşmıştır.)

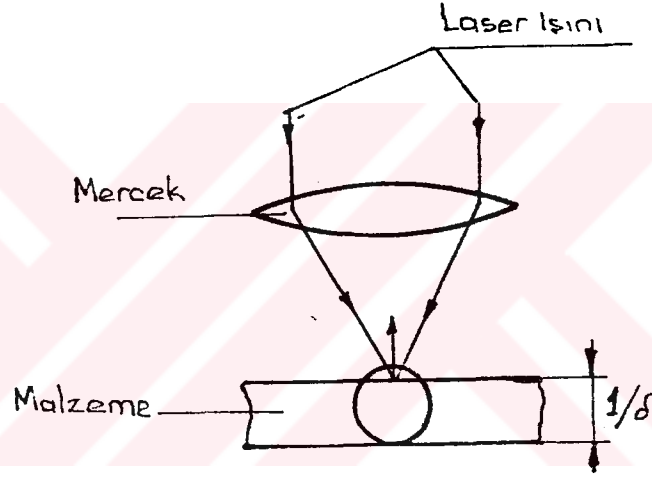
### 1.2.3 Laser ile kesme

Laser ile kesme işlemi şekil- 1.1 ' de gösterilmiştir. Kesme işleminde en çok  $CO_2$  laseri kullanılır,  $CO_2$  laseri daha öncede belirtildiği gibi  $CO_2$ -  $N_2$ - He karışımından müteşekkül ve karışım basıncı 7-10 mm.Hg degerindedir.



Şekil-1.1. Laser ile kesme düzeneği

CO<sub>2</sub> laserinde ışın dalgı boyu  $\lambda=10.6 \mu\text{m}$  dir. Bu ışın metalik yüzeylerde %40- %60 oranında yansır,işleme verimi için bu oranın küçük olması gerekir. Beyaz ve siyah malzemenin güneş ışınına yansıtma ve soğurması gibi. Absorbsiyon olayı için de bu yansıma (n: refraksiyon) değeri önemlidir. Absorbsiyon olayı, malzemenin fiziki özelliklerine bağlıdır.Burada nüfuz edebilme derinliği (soğurma derinliği) önemli bir terimdir şekil-1.2.



Şekil-1.2. Soğurma derinliği

Soğurma derinliği aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

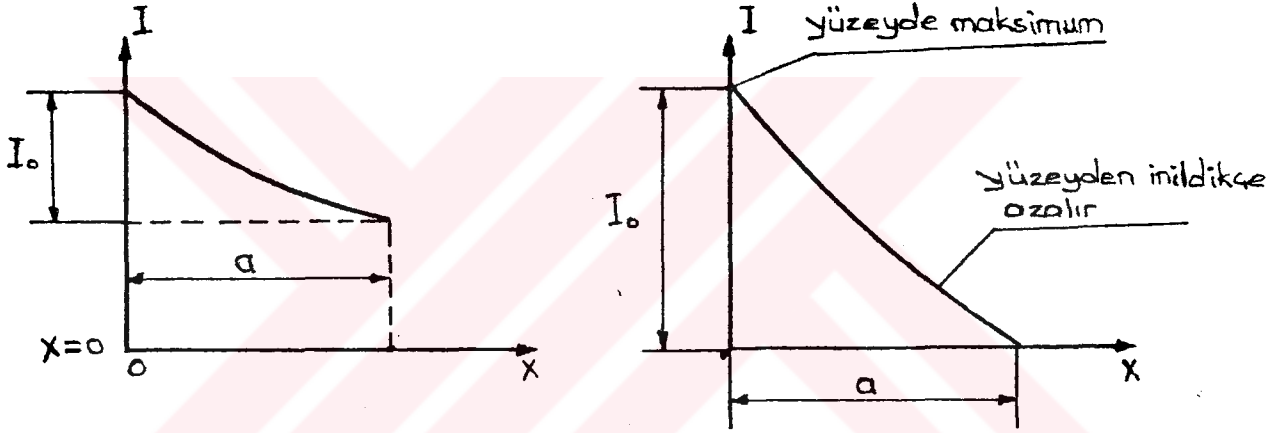
$$a = \frac{1}{\delta} = \frac{2 \pi h k}{\lambda} \quad (1.1)$$

Herhangi bir x yönünde malzeme içinde yayılan ışının yoğunluğu,

$$I = I_0 \exp(-\delta x) \quad (1.2)$$

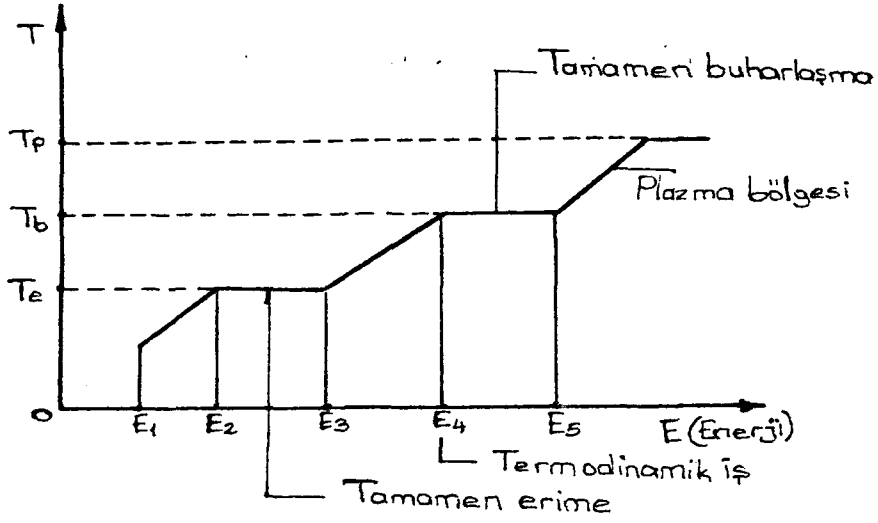
ile ifade edilir.

Sogurma işleminin malzeme üzerindeki dağılımı şekil-1.3.'de gösterilmiştir.



Şekil-1.3. Sogurma olayı

Yukarıdaki ifadede belirtilen ışınım enerjisi malzeme tarafından sogurulur ve malzemenin iç enerjisi artar. Termodinamigin birinci ve ikinci kanunlarına göre bir enerji denklemi hazırlanabilir. Böyle bir noktaya gelinirki, malzeme erime noktasına ulaşınca, erime gizli ısısı yenilir ve buharlaşma sıcaklığına kadar enerji alır ve sonrada buharlaşmayla beraber iş üretilmiş olur. (Buharın dışarı atılması) Bu olay şekil-1.4. de gösterilmiştir.



Şekil-1.4. Erime, buharlaşma ve Plazma durumu

Buharlaşma sırasında sıvının dışarıya saçılması söz konusudur. Saçılma basınç yardımıyla olur.

$$\text{Sıvının boşalması} = \text{Teknik iş} = dW = V dP$$

$$\text{Buharın boşalması} = \text{Termodinamik iş} = dW = p dV$$

Yüzeyin aniden bu olayları yaşamasıda sözkonusu olabilir. Sıvı buharlaşırken çevreden ısı aldığından malzemeyüzeyi sogur ve ani katılaşma olabilir. Ancak alttaki sıvılaştırmanın bir basıncı vardır. Buna sıvı patlaması denir. Bu olay ancak  $I_0 = 10^{13} \text{ W/m}^2$  de meydana gelebilir. Bu ise çok yüksektir. Kesme işleminde güç şiddeti  $I = 10^{10} - 10^{12} \text{ W/m}^2$  civarındadır. Bu yüzden için burada sıvı patlaması olmaz.

Laser 4 mm. ye kadar kalınlıktaki parçaların kesilmesinde daha elverişlidir. Bundan dolayı fazla kalınlıktaki parçalarda elverişli değildir [12].

$I = I_0 \exp(-\delta x)$  ifadesinde Lambert kanunu dikkate alınırsa  $\delta$  çok büyük olduğunda,  $\frac{I}{I_0}$  oranı çok çok küçülecek,  $I/I_0$  oranı "0" a yaklaşacak. Bu oranın küçülmesi gelen ışınların çok az bir kısmının yutulması demektir. Burada yararlanılacak enerji değerinin azaldığı görülür.

Yansımayı önlemek için iki metot var ;

1. Kesme ortamında yansımayı azaltma ve soğurmayı artırma için yüzey kaplama

2. Bir gaz ortamının hazırlanması

$a = \frac{1}{\delta} = \frac{2 \pi h k}{\lambda}$  ifadesinde  $\lambda$  ve  $\delta$  çok çok büyük ise  $I/I_0$  oranı küçülecektir.

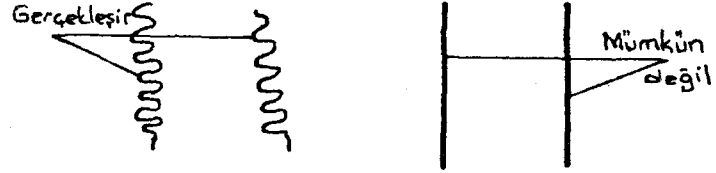
$\lambda$ 'nın küçük olması istenir. Yüzeyle absorban sürülür, ancak absorbanında yan etkileri vardır ;

1. Geri sökülmesi gerekir. Maliyeti yüksektir görünüşü kötü ve geri sökülmesi bir problemdir.

2. Kendisi bir maliyet getirir (ekstra bir maliyet)

3. Yüzeylerin düzgün kesilmesine engel olur.

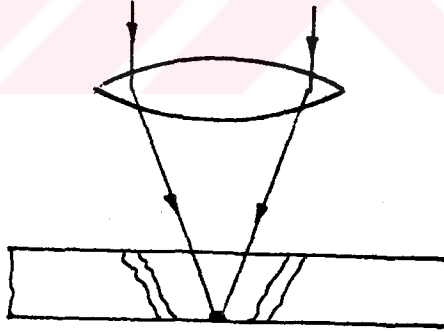
4. Kesme işlemine etki eder. (şekil-1.5)



Şekil-1.5. Absorban olayı

5. Ekonomik değildir.

Yüzeylerin düzgün kesilmesine engel olması şekil.-1.6.' da görülmektedir.

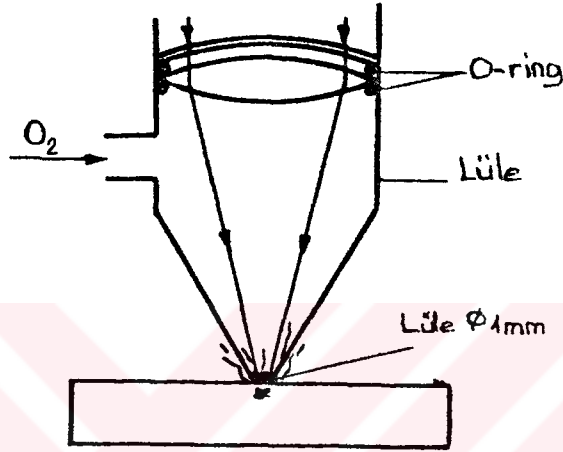


Şekil-1.6. Plazma bulutu oluşumu

Absorban erken buharlaşacağından bir plazma bulutu oluşacaktır. Bunun sonucu plazma bulutu ışınmayı etkileyecek ve yüzeyin düzensiz kesilmesine sebep olacaktır.

İkinci seçenek olarak, bir gaz ortamının hazırlanması, şu

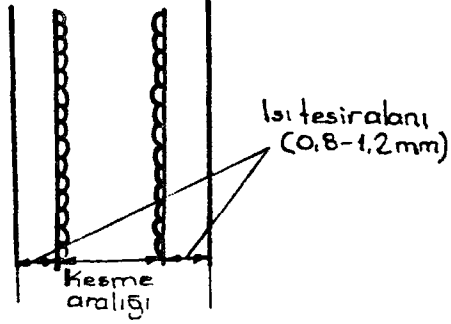
şekilde olur; Mercek o-ring ile sıkıştırılır ve bir lüle oluşturulur (şekil-1.7.)



Şekil-1.7. Laserle kesme düzeneği

Lüleye O<sub>2</sub> gönderildiğinde dolayısıyla ekzotermik reaksiyon sağlanır. Açığa çıkan enerji, malzemenin erimesini sağlar. Erime sonrası yüzeyde oksit tabakası oluşur. Bir kısım malzeme sanki yanıyor gibi dışarı fışkırır, o anda malzeme tutuşma sıcaklığına ulaşmıştır. Çıkan O<sub>2</sub> miktarı ve basınç kesme için çok önemlidir. Bu esnada malzeme buharlaşır ve kesme aralığından malzeme püskürür. Alttan tazyik gören dinamik yapı kalıcı gibi görünen ve ısı tesir alanlarının büyümesine sebep olmaktadır. Bu alan 0.8 - 1.2 mm. arasında olup şekil.-1.8 'da görüldüğü gibidir.



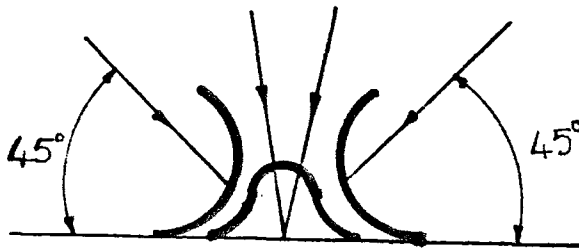


Şekil-1.8. Isı tesir alanı

Bu alanın (0.8-1.2 mm) değerine düşürülebilmesi için gaz basıncı kontrollü olmalıdır.

Ortam sıcaklığını düşürmek için  $N_2$  ve He gazları,  $45^\circ$ 'lik açıyla gönderildiğinde ekzotermik reaksiyonun durduğu görülür.

(Şekil-1.9)



Şekil-1.9. Ekzotermik reaksiyonun durdurulması

Isı yükü ifadesi aşağıdaki gibidir,

$$Q = C_p T$$

$Q$  : Isı yükü ( $W/m^2$ )

$C_p$  : Sabit basınçta özgül ısı ( $kJ/kg.k$ )

He için  $C_p$  büyüktür ve sistemi soğutur , ısıyı absorbe eder. Çabuk iyonize olduğundan Argon kullanılmaz.  $O_2$  basıncı (20 Psi - 60 Psi) arasında ise etkisi aynıdır. Eger basınç (1.5 atm.- 4 atm.) arasında ise negatif etki yapar. Kesilen parçanın ilerleme hızı arttığı zaman gaz basıncının artması söz konusudur. Bu basınç değerleri azaldığında (altında veya üstünde yeni problemler ortaya çıkar. Basınç değerlerinin üstünde  $O_2$  harcaması artar.

$O_2$  ile etkileştiğinde kötü sonuç veren bir malzemeyi kesmek istiyorsak %60 Ar -%40  $O_2$  karıştırılmalıdır. Burada Argon ekzotermik reaksiyon sıcaklığını düşürmektedir.  $O_2$  metalle reaksiyona girerek metal oksit oluşturur, %60 Argon 'dan farklı oran kullanılırsa, kesme işlemine yardımcı olan reaksiyon (ekzotermik olay) yeterli enerji olmadığından meydana gelmez ve kesme olmaz.

Plastik , tahta , bakalit ve kumaş kesme işlemlerinde  $O_2$  kullanılmaz. Çünkü bu malzemelerin tutuşma sıcaklığı düşük olduğundan bu gibi durumlarda  $O_2$  yakıcı bir gaz özelliği gösterir.

1. Lüleyi çıkarılır
2. Ağaç için asal gaz (Argon) kullanılır

Bu işlemlerde  $O_2$  'nin faydaları işe şunlardır :

1. Ekzotermik reaksiyon sıcaklığına düşürür. (soğumayı artırır)
2. Ekstra enerji açığa çıkar (ekzotermik reaksiyon)
3. Merceğin soğumasına yardımcı olur (konveksiyonla)
4. Artık malzemenin ortamdan uzaklaştırılmasını sağlar
5. Ani fıskırma ile geriye gidecek malzemenin merceği tahrip etmesi önlenir.

Ancak maliyetinin yüksek olmasında dezavantajıdır.

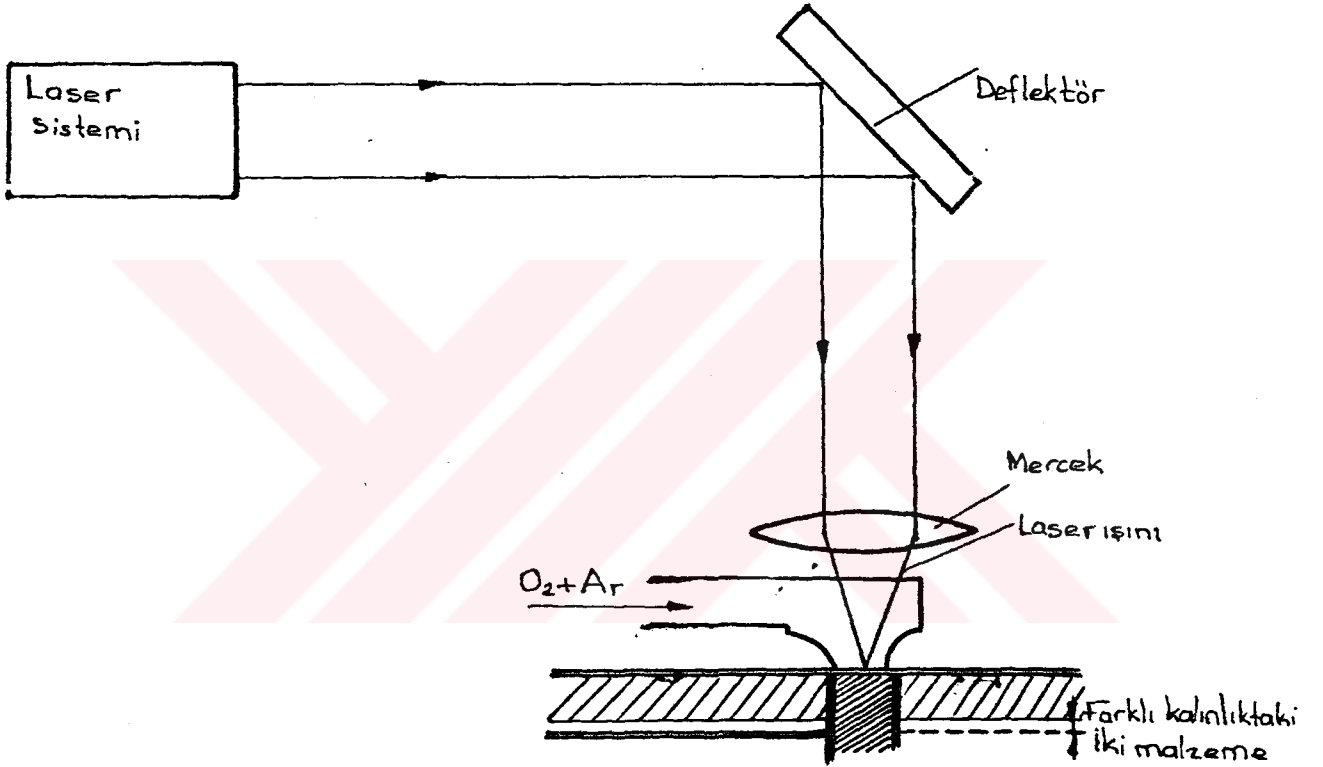
#### 1.2.4. Laser ile kaynak :

Laserle yapılan kaynak çeşitleri aşağıda verilmiştir.

1. Alın kaynağı (dikiş kaynağı)
2. Nokta kaynağı (punta kaynağı)
3. Yan yüzeylerin kaynağı (dikiş kaynağı)

Bir çok metal veya metal alaşımlarının kaynağında Laser ışını kullanılmaktadır. Laser ışını ile kaynak , bir eritme kaynağı usulüdür , Güç şiddeti , malzeme kuvvetle buharlaşmadan eriyecek şekilde ayarlanmalıdır. Kaynak için yeterli enerji çok kısa bir zaman aralığında laser sistemi tarafından verilebilir. Laser sisteminden çıkan ışık kümesinin mercekler yardımıyla odaklanarak mikron düzeyinde bir çapa tekabül eden alanlarda çok yüksek enerjinin açığa çıkarılması kaynak işleminin esasını oluşturur.

Kaynak işleminin mükemmeliyeti bir lüleye belirli oranlarda ( $O_2 + Ar$ ) karışımı göndermekle sağlanmaktadır. (Şekil-1.10.)

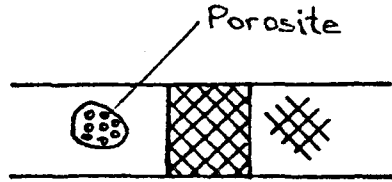


Şekil-1.10. Laserle kaynak düzeneği

Bu işlemde  $O_2$  gazının Ar gazına oranı önemli rol oynar. Eğer  $O_2$  basıncı az ise tabanda kaynak yapma durumu azalır. Fazla ise erozyon olur.  $O_2$  gazının Ar'a oranı :

$$\frac{P_{O_2}}{P_{Ar}} \approx 1,5 - 2 \quad \text{ise,}$$

kaynak dikişi iyi olmaktadır. Kaynaklı bölgeye bakıldığında 0,1 mm. mesafeye kadar malzemede POROSITE (hava boşluğu) meydana gelmektedir.(şekil-1.11)



Şekil-1.11. Kaynakta porositenin gösterimi

Bu porositeler mikron seviyesindedirler ve mikroskopta dahi zor görülürler. Porositeler; malzemenin ani olarak ısınma ve soğumasından yani entropi artışının aniden olmasından meydana gelirler, ısı iletim katsayıları küçük, absorbe katsayıları büyük malzemelerdir. Porosite artışı kaynak çatlamasını önler. Dezavantajı ise, malzemenin mekanik özelliklerini zayıflatmasıdır.

Laser sistemiyle yapılan kaynaktaki gerekli enerji aynı ölçüdeki bir malzemeyi kaynatmak için ark kaynagında kullanılan enerjinin 1/10'u kadardır. Ayrıca üretilen yüksek enerji ile yüksek ergime sıcaklıklarından dolayı diğer kaynak usulleri ile kaynatılması güç olan Titanyum , Nikel , Tungsten Molibden , Kobalt , Platin ve Vanadyum gibi yüksek dirençli metallere kaynağı kolayca yapılabilmektedir. Ayrıca Al ile çelik , Cu ile Al ' un kaynakları bilinen diğer kaynak

usullerine ile mümkün değildir. Halbuki laser ile bunları birbirleriyle kaynak yapmak mümkündür.

Laser'in diğer kaynak usullerine göre avantaj ve dezavantajlarını ise şunlardır:

1. Laserin enerji kaynağı ışıktır ve az enerji ile çok küçük alanda yüksek güç alanları elde edilir.
2. Kaynak bölgesinde bir manyetik alan oluşmadığı için manyetik alandan etkilenme söz konusu değildir.
3. Enerji , iş parçasına çok kısa bir süre içinde verildiği için tavlama , normalizasyon v.b. gibi diğer kaynak metodlarında istenmeden oluşan ısıl işlemler meydana gelmez. Soğuma süresinde diğer kaynak metodlarına göre kısadır.
4. Sistemin iş parçası ile mekanik teması yoktur. Çok kolay kumanda edilir.
5. Laser ışını mercekler yardımıyla istenilen şekilde yönlendirilir. Ayrıca cam , su v.b. gibi değişik ortamlarda dahi kaynak yapma imkanı vardır.
6. Diğer kaynak usullerine göre iş parçasında ısının tesiri altında kalan alan çok küçüktür. Böylece yüksek ısı sebebiyle meydana gelen tahribat ve deformasyon azdır.
7. Çok hızlı soğuma isteyen metallerin kaynağında laserle yapılabilmektedir.
8. Mekanik özellikleri , fiziksel özellikleri veya kütleleri farklı metallerde laserle kolaylıkla kaynak edilebilir. Kaynak bölgesinin özellikleri esas metallerin özelliklerine oldukça yakındır.

### 1.2.5. Laser ile delme :

Delme işleminde laser ışını parçaya kısa aralıklarla (darbelerle) verilerek delinecek yüzey ısıtılır ve malzemenin buharlaşması sağlanır. Dolayısıyla delme işleminde darbeli laserler kullanılır. En fazla kullanılanları Nd<sup>+3</sup>yaG ve Nd<sup>+3</sup>cam katı laserleridir.

Laserle delmede parametreler :

#### 1. Laserle ilgili faktörler (parametreler)

- a. Laser çıkış enerjisi
- b. Dalga boyu
- c. Darbe süresi
- d. Açılma açısı
- e. Mercek

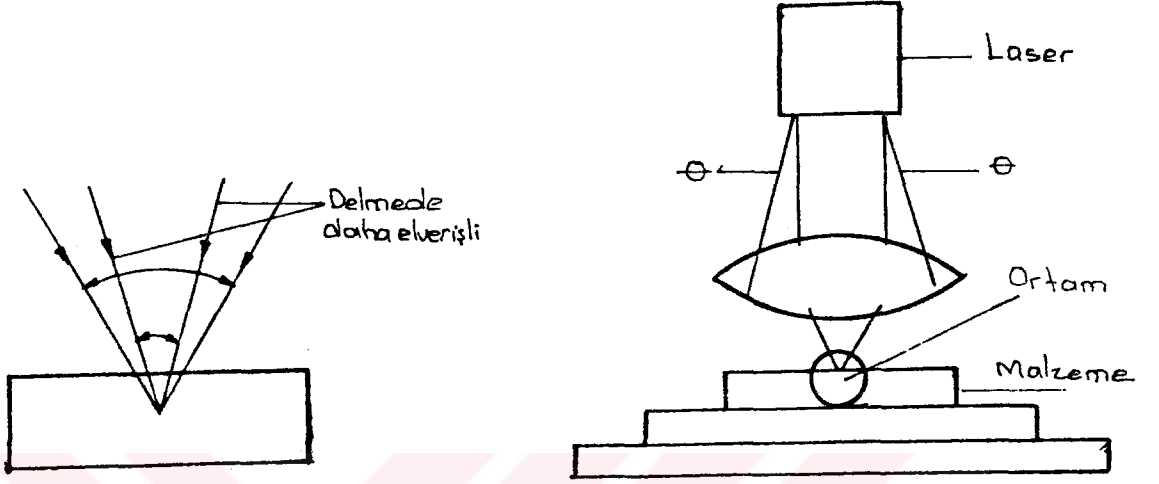
#### 2. Malzemeye ilgili faktörler

#### 3. Ortamla ilgili faktörler

olarak verilebilir.

Malzemenin mekanik özelliği önemli bir faktör değildir. (sertlik gibi) ama termofizik özelliği önemlidir (kalınlık gibi).

Delme işleminde iyi odaklama yapılması sonucu görüntü dağınıklığı (küresel abarasyon) oluşur, dolayısıyla odak pozisyonu oldukça önemlidir. (şekil-1.12)



Şekil-1.12. Laserle delme işlemindeki parametreler

Malzeme kalınlığı '0.5 mm.' den az olursa ışın malzeme üzerine büyükse malzeme içerisine gelecek şekilde odaklanarak maksimum verim sağlanmış olur.

Laser ile delme işleminin avantajları şöyle sıralanabilir:

1. Delme hızı yüksek olduğu için işlem zamanı kısadır.
2. Delik konumunun çok hassas bir şekilde tesbit edilmesi mümkündür.
3. Delme esnasında ısıdan etkilenen alan çok küçüktür.
4. Parça sökme ve takma işlemi olmamaktadır.
5. Klasik delme yöntemleri ile ulaşılamayan bölgelere kolaylıkla ulaşılabilmektedir.



Dezavantajları ise :

1. Büyük çaplı deliklerin açılmasında laser ışını kullanmak pek pratik ve ucuz bir yol değildir , sebebi ise; laser sistemlerinde her bir darbeye elde edilen enerjinin sınırlı olmasıdır.
2. İmalat maliyetleri yüksektir.
3. Verimleri çok düşüktür.

#### 1.2.6. Laser ile yüzey sertleştirme :

Yüzey sertleştirme işlemi sürtünen parçaların yüzey dirençlerini artırmak için yapılır. Laserle yapılan yüzey sertleştirme işleminde ilave bir malzemeye gerek yoktur. İşlemin oluşabilmesi için malzeme erime sıcaklığının altındaki bir sıcaklığa kadar hızlı bir şekilde ısıtılır ve daha sonra aniden soğutulur. Çelik yüzeylerin sertleştirilmesinde yüzey östenit fazında hızlı bir soğuma ile martenzit fazına getirilir. Ancak martenzit fazının oluşabilmesi için soğuma hızına bağlı olarak karbon miktarıda önemlidir.[12]

Bir çok malzemenin ısı olarak işlenebilmesi için laser güc şiddeti  $10^3$  ile  $10^7$  W/cm<sup>2</sup> arasında olmalıdır. CO<sub>2</sub> laser ışınının malzeme yüzeyindeki absorpsiyonunu artırmak için malzeme yüzeyine manganez fosfat , grafit veya siyah renkli boya sürülebilir. Yüzey sertleştirme işlemlerinde genellikle CO<sub>2</sub> laseri kullanılır.

### 1.3. BU ÇALIŞMANIN GAYESİ

Günümüzde laserler teknolojide ileri gitmiş ülkelerde takım tezgahı olarak sıkça kullanılan yepyeni bir alan oluşturmuştur. Bunun temel sebepleri ise , laser başı ile iş parçası arasında mekanik bir temasın olmaması iş parçasının mekanik özelliklerine bağlı olmaksızın işlenebilmesi , işlem hassasiyetinin çok yüksek ve hızlarının da çok büyük olmasındandır. Laser tezgahlarının ayrıca bilgisayar kontrollü olması işlem hassasiyetinin daha yüksek ve diğer tezgahlara göre daha ekonomik bir hale gelmesine sebep olmuştur.

Laserler içerisinde güç ve verimlilik açısından en önemli olanı CO<sub>2</sub> laseridir. CO<sub>2</sub> laserinde teorik verim %40 civarında olmasına rağmen gerçekte bu verim %20'ler mertebesindedir. Bu verim değeri diğer laser türlerinin verimlerinden yüksektir. Ancak gerek kullanılabilirlik ve gerekse verimin yükseltilmesi amacı ile iyi bir dizayn yapmak gerekmektedir. CO<sub>2</sub> laserin çıkış gücü , sistemin uyarılmış plasma uzunluğu , boşluk kayıpları , iyi bir soğutma ve vakum , ayna yansıtma katsayıları , doyum parametresi , gaz karışım oranları güç ve verimliliğe etki etmektedirler.

Bu çalışmada, belirtilen parametreler gözönüne alınarak optimum güç ve verimliliği sağlayacak bir CO<sub>2</sub> laser dizaynı gerçekleştirilmeye çalışılacaktır. CO<sub>2</sub> laser'in dizayn esaslarının tespit edilmesi için bir matematik model verilecektir.

Bu gaye çerçevesinde ; CO<sub>2</sub> laser'in plasma(deşarj) tüpleri, elektrodları, ayna tutucuları, bağlantı mekanizmaları ve elektrodalarda ve bağlantılarda en iyi vakumun sağlanması için sızdırmazlık elemanı olarak o-ringler de seçilerek , teorik ve pratik olarak dizayn edilmesi tasarlanmıştır.

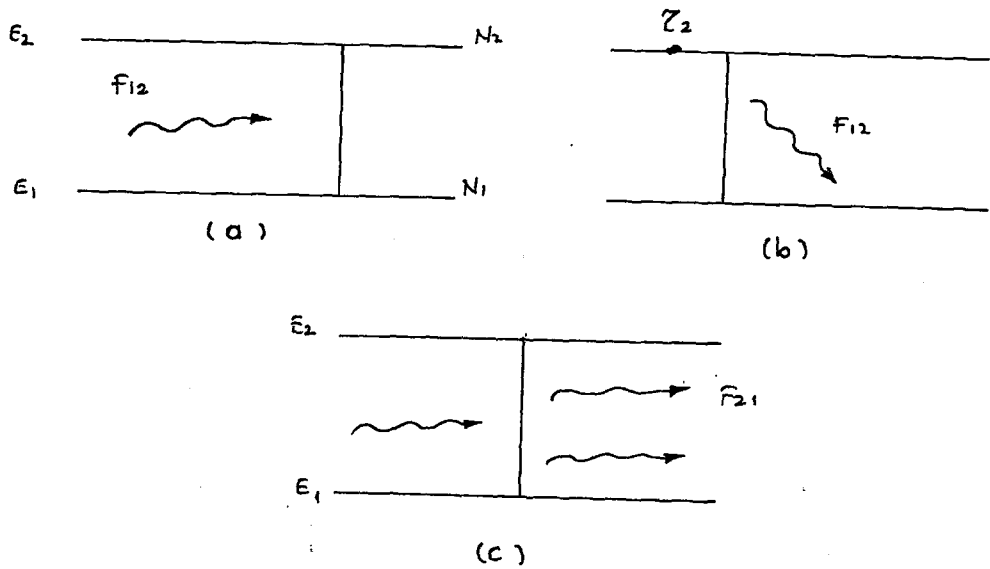


## B Ö L Ü M - 2

### 2. CW CO<sub>2</sub> LASERİN ÇALIŞMA PRENSİBİ VE MATEMATİK MODELLENMESİ

#### 2.1. CO<sub>2</sub> laserin çalışma prensibi :

Laserin çalışma prensibini izah edebilmek için Şekil-2.1.'de gösterildiği gibi iki düzeyli bir atomik sistemi inceleyerek işe başlamak gerekir ;



Şekil2.1. İki enerji düzeyli atom sistemi.

$E_1$  alt,  $E_2$  üst enerji seviye değerleridir. Alt enerji seviyesindeki bir atomun ,

$$V = f_{12} = (E_2 - E_1) / h \quad (2.1)$$

frekansında bir fotonla etkileştiği kabul edilsin. Atom  $E_1$  enerji seviyesinden  $E_2$  enerji seviyesine fotonun soğurulmasıyla çıkacaktır. Alt seviyeye inme eğilimindeki atomun bu geçişi iki yönden olur ; i) atom  $E_2$  enerji seviyesinden belirli bir  $\tau_2$  süresinden sonra kendiliğinden (spontaneous)  $E_1$  enerji seviyesine geçiş yapar ve denklem (2.1) frekansında bir foton yayar. Bu fotonun yayıldığı yön tamamen geliştiği gibidir. ii) veya atom dışarıdan  $f_{21}$  frekansındaki bir fotonun etkisi ile  $E_1$  enerji seviyesine geçiş yapar. Bu şartlarda  $E_2$  seviyesinde bulunan bir atom ışınım alanıyla etkileşerek  $E_1$  enerji seviyesine geçiş yapar ve yine  $(E_2 - E_1)$  enerji farkına eşdeğer bir foton salar. Ancak bu fotonun yön ve fazı geçişe etken olan fotonla özdeştir. Bu geçiş biçimine laser olayında olduğu şekliyle uyarılmış ışımaya (stimulated emission) denir.

$E_2$  enerji seviyesinin atom yoğunluğu  $N_2$  ve  $E_1$  enerji seviyesinin atom yoğunluğunda  $N_1$  olan bir sistem ele alındığında bu sisteme z- doğrultusunda,  $I_\nu$  şiddetinde tek renk bir ışınım yöneltildiği kabul edilsin. Bu ışının uyarılmış ışımaya ilkesinde düşünülürse z- uzaklığı ile ,

$$I_\nu(z) = I_\nu(0) \exp [-\alpha(f) / z] \quad (2.2)$$

biçiminde azaldığı görülür. Burada soğurma katsayısı ,

$$\alpha(f) = [N_1 (g_2 / g_1) - N_2] [c^2 / (8\pi f^2 \tau_2)] [g(f-f_0)] \quad (2.5)$$

bağıntısı ile verilir.

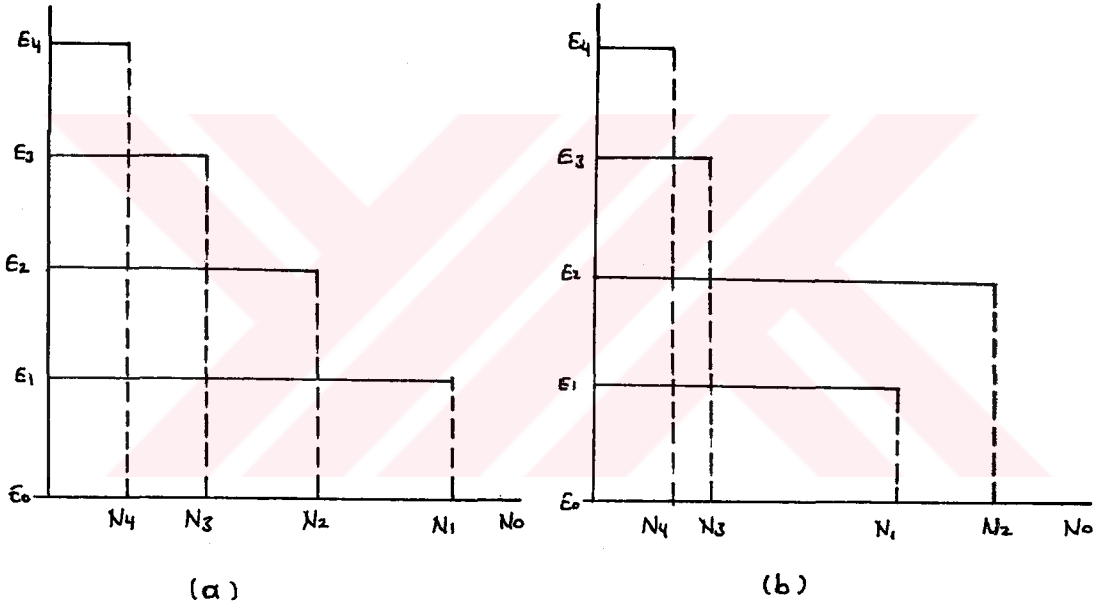
Burada  $g(f-f_0)$  ,  $f_0 = (E_2 - E_1)/h$  frekansı etrafında tayf çizgisinin şiddet dağılımıdır.  $g_1$  ve  $g_2$ ,  $E_2$  ve  $E_1$  seviyelerinin çok katlılıklarıdır. Denklem (2.3)'den görüleceği gibi  $(g_2 / g_1) N_1 > N_2$  olduğu durumlarda  $\alpha(f) > 0$ . olacak ve ışınım yol aldıkça soğurulacaktır.  $N_2 > (g_2 / g_1) N_1$  durumunda ise ,  $\alpha(f) < 0$ . olacak ve ışınım şiddeti z- yönünde uyarılmış ışına etkisiyle artacaktır.

Termodinamik denge durumunda bir atom sistemindeki enerji seviyesi yoğunluğu şekil.-2.2. ' de gösterilmiştir. Normal şartlarda Boltzman dağılımına göre  $(g_2 / g_1) N_1 > N_2$  durumu geçerlidir ve böyle bir sistem üzerine düşecek her elektromagnetik ışınım soğurulacaktır. Tabii olan bu yoğunluk değerleri laseri oluşturan sistemlerde tersine çevrilmekte ve  $N_2 > (g_2 / g_1) N_1$  yapılmaktadır. Bu olaya " tersine çoğalma " üst enerji seviyesinin alt enerji seviyesine göre daha fazla yoğunluk kazandırılması işlemide "pompalama" olarak adlandırılır.

### 2.1.1 Tersine çoğalma :

$E_0$ - taban seviyesindeki elektronlar dış uyarımla enerji kazanarak  $E_2$ - enerji seviyesine çıkarılırlar.  $E_2$ - enerji

seviyesine uyarılan bir elektron ışına yapmadan  $E_2$ - enerji seviyesine geçebilir. Eğer  $E_2$ - enerji seviyesi (metastable) ise ,  $E_2$ - enerji seviyesine çıkarılan bir elektron  $E_1$  seviyesine kendiliginden kısa bir zaman içinde geçiş yapamayacaktır. Bu sayede,



Şekil-2.2. Enerji seviye atom yoğunlukları

(a) : Termodinamik denge durumu ( $N_1 > N_2$ )

(b) : Tersine çoğalma ( $N_2 > N_1$ )

$E_3$  enerji seviyesinden geçişler devam ettiği sürece  $E_2$  düzeyinden belirli bir geçiş yapan bir elektron kısa zamanda  $E_1$  seviyesinden daha alt seviyelere geçerek  $E_1$  seviyesini boşaltacaktır.  $E_2$  seviyesine çıkarılan atomlar,  $E_1$  seviyesine

ani geçiş yapamayacaklarından dolayı olağanın üstünde birikmeyle tersine çoğalma gerçekleşmiş olacaktır.

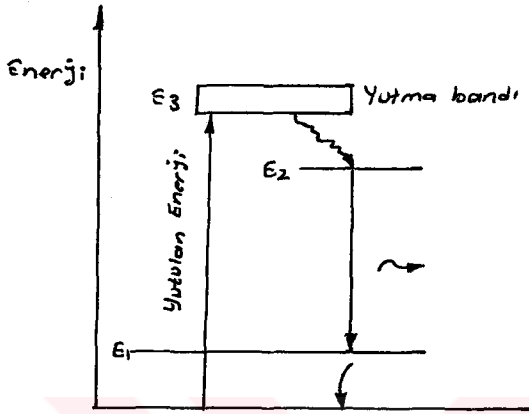
Atomların  $E_0$  seviyesinden  $E_1$  seviyesine çıkarılması işleminde pompalama olayıdır. Pompalama işlemi için katı lazerlerde darbeli ışık kaynakları, gaz lazerlerde gaz boşalması yardımı ile elektronların uyarılması, yarı iletken lazerlerde akım şırıngalanması (current-injection) gibi değişik yöntemler kullanılmaktadır [13].

Lazer ışınının elde edilebilmesi için, üst enerji seviyesindeki elektron, atom veya moleküllerin sayısının alt enerji seviyesindeki elektron, atom veya molekül sayısından daha çok olabilmesi için yukarıda açıklanan ters çoğalma (invers population) olayının gerçekleşmesi gerekir. Alt enerji seviyesinde fazla miktarda atom varsa bu durumda soğurma işlemi meydana gelir.

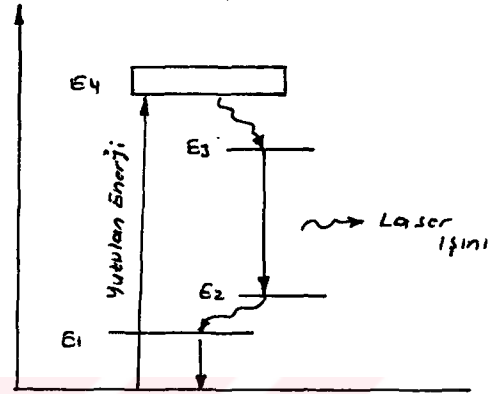
Yukarıda açıklandığı gibi pompalama ile elektronların üst enerji seviyesine çıkarılması sağlanır. Bu sayede üst enerji seviyesine çıkan elektronlar bu seviyede  $10^{-6}$  ile  $10^{-10}$  sn kaldıktan sonra alt enerji seviyesine düşerler bu düşme sırasında foton yayarak bir ışın meydana getirirler.

Lazer sistemlerini enerji seviyelerine göre üç enerji seviyeli ve dört enerji seviyeli olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Bu durum şekil-2.3 ve şekil-2.4 de görülmektedir.





Şekil-2.3 Üç enerji seviyeli laser sistemi



Şekil-2.4 Dört enerji seviyeli laser sistemi

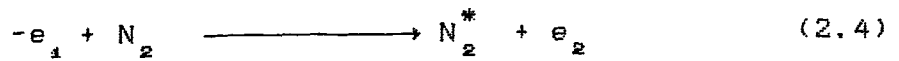
## 2.2. Gaz Laserler ve CO<sub>2</sub> Laser

Gaz laserler en çok kullanılan laser türlerinden biridir. Helyum-Neon, Helyum-Kadmiyum, Argon, Krypton, Karbondioksit, Excimer, Nitrojen ve Hidrojen laser gibi bir çok çeşitte gaz laseri geliştirilmiştir. Helyum-Neon laser; Neon'un uyarılmış iki enerji seviyesi arasında meydana gelir. Burada kullanılan Helyum'un gayesi, Neon atomlarını üst enerji seviyelerine uyarma işleminde kullanılmasıdır. He-Ne laser dört enerji seviyeli bir laser sistemidir. 0.63  $\mu\text{m}$  dalga boylu, kırmızı renkli ışın elde edilir, Üretilen ışın demeti çapı 1 mm ile 4 mm arasında değişmektedir ve ayrıca 9.1 mW ile 100 mW arasında güç üretilmektedir.

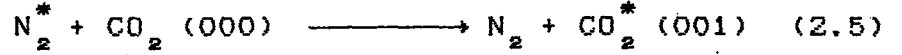
Yüksek ve devamlı güç elde edilebilen ilk sistem  $\text{CO}_2$ ; He;  $\text{N}_2$  laser sistemidir. (PATEL 1964)  $\text{CO}_2$  laser diğer laser sistemlerine göre verimi en yüksek olandır (% 20-30). Bunun yanı sıra  $\text{CO}_2$  laserin dalga boyu 10.6 mikron olması ve bu nedenle kaynak bölgesinde bir yansıma meydana gelmesi  $\text{CO}_2$  laser sisteminin bir dezavantajı sayılabilir.

$\text{CO}_2$  laserinde  $\text{N}_2$  kullanılma sebebi dipol momenti elde etmektir. He ise sabit basınçta özgül ısı değerinin büyük olması nedeniyle sistemde oluşan ısı enerjisinin plazma duvarlarına hızlı bir şekilde aktarılmasını sağlamak gayesiyle kullanılır.  $\text{N}_2$ 'nin plazma içindeki en önemli görevi ise Helyum-Neon laserde Helyum'un oynadığı rol gibi,  $\text{CO}_2$  moleküllerini üst enerji seviyelerine pompalama gayesiyle kullanılmasıdır.

$\text{CO}_2$  laserde pompalama işlemi basitçe aşağıdaki gibi açıklanabilir. Taban seviyedeki  $\text{N}_2$  molekülleri doğrudan elektron uyarımıyla bir üst enerji seviyesine çıkarılırlar. Bu işlem birinci tür çarpışma olarak adlandırılır.



uyarılmış bulunan bu  $\text{N}_2$  molekülleriyle taban seviyedeki  $\text{CO}_2$  moleküllerinin ikinci tür çarpışması sonucu  $\text{CO}_2$  moleküllerin üst laser seviyesine (001) çıkarılırlar.



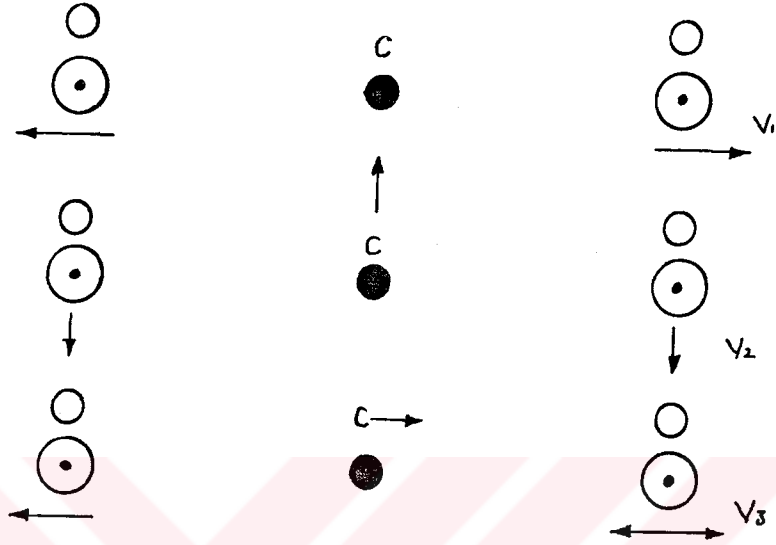
Bu tür bir uyarımın meydana gelebilmesi için  $N_2$  ve  $CO_2 (001)$  enerji seviyelerinin enerji değerleri birbirlerine çok yakın olmalıdır.

$CO_2$  laseri gaz laserler içinde güç ve verimlilik açısından en önemli olanıdır.  $10.6 \mu m$  lik ışığa  $0.29$  ve  $0.17$  eV  $CO_2$  enerji seviyeleri arasında meydana gelmektedir. Bu yüzden elde edilebilecek maksimum verim;

$$\eta = \frac{E_{001} - E_{100}}{E_{001}} = \frac{0.29 - 0.17}{0.29} = 0.416$$

% 41.6 lik verim pratikte sağlanamamakta ancak iyi bir dizaynla % 20 civarına ulaşılabilmekte. Son zamanlardaki çalışmalar ve gaz akış hızının artırılmasıyla % 30 lara ulaşan bir verim elde edilmiştir [12].

$CO_2$  laserini izah ederken,  $CO_2$  molekülünde incelemekte yarar olacaktır.  $CO_2$  lineer simetrik üç atomlu bir moleküldür ve  $CO_2$  molekülü 3 adet temel osilasyon moduna sahiptir. Bunlar  $V_1$ -simetrik aksenal,  $V_2$ -simetrik eğilme (deformasyonel) ve  $V_3$ -asimetrik aksenal modlardır.  $CO_2$  molekülünün düşük vibrasyonel seviyelerinin enerji şeması şekil-2.5 de görülmektedir.



Şekil-2.5 CO<sub>2</sub> molekülünün düşük vibrasyonel seviyelerinin enerji şeması

### 2.2.1 Deşarj Tüpünde İyonizasyon Olayı

CO<sub>2</sub> laserin çalışma prensibinde de belirtildiği gibi bu tip laserlerin çalışma esaslarından birini de plazma tüpündeki gaz karışımlarının iyonize olayı teşkil etmektedir. Gazların iyonize olması ise; gaz ortamının elektron, iyon ve nötr atom veya moleküllerinin ihtiva ettiği bir yapı veya bazı gaz atom yada moleküllerinden ayrılmış elektronların olduğu bir mekanizmadan müteşekkıldür. Eger iyonize bir gaz ortamı bir elektrik alanı ile elde edilir ise, bu durumun sonunda iyonize ortam akımı iletir ve buna gaz deşarjı adı verilir.

Tam iyonize olmuş ve yüklü parçacıkları ihtiva eden bir gazı elde etmek oldukça güç olmaktadır. Bunun için çok yüksek vakum şartları ve bağlantı kayıplarının en az olması gerekmektedir.

Gaz deşarjlarının analizinde karşımıza çıkan en büyük problemlerden birisi, yüklü ve nötr parçacıklar arasındaki etkileşmelerdir. Bu durum çok basit gaz deşarjlarında dahi olabilmektedir.

Gaz deşarjları çok karışık kimyasal yapılardır. Bu karışık yapıları aşağıdaki şekilde gruplandırarak incelemek daha doğru olacaktır.

#### 2.2.1.1. Gaz deşarjında meydana gelen parçacıklar

##### 1. Nötr Parçacıklar

İlk olarak iyonize olmamış gazı ele alırsak, basit atomlar (X), örneğin yoğun olmayan gazlar veya basit moleküller (XY) yada (XYZ) türünden  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$  gibi bileşiklerle karışık yapıya sahip  $H_3F$  (metilflörür) söz konusu olur. Basınç sahası çok geniş bir aralıkta olabilir. Bir kaç torr olabileceği gibi bir kaç mikro torr yada onlarca, yüzlerce atmosferlik basınçlarda söz konusu olabilir. Nötr parçacıkların yoğunluğu  $10^8 m^{-3}$  civarındaki bir sahada değişebilir. Ancak bir kaç torr luk bir basınç için nötr parçacıklarının yoğunluğu  $10^{22}-10^{23} m^{-3}$  arasında olacaktır. Özellikle 1 torr ve  $0^\circ C$  de bu değer  $3.5 \cdot 10^{22} m^{-3}$  tür.

## 2. Yüklü Parçacıklar

Ortam iyonize olduğunda elektronlar ve çeşitli iyon parçacıkları ortaya çıkar. Bilinen gaz deşarjları için beklenen elektron yoğunlukları  $10^{19}-10^{15} \text{ m}^{-3}$  aralığındadır. Pozitif iyonlarla birlikte negatif iyonlarda ortaya çıkarlar. Hatta pozitif ve negatif iyonik parçacıklar, özellikle gaz veya moleküler haldekinden yani orjinal nötr haldekinden çok çok farklı olabilirler. Mesela; Helyum deşarjında  $\text{He}_2^-$  iyonlar ortaya çıkacaktır. Her bir iyon türü, gaz deşarjının elektriki özelliklerini etkileyecektir. Bununla beraber, elektronlar genellikle kontrol altındadır.

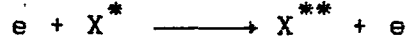
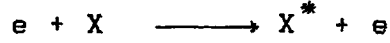
## 3. Uyarılmış Parçacıklar ve Fotonlar

Laserler (gaz laserleri), ışık kaynakları veya Kuantum teorisinin bulunduğu diğer sistemlerde uyarılmış nötr parçacıklar ( $X^*$  ve  $XZ^*$ ) ve olabilecek diğer uyarılmış iyonize parçacıklar oldukça önemlidir. Foton emisyonunun sonucu olarak foto uyarım, foto iyonizasyon veya uyarılmış emisyonun sebep olduğu fotonların absorpsiyonunun mümkün olması da ayrıca önem arz eder.

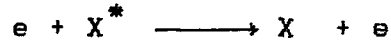
### 2.2.1.2. Parçacıklar Arası Etkileşme

Gaz deşarjlarında parçacıklar arası etkileşmeler oldukça önemlidir. Önemli etkileşmeler kısaca şu şekilde özetlenebilir.

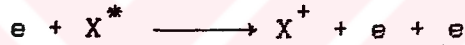
1. Bir atom veya molekülün elektron çarpışması ile uyarılması



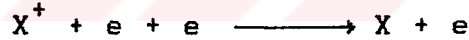
2. Elektron ve uyarılmış atomun süper elastik çarpışması yeniden hızlı bir elektron ve uyarılmamış bir atom meydana getirir.



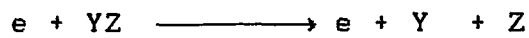
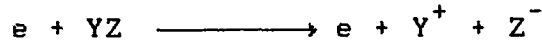
3. Elektron çarpışmalı iyonuzasyon



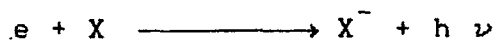
4. Çarpışmalı yeniden birleşme



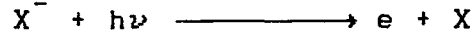
5. Moleküllerin iyonizasyonları ve ayrışmaları bir çok şekillerde mümkün olabilir.



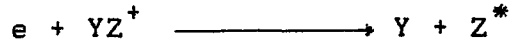
6. Bir negatif iyon oluşturmak için ışınımlı birleşme.



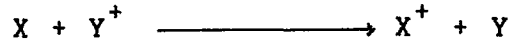
## 7. Foto ayrılma



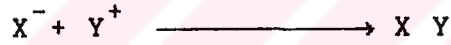
## 8. Ayrışmalı yeniden birleşme



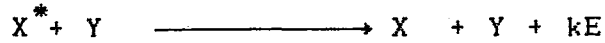
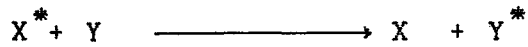
## 9. Yük transferi



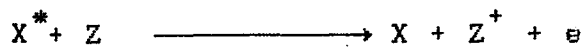
## 10. İyon-iyon yeniden birleşmesi



## 11. Etkileme değişimi. Burada kE kinetik enerjidir.

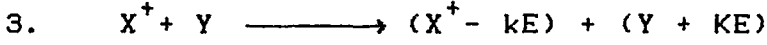
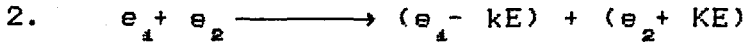
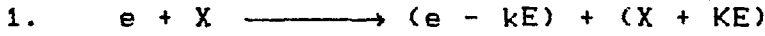


## 12. İyonlaştırma



Belirtilen tüm işlemlerde çarpışan elemanların çarpışmadan sonra aynı iç enerjiye sahip olmadıkları görülmüktedir. Boşalmanın elektriksel özelliklerini belirlemede elastik çarpışmalar önemli rol oynarlar. Bu aşağıdaki işlemlerde görülebilir.





iyonlaşmış gazların karakteristiklerini en genel halde şu şekilde sıralayabiliriz;

1. Herhangi bir sistemin parçacık hızları, her zaman yönlendirilmiş olmaktan çok daha fazla rastgeledir. Diğer bir deyimle, dikkate alınan gaz numuneleri, yaklaşık olarak bölgesel termodinamik dengededir. Ancak ısı enerjisi, yönlendirilmiş enerjiden çok daha büyük olduğundan ortamın tamamı termodinamik dengede değildir. Bir boşalmadaki parçacıkların tamamı, yaklaşık olarak dengede olmaları şart değildir. Bunlar çok az denecek kadar ışınım ile dengede olabilirler. Örneğin iyonlar, nötr parçacıklar ve uyarılmış parçacıklar  $300^{\circ}\text{K}$  lik sıcaklıklarda olabildiği halde ark boşalmalarında onbinlerce  $^{\circ}\text{K}$  lik sıcaklıklarda elektronlara sahip olabilirler.

2. Boşalma aralığına nazaran Debye aralığı daima küçüktür ve bir debye küresinde bir çok parçacık bulunabilir. Debye aralığı; önemli ölçüde yarı dengeden sapmaların mümkün olduğu aralık ölçüsüdür ve bu kavram, bir boşalmanın etkisi üzerinde, elektronların veya yüzeylerin etkisini anlatır. İyonlaşmış gaz sınırların yapısına bağımlı değildir. Bu şart sağlanırsa debye uzunluğu önemli bir parametre olduğundan, bir boşalma tüpünün

sahip olması gereken minimum boyut, basitçe debye aralığının değiştirilmesi ile belirlenebilir.

### 2.2.2. Deşarj Türünde Plasma Olayı

Plazmalar negatif, pozitif yüklü ve nötr parçacıklarla tertiplenmekte olup, elektromagnetik alanların bu yüklerle genelleştirilmesidir. Ürnegin yüklü parçacıkların dinamik bileşimi elektromagnetik alan ile bağlanmaktadır. Böyle bir sistem kısmen elektromagnetik ve kısmen de akışkanlar dinamiği özelliği gösterir [17].

Bir plazma içindeki parçacıklar, duruma bağlı olarak hareketli veya hareketsiz olabilirler. Hareketli yüklü parçacıklara katı hal tabiriyle taşıyıcılar denir. Plazmalar nötr olduklarından biraz makroskopiktir. Yani makroskopik bir hacimde aynı sayıda pozitif ve negatif yükler bulunur. Pozitif ve negatif yükler birbirine eşit ise plazmaya kompanze edilmiş, eşit değilse kompanze edilmemiş plazma denir. Elektron yoğunluğu iyonosferde  $10^4$  ten  $10^7$  ye, gaz deşarjlarında  $10^7$  den  $10^9$  a, ark ve bileşme düzenlerinde  $10^{12}$  den  $10^{14}$  e, yarı iletkenlerde  $10^{14}$  ten  $10^{20}$  ye ve metallerde  $10^{22}$  den  $10^{29}$  kadar ulaşabilir.

Plazma gazı için L mesafesinde bulunan yüklü parçacıkların çarpışmasında, parçacıkların yükleri eşit ise potansiyel enerji

$$P E = \frac{e^2}{4 \pi \epsilon_0 L} \quad (2.6)$$

ve hareketin ısı kinetik enerjisi

$$k E = k T \quad (2.7)$$

ye eşit olup,  $L$  uzunluğu Landau uzunluğu olarak adlandırılır. Bir plazma içinde taşıyıcıların dinamik davranışı, elektronların kinetik enerjisi  $kT$  olan bir mükemmel gaza yaklaşık olarak benzerlik gösterir.

Plazma, plazmayı meydana getiren parçacıkların dinamik farklılıklarına bağlı mikroskobik olarak çok sayıda durumu olabilen istatistiki bir sisteme örnektir. Burada bahsedilen Landau uzunluğu;

$$L_{\text{Landau}} = \frac{e^2}{4 \pi \epsilon_0 kT} = \frac{1.67 \times 10^{-5}}{T} \quad (\text{m}) \quad (2.8)$$

dir. Diğer uzunluk parametresi de Debye uzunluğudur, ve

$$h_D = \sqrt{\frac{\epsilon_0 k T_e}{n e^2}} = 0.69 \times 10^2 \sqrt{\frac{T_e}{n}} \quad (\text{m}) \quad (2.9)$$

ifadesi ile verilir. Uzun mesafelerde bir çok yüklerin kolektif etkileri baskın olurken, küçük mesafelerde

parçacığın kendi davranışı daha baskın olacaktır. Bu kollektif etkiler, bir Debye küresinde çok sayıda yük olmasını gerektirir ki, bu

$$n h_D^3 \gg 1 \text{ olması demektir.}$$

Burada  $n$ , taşıyıcı yoğunluğudur. Diğer taraftan kinetik enerjileri daha fazla olan yüklü taşıyıcılar arasında ortalama iç aktif enerji bulunan plazma alanı

$$n h_D^3 \gg 1 \text{ karakterize edilir.}$$

Bu aktif enerji

$$kT \gg \frac{e^2}{\epsilon_0 r_{\text{ort}}} \text{ olup, ortalama ayrışım}$$

mesafesi

$$r_{\text{ort}} \approx \frac{1}{\sqrt[3]{n}} \quad (2.10)$$

dir. Böylece

$$n(\epsilon_0 k T / n e^2)^{3/2} \gg 1 \quad (2.11)$$

### 2.3. CO<sub>2</sub> laser'in matematik modellenmesi

#### 2.3.1 Çıkış gücü optimizasyonu için tespit edilen parametreler

CO<sub>2</sub> laser çıkış gücü , sistemin fiziki parametrelerinin bir fonksiyonu olarak tanımlanabilir. Laser çalışmasında etkili olan bu parametreler ;

1. Uyarılmış plazma uzunluğu
2. Ayna yansıtma katsayıları
3. Boşluk kayıpları
4. Küçük işaret kazancı
5. Doyum parametresi
6. Mod hacmi

olarak verilebilir [7].

Bütün bu parametreler dikkate alınarak yapılan bir analiz çok karmaşık olmaktadır. Bu yüzden elementer hacmin silindirik olarak alınması ve bazı yaklaşımlar yapılarak analizin dahada basitleştirilmesi mümkündür.

#### 2.3.2 Matematik model

Bu bölümde yukarıdaki parametreler ve yaklaşımlar göz önüne alınarak laser çıkış gücü ve optimizasyonu için gerekli olan enerji seviyelerinide ihtiva eden , bir matematik model verilmiş ve en uygun ışın üretme şartlarıda araştırılmıştır.

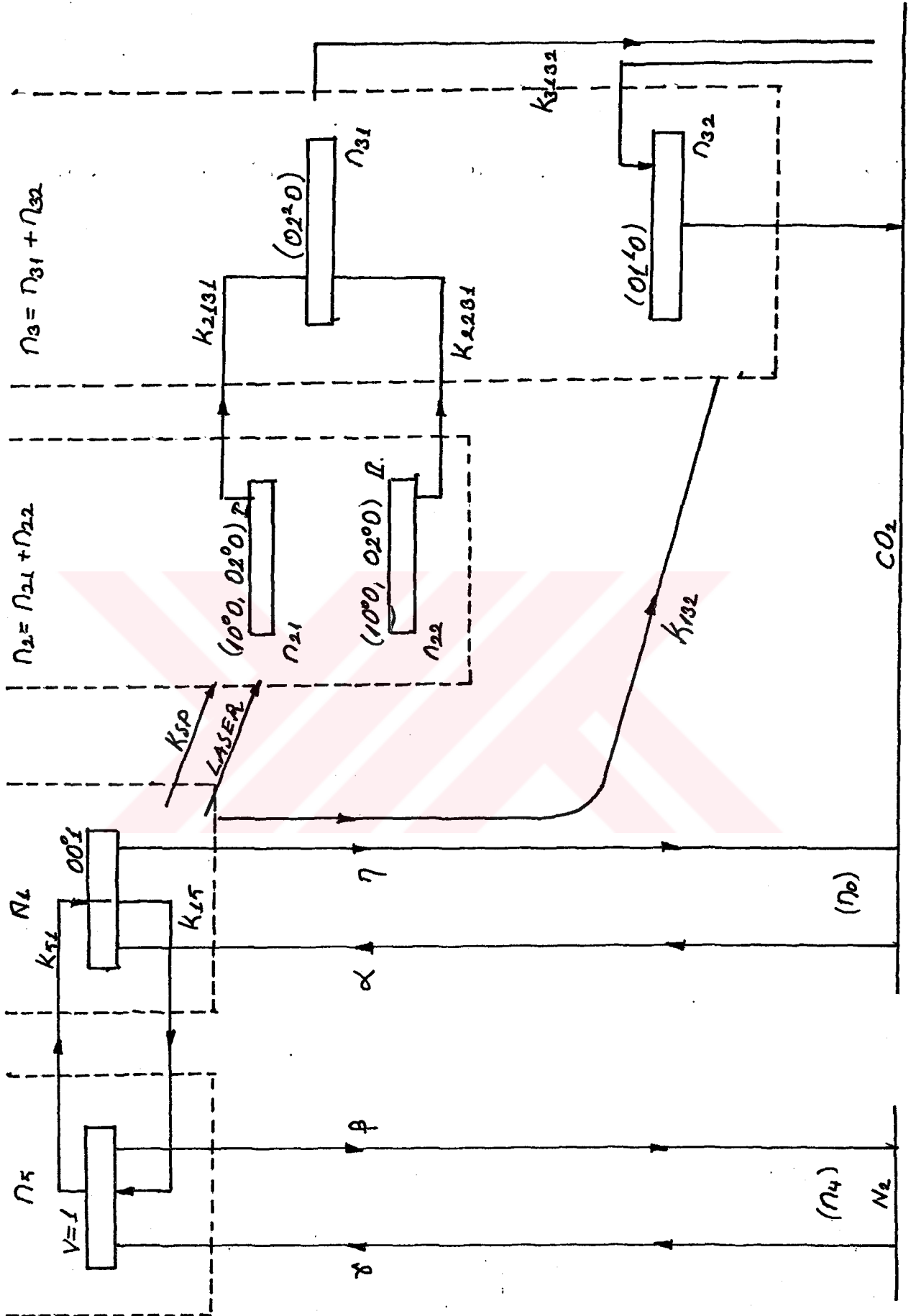
Şekil-2.6 'da CO<sub>2</sub> laserde enerji seviyeleri bu seviyeler arasındaki geçiş ve geçiş oranları görülmektedir[7] Isıl denge şartlarında enerji seviyelerindeki molekül yoğunlukları ise Boltzman dağılımıyla belirlenir , Bu ; K'inci seviye molekül yoğunluğu  $n_k$  , enerjisi  $E_k$ , l'inci seviye molekül yoğunluğu  $n_l$  ve enerji değeri  $E_l$  olmak üzere

$$\frac{N_k}{N_l} = \exp = \frac{- (E_k - E_l)}{k T} \quad (2.12)$$

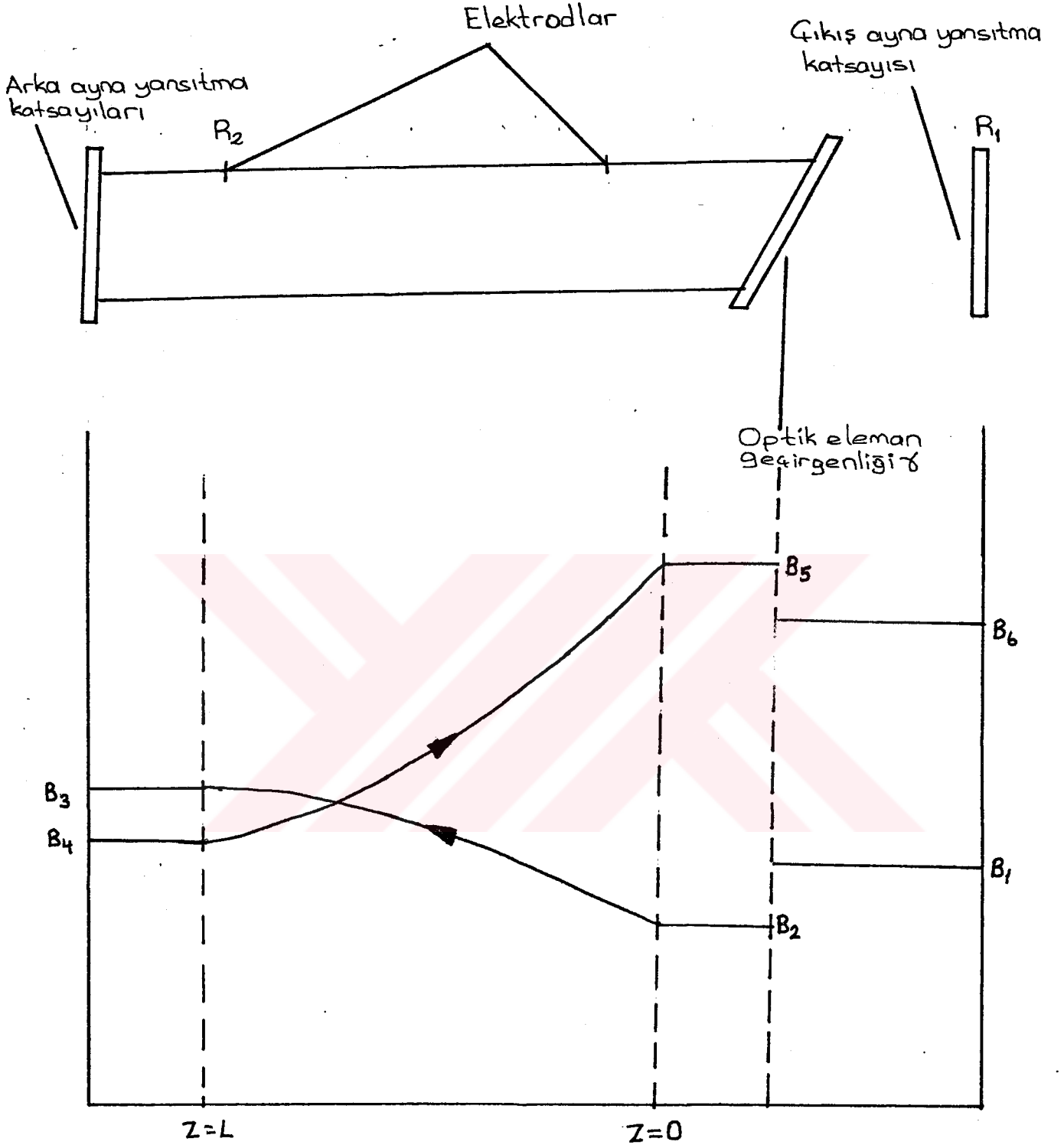
ile tanımlanır.

Yapılan analiz CW laser çıkışıyla ilgilidir. Bundan dolayı işleme laser boşluğundaki akı yoğunluğunu göz önüne alarak başlamak daha doğru olacaktır. Şekil- 2.7 yüksek güçlü bir CO<sub>2</sub> laserin aksenal yöndeki akı şiddet dağılımını göstermektedir. Her ne kadar bu seviyede , herhangi bir noktada akı yoğunluğunun büyüklüğünü belirlemek mümkün değil isede sistemin optik parametrelerinin bilinmesiyle şiddetler arasında belirli oranların tayin edilmesi mümkündür.

$R_1$  ve  $R_2$ ; ayna yansıtma katsayıları ,  $\gamma$  ; intra-cavity optik elemanın iletkenliği olmak üzere aşağıdaki ifadeleri yazabiliriz ;



Sekil. 2.6. Matematikmodelde kullanılan  $\text{CO}_2$  ve  $\text{N}_2$  enerji seviyeleri



Şekil. 2.7. Bir Laserin tipik intra-cavity şiddet dağılımının şematik diagramı



$$\frac{B_1}{B_6} = R_1 \quad (2.13)$$

$$\frac{B_4}{B_3} = R_2 \quad (2.14)$$

$$\frac{B_2}{B_1} = \frac{B_6}{B_5} = \gamma \quad (2.15)$$

Laser plazmasında kazanç isentropik (kayıpsız) olmasından dolayı ayrıca aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$\frac{1}{B^+} \frac{d B^+}{d Z} = g \quad (2.16)$$

Normalleştirilmiş aki yoğunluğu , küçük işaret kazancı ve doyum parametresi arasındaki ilişki Rigrod [14.] tarafından homojen olarak genişletilmiş bir ortam için aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$g = g_0 [ 1 + B^+ + B^- ]^{-1} \quad (2.17)$$

Denklem (2.15)'den g ifadesi (2.17)'de yerine konursa ;

$$\frac{1}{B^+} \frac{dB^+}{dZ} = \frac{g_0}{[1 + B^+ + B^-]} \quad (2.18)$$

elde edilir. Buradanda  $B^- = C (B^+)^{-1}$  tanımından aşağıdaki ifadeyi yazabiliriz

$$\left[ \frac{1}{B^+} + 1 + \frac{C}{B^{+2}} \right] dB^+ = g_0 dZ \quad (2.19)$$

Bu denklemin integrasyonu sonucundan aşağıdaki iki ifadeyi yazabiliriz,

$$\log_e \left[ \frac{B_3}{B_2} \right] + B_3 - B_2 - C \left[ \frac{1}{B_3} - \frac{1}{B_2} \right] = \int_0^L g_0 dZ \quad (2.20)$$

ve negatif z yönünde hareket eden ışın içinde benzer işlemlerle ,

$$\log_e \left[ \frac{B_4}{B_5} \right] + B_4 - B_5 - C \left[ \frac{1}{B_4} - \frac{1}{B_5} \right] = - \int_0^L g_0 dZ \quad (2.21)$$

olur. Dnklem (2.20)'den denklem (2.21) çıkarılırsa ;

$$\log_e \left( \frac{B_3}{B_2} \frac{B_5}{B_4} \right) + B_3 + B_5 - B_2 - B_4 - C \left( \frac{1}{B_3} + \frac{1}{B_5} - \frac{1}{B_2} - \frac{1}{B_4} \right)$$

$$= 2 \int_0^L g_0 dz \quad (2.22)$$

Denklemler (2.13) , (2.14) , (2.15) , (2.21) ve (2.22)'den faydalanılarak ;

$$-\log_e (\gamma^2 R_1 R_2) = 2B_5 - 2\gamma^2 R_1 B_5 - 2 (\gamma^2 R_1 R_2)^{1/2} B_5 +$$

$$2 (\gamma^2 + R_1/R_2)^{1/2} B_5 = 2 \int_0^L g_0 dz \quad (2.23)$$

ve  $B_5$ 'in çekilip , çıkış aynasının transmisyon katsayısının  $\alpha$  olduğu kabulüyle iletilen akı yoğunluğu ;

$$B = \frac{\gamma (1-R_1) \left[ \int_0^L g_0 dz + \log_e (\gamma^2 R_1 R_2)^{1/2} \right]}{\left[ 1 + \left( \frac{\gamma^2 R_1}{R_2} \right)^{1/2} \right] \left[ 1 - (\gamma^2 R_1 R_2)^{1/2} \right]} \quad (2.24)$$

Normalleştirilmiş laser çıkış gücü denklem (2.24) 'in doyum parametresiyle çarpılması neticesinde aşağıdaki gibi elde edilmiştir .

$$P = \frac{W \gamma (1-R_1) \left[ \int_0^L g_0 dz + \log_e (\gamma^2 R_1 R_2)^{1/2} \right]}{\left[ 1 + \left( \frac{\gamma^2 R_1}{R_2} \right)^{1/2} \right] \left[ 1 - (\gamma^2 R_1 R_2)^{1/2} \right]} \quad (2.25)$$

(2.24) nolu denklemden aşağıdaki hususlar belirlenebilir.[7]

a- Çıkış güç yoğunluğu doyum parametresiyle doğru orantılıdır.

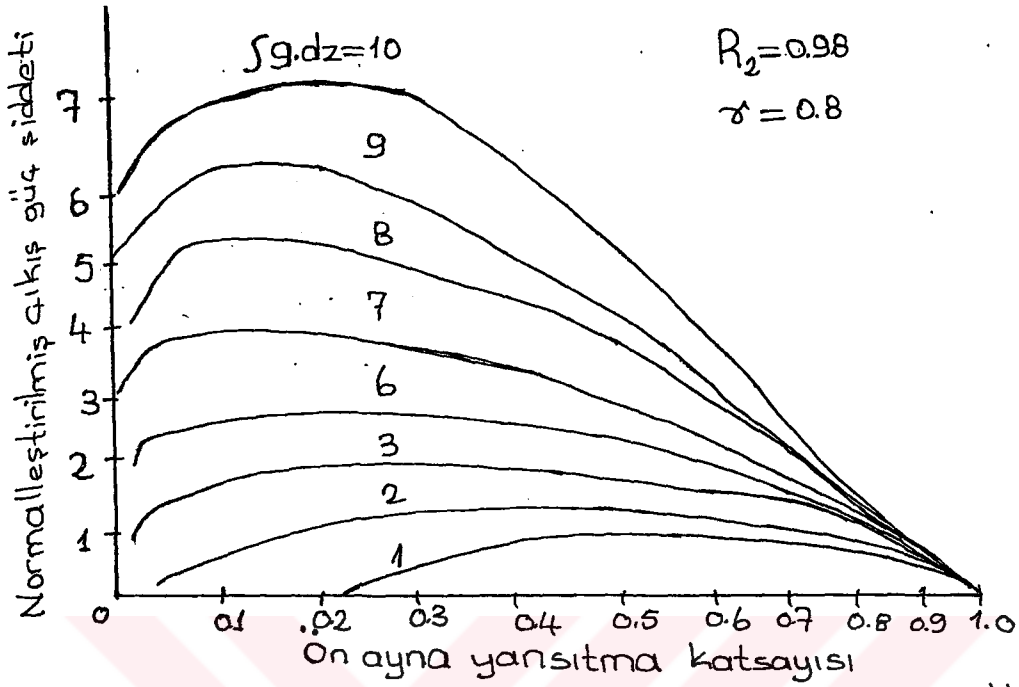
b- Çıkış gücü  $\int_0^L g dz$  'in artmasıyla artar.

c- Çıkış güç yoğunluğu için elde edilen ifade  $R_1$  in sıfır veya bir olması teorik çıkışı sıfır yapacağından, çıkışı maksimum yapan en azından bir  $R_1$  değerinin var olması gerekir. Şekil-2.8 ve şekil-2.9 da  $\int_0^L g dz$ , ayna yansıtma katsayıları ve boşluk kayıpları arasındaki ilişkiyi gösteren eğriler verilmiştir. Bu eğrilerden aşağıdaki hususlar çıkarılabilir.

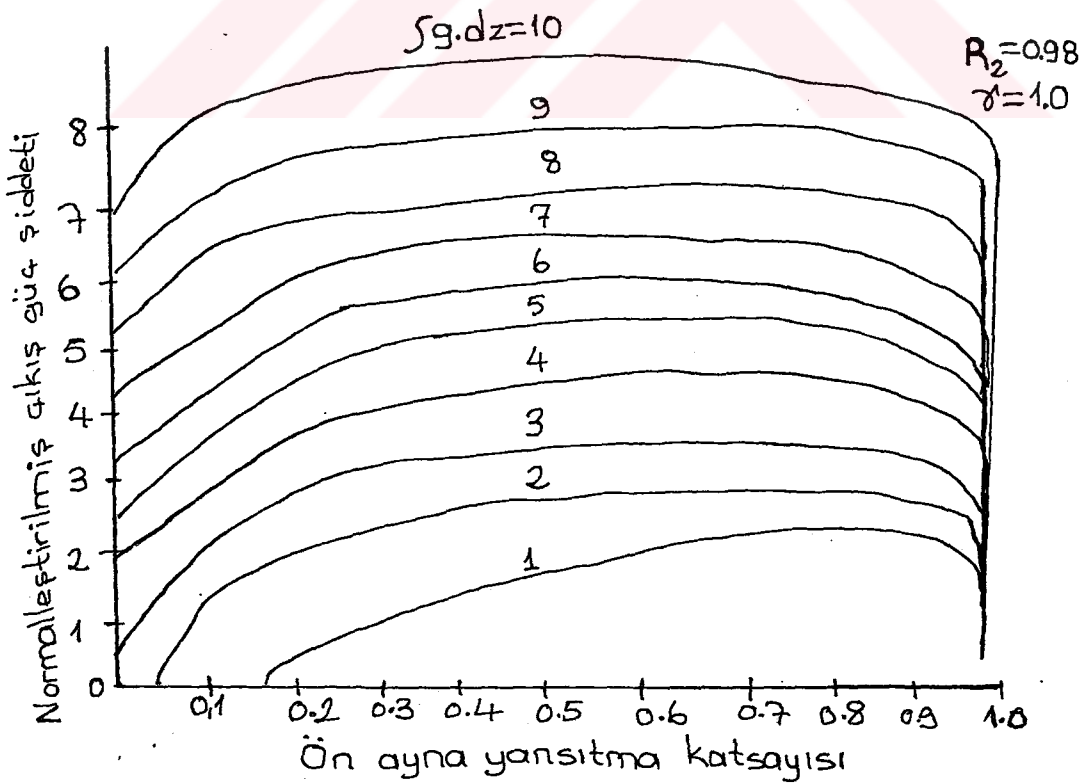
a- Normalize edilmiş çıkış gücü  $\int_0^L g dz$ 'nin artmasıyla artar.

b- Şekillerdeki eğrilerde görüleceği gibi verilen herhangi bir kazanç uzunluk ve kayıp durumlarında, normalize edilmiş çıkış gücü için sadece bir yansıtma değeri vardır.

Teorik olarak kayıpsız bir durumda ön ayna yansıtma katsayısının gerçekte %100 e ulaşmamasına rağmen, bu degere yaklaşıldıkça maksimum çıkış gücü elde edilmektedir. Kayıpların var olduğu gerçek durumlarda ise maksimum normalize edilmiş çıkış gücü, ön ayna yansıtma katsayısının birden küçük olduğu değerlerde elde edilmektedir.



Şekil. 2.8. Normalleştirilmiş Laser çıkış güç şiddetinin ön ayna yansıtma katsayısına göre değişimi



Şekil. 2.9. Normalleştirilmiş Laser çıkış güç şiddetinin ön ayna yansıtma katsayısına göre değişimi

## B Ö L Ü M -3.

### 3. CO<sub>2</sub> LASER SİSTEMİ TASARIMI

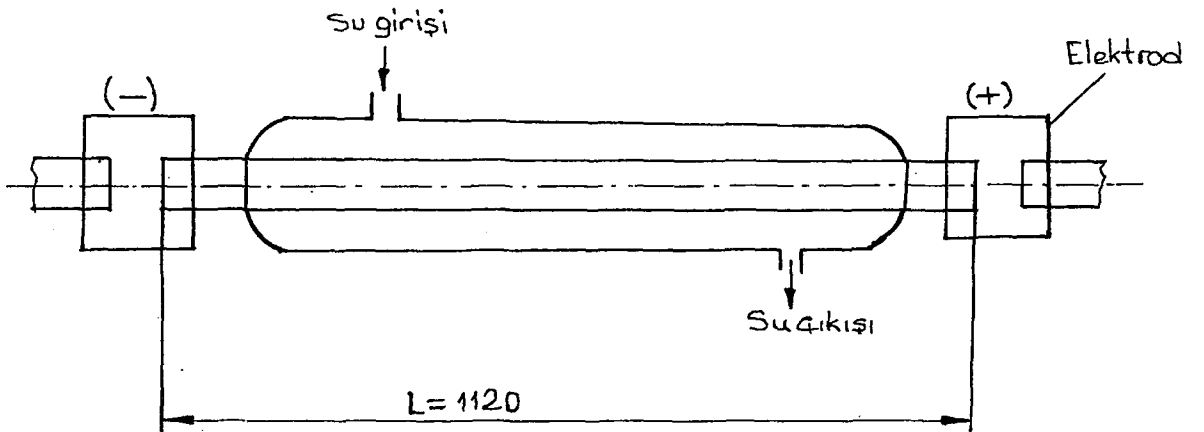
#### 3.1 Laser tasarımı

CO<sub>2</sub> laser tasarım çalışmaları hızla devam etmektedir. İlk karbondioksit laserinin gücü birkaç miliwatt iken bugün sürekli ve darbeli çeşitli CO<sub>2</sub> laserlerde 20 kWatt sürekli çıkış güçleri , 100 kj 'e varan darbe enerjileri ve pikosaniyeden kısa darbe süreleri elde edilebilmektedir. CO<sub>2</sub> laserlerde ışınım CO<sub>2</sub> molekülünün elektronik taban durumunun titreşimsel rotasyonel geçişleri sonucunda elde edilir. Farklı enerji durumlarındaki moleküller , içinde CO<sub>2</sub> bulunan bir gaz karışımının elektriksel boşalması (discharge) ile mümkündür.

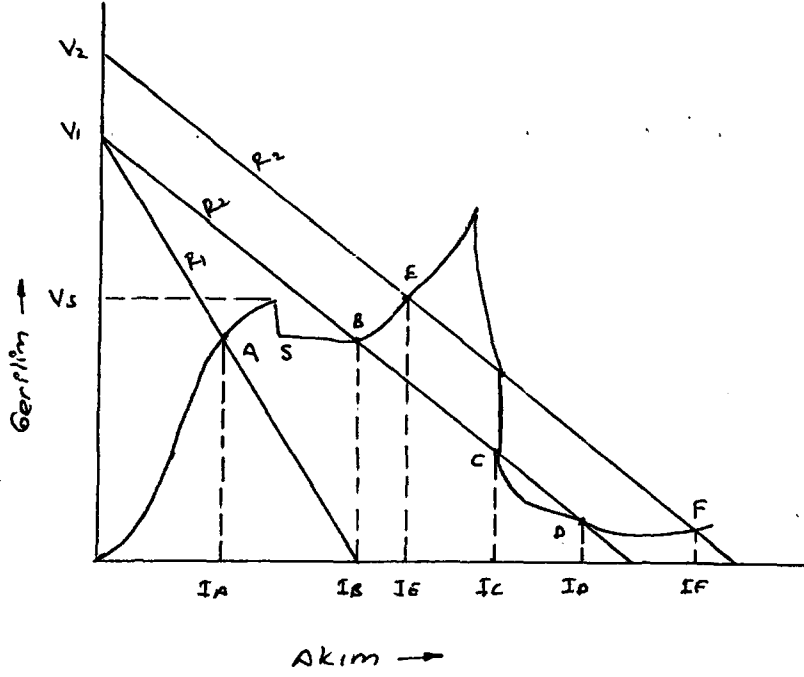
Gazların elektriksel boşalması fizikçiler tarafından geçtiğimiz yüzyılda incelenmeye başlandı. Bu gün CO<sub>2</sub> laserlerde boşalmayı homojenleştirmek ve geçişler arasındaki enerji transferini kolaylaştırmak , üst enerji seviyelerindeki molekül sayısını artırmak amacıyla N<sub>2</sub>, He ve bunlara ilave olarak gaz akışlı olmayan kapalı tüplü

sistemlerde  $H_2$  ve  $X_e$  gazları ' da kullanılır.

$CO_2$  laserinde optik rezonatörün uygun seçimi ile istenilen dalga boyunun elde edilmesi mümkündür. Çıkış gücü sürekli olan  $CO_2$  laserler , tasarımı , yapımı ve işletmesi daha iyi ve nisbeten kolay olan laserlerdendir. Elektriksel verimi %10 civarındadır. Bunlarda  $CO_2$  içeren bir gaz karışımında silindirik bir cam tüpte elde edilen ışının şiddeti ; ortamın soğutma şartlarına , ortamdaki gazların kısmi basınçlarına , elektrodlar arası mesafeye , elektrodların dizaynına , uygulanan gerilime , sisteme bağlı devrenin davranışına ve diğer elektrik boşalma parametrelerine bağlıdır. Şekil-3.1, Şekil-3.2



Şekil-3.1. E.U. Müh. Fak.'daki uygulamada durum



Şekil-3.2. Gazların elektriksel boşalmasının akımgerilim karakteritikleri

Bu grafik seri olarak bağlanmış bir gerilim kaynağı ( $V$ ) ve bir direnç ( $R$ ) ile gaz boşalma tüpünden meydana gelen devrede , sabit gerilimde direnci  $R_1$ den  $R_2$ ye azaltarak veya sabit dirençte , gerilimi  $V_1$ den  $V_2$ ye yükselterek elde edilmiştir. O'dan A'ya kadar uzanan ve  $1 \mu A$ 'i geçmeyen bölge Towsed boşalmasıdır [3].

Gerilim artırılarak S noktasına gelindiğinde , kıvılcım gerilimi  $V_s$ 'de ani akım artışıyla birlikte kıvılcım ortaya çıkar bu arada gerilimin artmasıyla akımda artar.S ile B arası normal parıltı (glow) boşalma olup , bu bölgede gerilim düşmesi boşalma akımından yaklaşık olarak bağımsızdır. Akımın fazla artırılması ani gerilim düşmesine ve ark rejiminin başlamasına sebep olur.



CO<sub>2</sub> laserin elde edildiği bölge B den E ye uzanan bölgedir. Laserlerin tasarımında iki önemli boşalma parametresi vardır. Bunlar kıvılcım potansiyeli ve yük eğrisidir. Basit bir güç kaynağında yük eğrisinin seçimi ve akımın sınırlandırılması , istenen boşalma rejiminde kalınabilmesi için çok önemlidir. Öte yandan kullanılacak güç kaynağı V<sub>z</sub> potansiyelini sağlayabilmeli ve boşalmayı başlatabilmelidir.

Kullanılacak gücün alt sınırı; Boşalmanın başlamasından sonra düşen gerilimle sistemin ark rejimine geçmeden çekebileceği enbüyük akımın çarpımı ile bulunur. Kıvılcım potansiyeli paschen yasası ile belirlenir ve gazbasıncı (P) ile elektrodlar arası mesafe (L) çarpımının bir fonksiyonudur. Düz paralel plakalı elektrodlar için kıvılcım potansiyeli ;

$$V_s = B_p L / \left[ \ln \left[ A_p L / \ln \left[ \frac{1}{\gamma} \right] \right] \right] \quad (3.1)$$

ile verilmiştir.

Burada katot'a çarpan her pozitif iyonun çıkmasına sebep olduğu elektron sayısının bir ifadesi olup katodun bir fonksiyonudur. A ve B ise gaz karışımının fonksiyonu olan sabitlerdir. Laser tasarımı için seçilen güç kaynağının çıkış gerilimi pL ' yi akım kapasitesi ise laser olayının eşiğini belirler. Çalışma basıncı ise sistem ark boşalmasına geçmeyecek kadar küçük , ancak optik çıkış gücünü en büyük yapacak kadar büyük olmalıdır. Çalışma basıncının seçilmesi ile elektrodlar arası mesafe belirlenmiş olur. Bir fikir vermek gerekirse CO<sub>2</sub>; N<sub>2</sub>; ve He karışımı bir gaz'da 5 torr

basıncıta elde edilen parıltılı boşalmada gerilim düşmesinin yaklaşık olarak 1000 V/mm olduğu söylenebilir.[3.]

Elektrodlar arası mesafe (L) deşarj uzunlugunu belirler. Aynaları kavite içinde olan bir optik rezonatörde bu uzunluk yaklaşık olarak rezonatörün boyuna eşittir.

### 3.2. CO<sub>2</sub> LASER SİSTEMİ ELEMANLARI

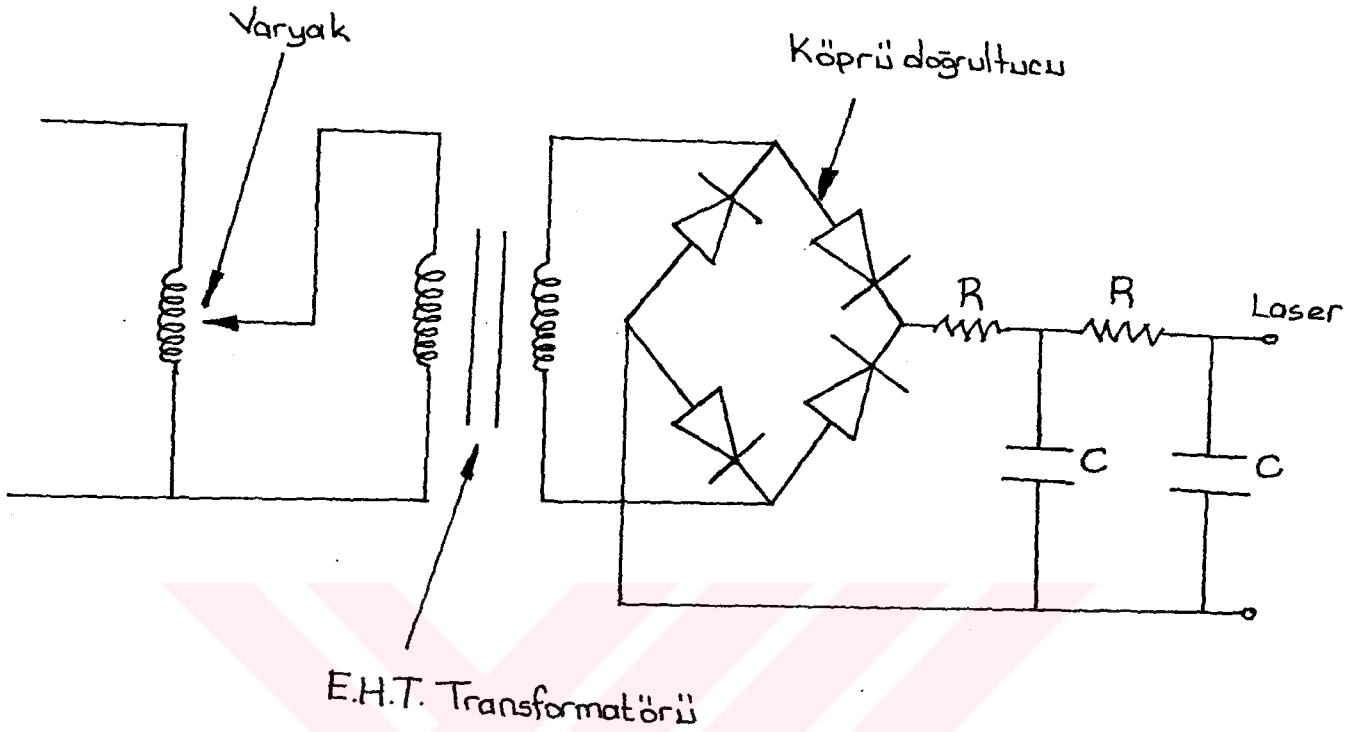
#### 3.2.1 GİRİŞ

Yüksek çıkış gücüne sahip CO<sub>2</sub> laserler üç ana bölümden oluşur. Bunlar ; Güç kaynağı , Laser kafası ve optik düzenlemelerdir.

#### 3.2.2. Güç kaynağı

Bir güç kaynağı en basit şekliyle yüksek voltaj transformatörü ve seri olarak bağlı denge rezistanslarını ihtiva eder. Bununla beraber sabit bir alternatif akım kaynağıyla uyarım verimsizdir ve çok az kullanılmaktadır.

Şekil-3.3 ' de bir güç kaynağı düzeni görülmektedir. Yüksek voltaj transformatörünün girişi varyak ile ayarlanmaktadır. Bu şekilde değişken kaynak voltajı elde edilir. Doğrultucudan çıkış değeri , rezistans-kapasitans filtre devreleriyle düzgünleştirilir. Diğer bir sistemde ise varyak ile yüksek voltaj transformatörü arasına reaktör yerleştirilmiştir.[15] Bu sistemin en büyük avantajı , elektrik güç kayıplarını minimum hale getirmesidir.



Şekil-3.3. Güç kaynağı

### 3.2.3. LASER KAFASI

#### 3.2.3.1 Elektrodlar

##### 3.2.3.1.1 Elektrodların imalatı

Laser ler içerisinde en verimli olanı  $CO_2$  laseridir. Diğer laser türlerinde olduğu gibi  $CO_2$  laserinde de güç ve verimliliğin yüksek olması için mekanik dizayn 'da büyük önem arz etmektedir. Buna örnek olarak , deşarj tüplerinin boyutları iyi bir soğutma sistemi , iyi bir odaklama , elektrodların çok iyi dizayn edilmiş olması ki bu en önemlilerindedir.

Elektrodların dizaynında Şu zellikler dikkate alınarak bir dizayn yapılmaya çalıŐılmıŐtır.

#### 1. Malzeme seçimi

Su teması ve elektrik akımı neticesinde oksidasyonu en az olabilecek ve iyi bir iletken olması gereken malzeme seçilmesi gerekmektedir. Bunun için önce bakır(Cu) malzeme dŐŐnlmŐŐtr ancak bakır malzemenin iletkenliğinin iyi olmasına rağmen oksitlerinin fazla olması dikkate alınmıŐtır. Bundan dolayı alimünyum(Al) malzeme seilmiŐtır. Alimünyum malzemenin oksidasyonunun az ve iletkenliğinin iyi olması tercih nedeni olmuştur , ancak alimünyum malzemenin işleme esnasında sıvama yapması zor iŐlenmeside dezavantajıdır. Ayrıca malzeme seçiminde soğutmaya rağmen yüksek sıcaklıklarıda göz önüne almak gerekiyir. Bütün bu kriterler dikkate alınarak teknik resimlerinde'de grldğu gibi , elektrodların yan iki parçası çıkabilir olduklarından bakır malzemeden , diğer iki parçası'da aliminyum malzemeden imal edilmiŐtır.

#### 2. Elektrodlar  parçadan yapılmıştır

Elektrod sklp takılabilecek Şekilde ve iki yan yüzey bir dış birde i parça olmak üzere üç ayrı parçadan yapılmıştır. Bunun sebebi imalat kolaylığı olması ve en nemliside soğutma suyu ve elektrik alanı etkisiyle elektrod içerisinde zamanla oluŐabilecek oksidasyon tabakaları ve diğer birikmelerin

temizlenebilmesi içindir. Bu üç parçanın birbirine bağlantısı ise teknik resimlerinde'de görüldüğü gibi civatalarla yapılmıştır.

### 3. Elektrod'da o-ring kullanılması

Elektrodlarda hem deşarj tüplerinin bağlantıları sebebiyle ; gaz karışım kaçağının önlenmesi , deşarj tüplerinin bağlantılarının sağlanabilmesi , vakumun en iyi şekilde olabilmesinin temini hemde soğutma suyu kaçaqları ve sızmalarının önlenmesi için o-ringler seçilmiştir ve O-ringlerin hesabıda yapılarak, yerleştirmeleri bu ölçülere göre yapılmıştır.

Deşarj tüplerinde tam iyonizasyonun sağlanabilmesi ve iyi bir boşalmanın temini için deşarj tüplerinin çok iyi vakum edilmesi gerekir. Bunun için güçlü bir vakum pompasının yanında elektrod ve tüp bağlantılarının 'da sızdırmaz olması lazımdır. Bu sebeplerden dolayı O-ring kullanımı ve yerleşimi önem arzeder.

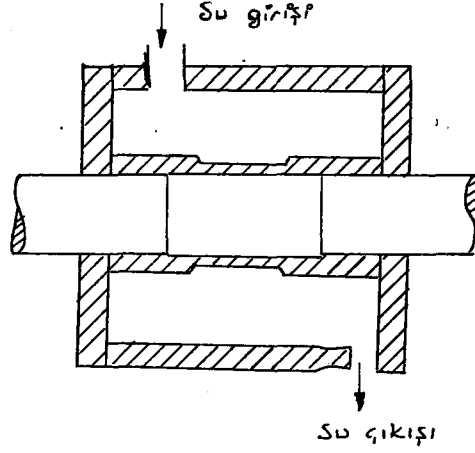
Ayrıca elektrodlar , elektrik akımını gaz'a iletecek elemanlar olduklarına göre bu iletiminde iyi yapılması gerekir bunu yaparken elektrodun dış parçasından akım verilmesi halinde elektrod'taki bağlantılardan dolayı bağlantı aralıklarında oksit tabakası ve izole bir film tabakası oluşacağı endişesiyle akım bağlantısını elektrodun bakırdan imal edilmiş yan parçasından bir ince elektrod bağlantısıyla iç parçaya direk bağlantı yapılmıştır.

Elektrodların deşarj tüplerinin aynı ekseninde olmalarında sağlanmasına dikkat edilmelidir çünkü bu sayede odaklama ve tüpler arasında düzenli akış sağlanabilecektir. Ayrıca deşarj tüpü girişlerinin çok hassas olması gerekir aksi halde bir eğrilik veya pürüz varsa vakum başlayınca deşarj tüpü kırılabilir.

### 3.2.3.1.2 Elektrod'ların soğutulması

CO<sub>2</sub> laser sisteminde, deşarj tüplerinde olduğu gibi elektrodlarda'da yüksek akım ve çalışmadan dolayı yüksek sıcaklıklar oluşmaktadır. Bu sebeple hem malzeme dayanımı hemde laserin oluşmasında optimum şartların sağlanması ve verimin yüksek olması için soğutma yapılmakta ve elektrodun sıcaklığı ortalama 90 °C civarında tutulmaktadır. Bunun için sistem su ile soğutma yapmaktadır. Teknik resimlerinde'de görüldüğü gibi elektrodun dış ve iç parçası arası silindirik bir biçimde boşluklu yapılmıştır. Dış parça üzerinde su giriş ve çıkış bağlantıları vasıtasıyla su pompasıyla gönderilen temiz ve kireçsiz su ile su devri sağlanarak soğutma gerçekleştirilmektedir. Şekil-3.4

Deşarj tüplerinin soğutulmasında teknik resimlerinde'de görüldüğü gibi yaklaşık olarak aynı sistemle su ile soğutulmuştur.



Şekil-3.4 Elektrodlarda su girişi ve çıkışı

### 3.2.3.1.3 O-ring seçimi

O-ring'ler sıcaklığa ve basınca dayanıklı genellikle lastik 'ten yapılmış sızdırmazlık elemanlarıdır. O-ring ölçü ve yerleşimi şekil-3.5 'de gösterilmiştir.

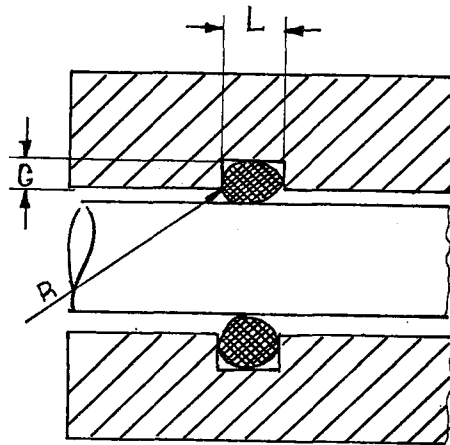
$\emptyset d$  : O-ring iç çapı

$\emptyset s$  : O-ring tel çapı

C : O-ring yerinin derinliği

L : O-ring yerinin genişliği

olmak üzere ;



Şekil-3.5. O-ring yerleşimi

1. Elektrod'a deşarj tüpü yerleşiminde ve terminallerde kullanılacak o-ringler;

$\emptyset d$	$\emptyset s$	C	L	R	Adet	Stok. No
34mm	3.00 mm	2.6	3.4	0.2	20	CO.1868

2. Elektrod yan bağlantıları için ;

$\emptyset d$	$\emptyset s$	C	L	R	Adet	Stok. No
60mm	3.00 mm	2.6-0.1	3.4+0.2	0.2	8	CO.3163

3. Elektrod yan bağlantıları için ;

$\emptyset d$	$\emptyset s$	C	L	R	Adet	Stok.No
89mm	3.50 mm	3.05-01	4+0.2	0.2	8	CO.3666

### 3.2.3.2. Deşarj tüpleri

Laser deşarj tüp uzunlukları , 1 m 'den 6 m 'ye çaplarında 22 mm'den 75 mm'ye kadar değişebilmektedir. Tüp çapları ,  $CO_2-N_2$  karışımı için maximum , 40 mm 'dir.

$CO_2-N_2-He$  karışımı için maximum : 70 mm çapında olabilir, bu dizaynda bu karışım için deşarj tüpünü cam ve çapı 34 mm



boyunda 1120 mm olarak seçilmiştir.

9 - 11  $\mu\text{m}$  bölgesinde ışımayı geçiren brewster pencereleri yalnız NaCl değil , aynı zamanda KCl ,Ge ve Si'dende yapılır.

### 3.2.3.3 Optik düzenlemeler

Laser sistemlerinde kararlı ve yüksek güçlü laser ışınımının elde edilmesi yeterli bir sonuç değildir. Sistem elde edilen bu ışımayı malzeme üzerine odaklayabilmek için optik düzenlemelere ihtiyaç duyulur

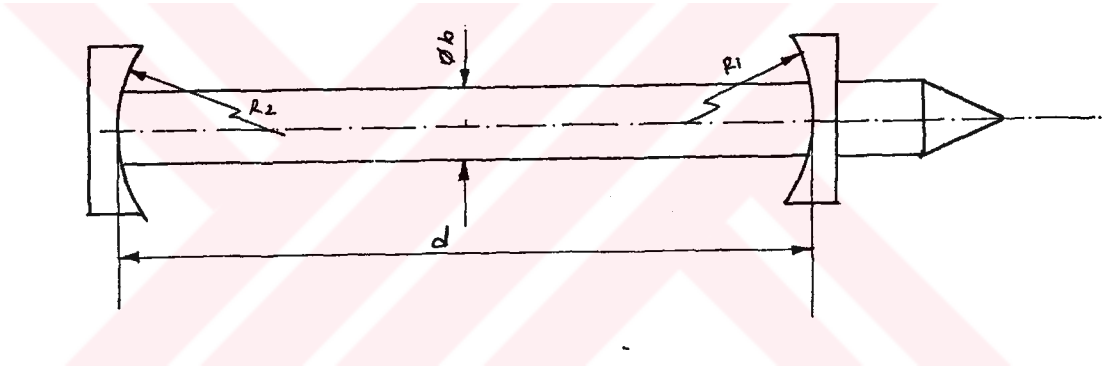
CO<sub>2</sub> laserinin ışınım dalga boyu kızıl ötesi (infraruj) bölgesinde olduğu için cam optik elemanlar kullanılmaz. CO<sub>2</sub> laserde kullanılacak optik malzemeler ; Germanyum , galyum arsenik , kadmiyum teluride , sodyum klorid ve potasyum kloriddir.

#### 3.2.3.3.1 Rezonatör ve aynalar

Rezonatör iki düzlem ayna olup 10.6  $\mu\text{m}$  boyundaki ışın demetini %100 ( $\cong$  99.5) ve % 40-50 oranında yansıtırlar . Bu düzlemsel aynalar Fabry-perot interferometer gibi özellikler gösterirler. Laser ışını bu iki ayna arasında yansıyarak laser ışınının amplifikasyonunu sağlamaktadır.

Laser sisteminde kullanılacak olan ve genellikle optik eksene dik olarak yerleştirilen iki aynadan meydana gelen rezonatör ,

aktif ortamdaki radyasyon alanının dağılımını ve çıkan laser ışınının optik kalitesini etkileyen en önemli unsurdur. Rezonatörden en büyük optik enerjiyi elde etmek için demet , gaz ortamını mümkün olduğunca doldurmalı ve laser olayı için gerekli en küçük şiddeti sağlamalıdır. Aynaların konumu , kararlı periodik bir odaklama sistemine karşılık gelir ve laser demeti genellikle aynaların birinden dışarı çıkarılabilir. Şekil-3.6.



Şekil-3.6. Laser aynaları ve konumları

Böyle rezonatörlerde kararlılık şartı ise ;

$$0 < g_1 g_2 < 1 \quad (3.2)$$

$$g_1 = \left( 1 - \frac{d}{R_1} \right) \quad (3.3)$$

$$g_2 = \left( 1 - \frac{d}{R_2} \right) \quad (3.4)$$

Yukarıdaki denklemlerle verilmiştir. Burada  $R_1$  ve  $R_2$  aynaların eğrilik yarıçapı,  $d$  ise aynalar arası mesafedir. Bu şartta uygun biri iç bükey diğeri düz (çıkış aynası) olan iki aynalı uzun yarı simetrik kararlı rezonatör en küçük demet çapının düz ayna üzerinde meydana gelmesi ve dolayısıyla küçük çaplı ayna kullanılmasına toleranslı olması avantajlıdır. İç bükey aynanın eğrilik yarıçapı, kararlılık şartı sağlanacak kadar küçük ancak kullanılan plazma kazanç ortamının hacmini artıracak kadar büyük seçilmelidir. Ancak heriki aynada plane (düz) seçilebilir.

Rezonatörde demetin en küçük yarıçapı  $r_0$ , birinci aynadaki yarıçapı  $r_1$  ve ikinci aynadaki yarıçapı  $r_2$  olsun bunları şu şekilde tanımlayabiliriz ;

$$r_0^+ = \left[ \frac{\lambda}{\pi} \right]^2 d (R_1 - d) (R_2 - d) \frac{(R_1 + R_2 - d)}{(R_1 + R_2 - 2d)^2} \quad (3.5)$$

$$r_1^+ = \left[ \lambda \frac{R_1}{\pi} \right]^2 \frac{(R_2 - d)}{(R_1 - d)} \frac{d}{(R_1 - R_2 - d)} \quad (3.6)$$

$$r_2^4 = \left[ \lambda \frac{R_2}{\pi} \right]^2 \frac{(R_1 - d)}{(R_2 - d)} \frac{d}{(R_1 + R_2 - d)} \quad (3.7)$$

iki ayna arasında ışın birçok defalar yansıyarak ortamda yükseltilir. Bu durumda her gidiş gelişte toplam kazanç ;

$$W = \exp (-2a1) \quad (3.8)$$

ile verilir. Burada a ışınının soğurulma katsayısıdır. Birde aynaların yansımaya katsayısı R yi göz önüne alırsak bu durumda her yansımada ışığın (1-R) kadarı kayboluyor demektir. Bunun yanında Brewster pencereleri , aynalarda ışığın soğurulması , demet yolunda ve yüzeylerde saçılma tozların etkisi gibi sebeplerle ilave kayıplarında hesaba katmak gerekir. O halde toplam kayıplar ;

$$TK = \exp \left[ - 2 B \frac{d}{c} \right] \quad (3.9)$$

ile verilir.

Burada , B ışınının birim zamanda kaybettiği enerji kesri ve c ışıksık hızıdır. Laser olayının gerçekleşebilmesi için toplam kazancın toplam kayıp'tan büyük olması gerekir

O halde ;

$$W > TK \quad (3.10)$$

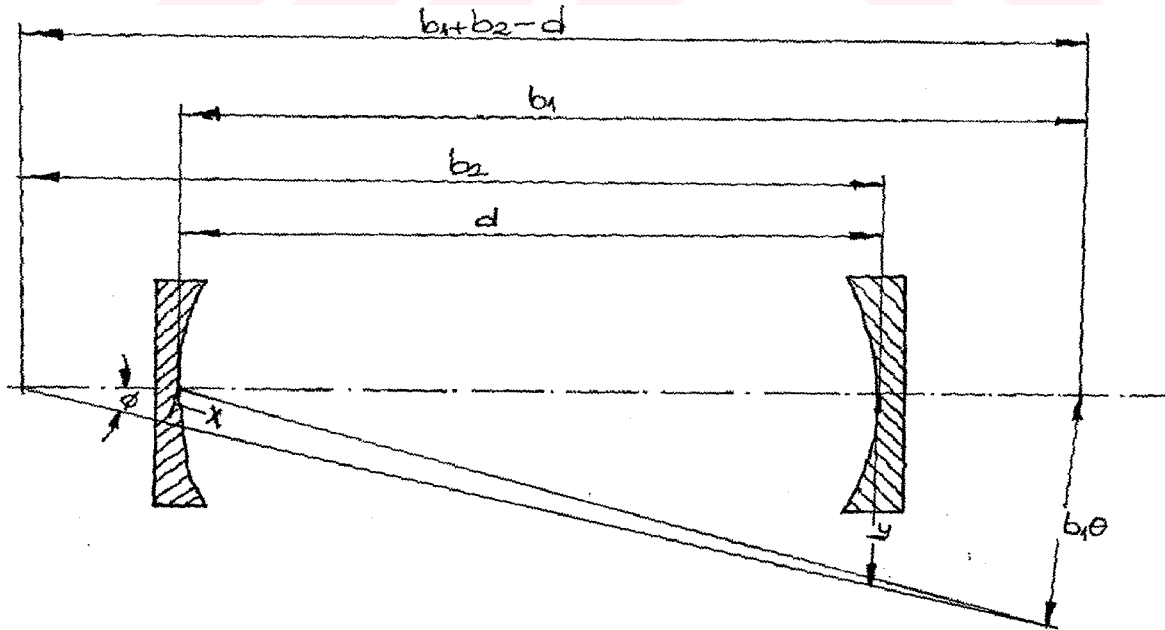
$$\exp(-2a_1) > \exp\left[-2B \frac{d}{c}\right] \quad (3.11)$$

$$2a_1 > 2B \frac{d}{c} \quad (3.12)$$

olmalıdır.

Bir gaz laseri rezonatörünün dizaynında başlıca etkenler , acılar ve uzunluktur . İkinci önemli hususta aynaların değişimi ve ayarlanmasıdır. Açısal düzenlilik , ayna yerleştirilmesine bağlı bir olaydır. Aynaların hareketiyle oluşan eğimlerin merkezi arasındaki mod eksenini farklı aynalar arasında bir açı oluşturur. Sabit güç verimi için , modun hareketi , mod noktasının bir sapması şeklinde olmalıdır.

[3.] şekil-3.7



Şekil-3.7 Aynaların diziliş parametreleri

Aynalar arasındaki mesafe ( $d$ ) dir. Ayna yarıçapları  $b_1$  ve  $b_2$  dir . Dönme açısı  $\theta$  dir. Karşılıklı olarak , eğimin merkezlerinin bulunduğu hat  $\theta$  açısıyla dönmüş olsun , küçük açı tahmini değerdir. Bu değeri şöyle ifade edebiliriz ;

$$b_1 \theta = (b_1 (b_2 - d)) \theta \quad (3.12)$$

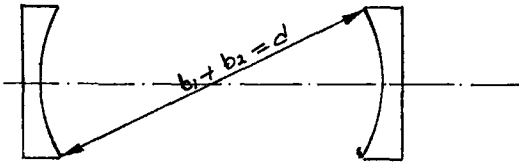
Aynalar arasındaki yer değişimi  $x$  ve  $y$  ise ;

$$x = \frac{b_1 - (b_2 - d) \theta}{b_1 (b_2 - d)} \quad (3.13)$$

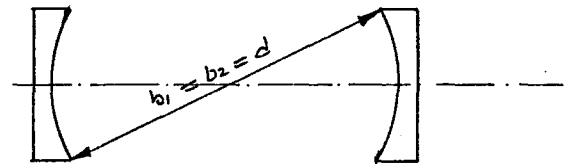
$$y = \frac{b_1 b_2 \theta}{b_1 (b_2 - d)} \quad (3.14)$$

olur.

Eğer ( $b_1$ ) ve ( $b_2$ )  $d$ 'ye eşitseler aynalar düz aynalardır. Eğer  $b_1 + b_2 = d$  ise aynalar küresel aynalardır. Şekil-3.8 , şekil-3.9



Şekil-3.8. Küresel ayna



Şekil-3.9. Düz ayna

En çok kullanılan aynalar düz olabileceği gibiküresel ve uzun yarıçaplı 'da olabilir. Küresel durumda , aynalar küre egrisinin merkezi içinde yer alır , hizalanma yoğunluğu böylece yaklaşık olarak  $x = d\theta$  olur.

Rezonatör açısı ayarlanmasında, ayna tutucu mekanizması yapısına göre bir mikrometre bağlantısından yararlanılır ki bu dizaynda bu sistem kullanılmıştır, yada çok ince dişli vidalarla hassas ölçüler içerisinde hareket eddilererek ayarlanır. İstenen açı değerleri  $300 \times 10^{-6}$  ile  $20 \times 10^{-6}$  radyan arasındadır [3]. Ayna tutucularla ilgili teknik resimler ekte verilmiştir.

$CO_2$  laserleri infraruj ışınlı olduklarından dolayı kendi ışınlarıyla odak ayarlaması yapılamaz ancak kırmızı görünür ışınlı He - Ne laserleri ile yapılabilir.

## B Ö L Ü M -4

### 4.1 TÜRKİYE'DE LASER ÇALIŞMALARI

Laserin tarihi tarihçe bölümünde'de anlatıldığı gibi fazla eski değildir. Alt yapısını oluşturan çalışmalar 1917 'lere dayanmaktaysada ilk uygulamalar 1960 'larda Amerika Birleşik Devletlerinde başladı.

Ulkemizde yirmi yıl gecikmeli olarak görülmeye başlandı. İlk olarak üniversite laboratuvarlarına ve hastanelere girmiştir. Bu konudaki çalışmalarda yaklaşık o yıllarda başlamıştır.

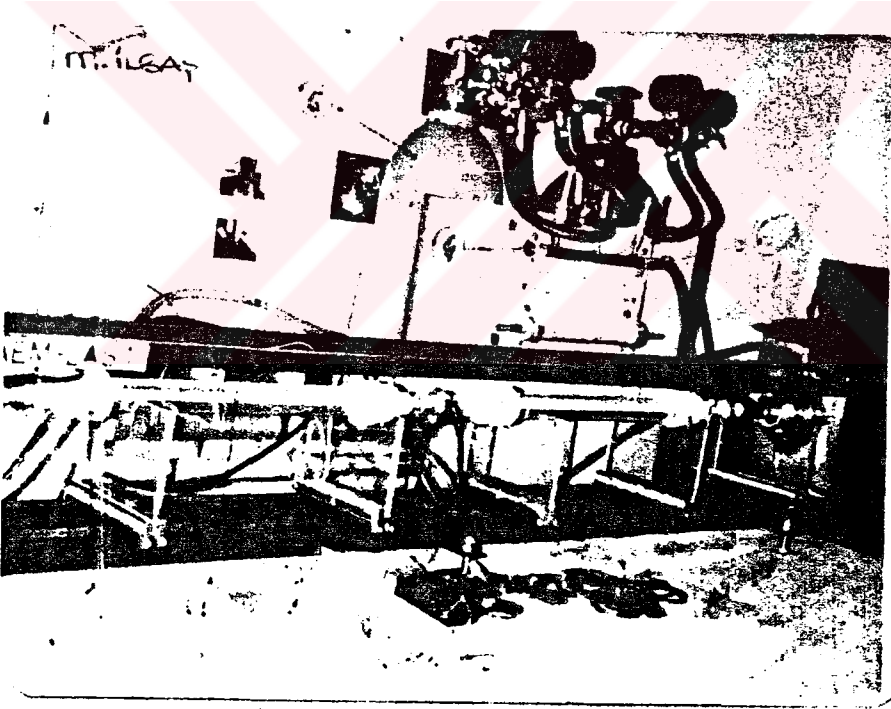
#### 4.1.1 Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim merkezi

Merkezde Doktora öğrencilerinden oluşan bir ekip tarafından özellikle CO<sub>2</sub> laser üzerinde çalışma yapılmıştır. yapılan çalışma prototip olarak yapılmış bir CO<sub>2</sub> laseridir . Bu



laserin iç ve dış payrex cam tüpleri , ayna tutucuları , elektrodları , rezonatörler , tüp destekleri , gaz tüpleri, soğutma elemanları vanalar ve pompa gibi elemanlar iç piyasadan temin edilmiş , mekanik kısımların imali ile montaj "ANAEM" araştırmacıları tarafından yapılmıştır.

Güç kaynağı, güçmetre, vakum pompası, vakum kontrol cihazı igneli vana, vakum ölçer, dedektör ve aynalar ise ithal edilmiştir. Şekil-4.1.de bu laser çalışmasının bir fotoğrafı görülmektedir [3].



Şekil-4.1. "ANAEM" de yapılan laser çalışması

Bu CO<sub>2</sub> laser bir laboratuvar çalışması durumundadır ve henüz sanayide veya başka bir alanda etkin bir biçimde kullanılması mümkün değildir. Güç kaynağı , vakum pompası ,ve soğutma suyu faaliyete geçtiğinde ve tabii gaz akışı sağlandığında deşarj

olayı gerçekleştirmekte ve sonuç ' ta yaklaşık 10 mm demet çapında görünmez(infraruj) ışın elde edilmektedir [16].

Bu ışın CW (sürekli) bir ışındır. "Pulse" özelliği yoktur. Harcanan güç , voltaj ve vakum tesbit edilebilirken dalga boyunu tesbit etme imkanı olmamıştır.

Gaz olarak ,  $CO_2$ ,  $N_2$ , He karışımının kullanıldığı bu  $CO_2$  laserinin özellikleri aşağıdaki gibidir.

Gücü	:5 kilowatt , 750 miliamper
Rezonatör	:600 + 600 = 1200mm üç elektrodlu Z'si :(-) katot , 1'i (+) anot , elektrodlar alüminyundan yapılmıştır
Tüpleri	:Ø 60 mm dış , Ø 20 mm iç ve boyu 600mm
Kullanılan akım	:80 k ohm. olup 250 Watt'lık 2 adet direncin seri bağlanmasıyla sınırlandırılmıştır
Aynalar	:ZnSe (zinc selenayt) birisi düz diğeri küresel iç bükey ayna %100 yansıtıcı düz ayna %15 geçirgen
Gaz oranları	:ilk deneyde ; $CO_2$ :6 , $N_2$ :7 , He :20 3 torr toplam basınçta , 4.5 kV delme gerilim elde edilmiştir
Odaklama laseri	:Helyum-Neon laseri 0.95 mW 6300 Å <sup>o</sup> çıkışlı kırmızı görünür ışın
Optik çıkış çapı	:Ø 10 mm 'dir

#### 4.2 Diğer çalışmalar

A.U. Fen Fakültesinde , Anadolu Üniversitesi fizik bölümünde Erciyes Üniversitesin'de ve buna benzer birçok üniversite laboratuvarlarında 1 miliwatt gücünde görünür kırmızı ışın salan 220 V 'la çalışan He - Ne laserleri mevcuttur. Bunlar belirtilen yerlerde inceleme ve ders aracı olarak kullanılmakta E.U. Mühendislik Fakültesinin dışında ileri derecede bir çalışma olmamaktadır.

Ortadoğu teknik Üniversitesi laboratuvarlarında katı hal YAG laseri , sıvı hal boya laseri bulunmakta ve bunlar laser fizigi araştırmalarında kullanılmaktadır.

Kayseri ve Eskişehir Hava İkmal Bakım merkezlerinde endüstriyel amaçlı tezgah olarak kullanılan Amerikan yapımı HP. HUFMAN laserleri mevcuttur. Bu laserler çok eksenli hareket edebilmektedir. Ancak kayserideki laser şu an çalıştırılmamaktadır.

#### 4.3 Erc.Ünv.Mühendislik Fakültesinde Laser çalışmaları

Mühendislik fakültesindeki laser çalışmaları çok kıymetli laser uzmanı ve teorisyeni Doç. Dr. Bekir Sami Yılbaş'ın fakültemize gelişiyle başlamış ve varlığını göstermiştir. Fakültemiz'de uzun müddet Doktora ve Yüksek lisans çalışmaları aracılığıyla teorik çalışmalar çok yönlü olarak yapılmıştır. Nd<sup>+9</sup> katı laseri dizaynı , Laserin endüstriyel uygulamaları CO<sub>2</sub> laser dizaynı'nda elektronik yapının incelenmesi , CO<sub>2</sub>

laser güç kaynağı ve elektronik yapının incelenmesi , CO<sub>2</sub> laserinde çıkış gücünün optimizasyonu , laser ve iş parçası arasındaki etkileşim ve ısı dağılımının incelenerek matematik modellerin geliştirilmesi , Gaz laserde iyonizasyon ve plazma olayları ve CO<sub>2</sub>laserin dizaynı ve mekanik yapının tasarımı konularında teorik ve pratik çalışmalar yapılmıştır.

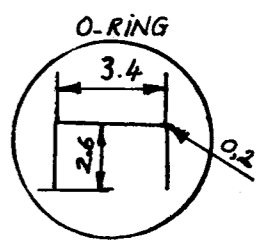
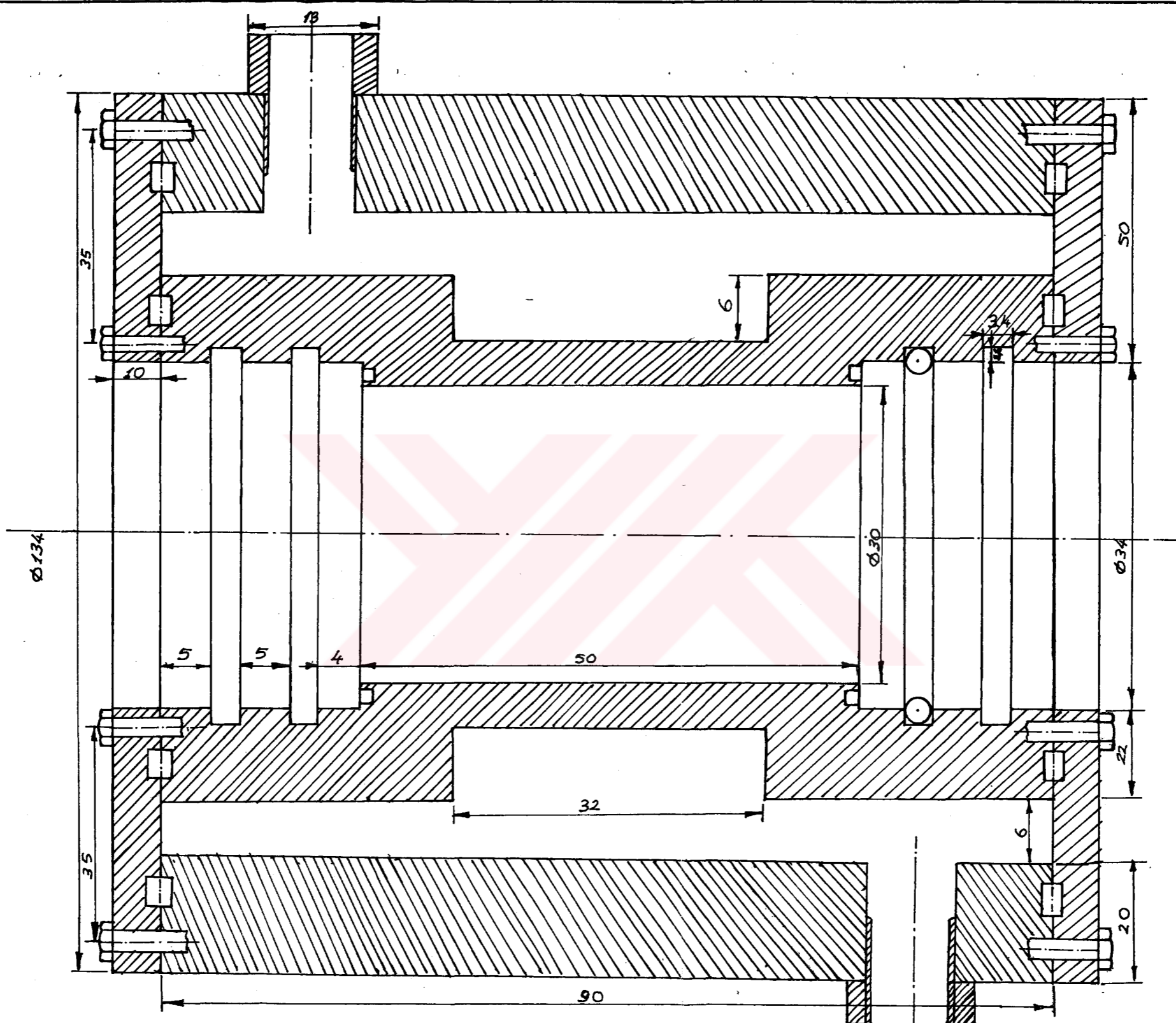
Bütün bu laser çalışmaları birikimi sonuç vermeye başlamış ve fakültemizde bir laser laboratuvarı kurulmuştur. İlk olarak bu çalışmada gayesi olan bir CO<sub>2</sub>laseri yapılmaya başlanmış ve çalışmalar son safhadadır. Bu çalışmanın bitiminde hemen bir katı laser üretiminde başlanacaktır.

Fakültemiz 'de Doç. Dr. Bekir Sami Yılbaş önderliğinde bir ekiple üretim çalışmalarını yaptığımız CW CO<sub>2</sub>laser'in güç kaynağı , Soğutma sistemi , elektrodları , ayna tutucu ve diğer mekanik aksamları kendi tasarım ve imalatımızdır. Bu çalışmada HES. Firmasının büyük destekleri olmuştur. Aynalar , vakum pompası vakum ölçer gibi diğer bazı elemanlar ithal edilmiş deşarj tüpleri ise iç piyasada imal ettirilmiştir.

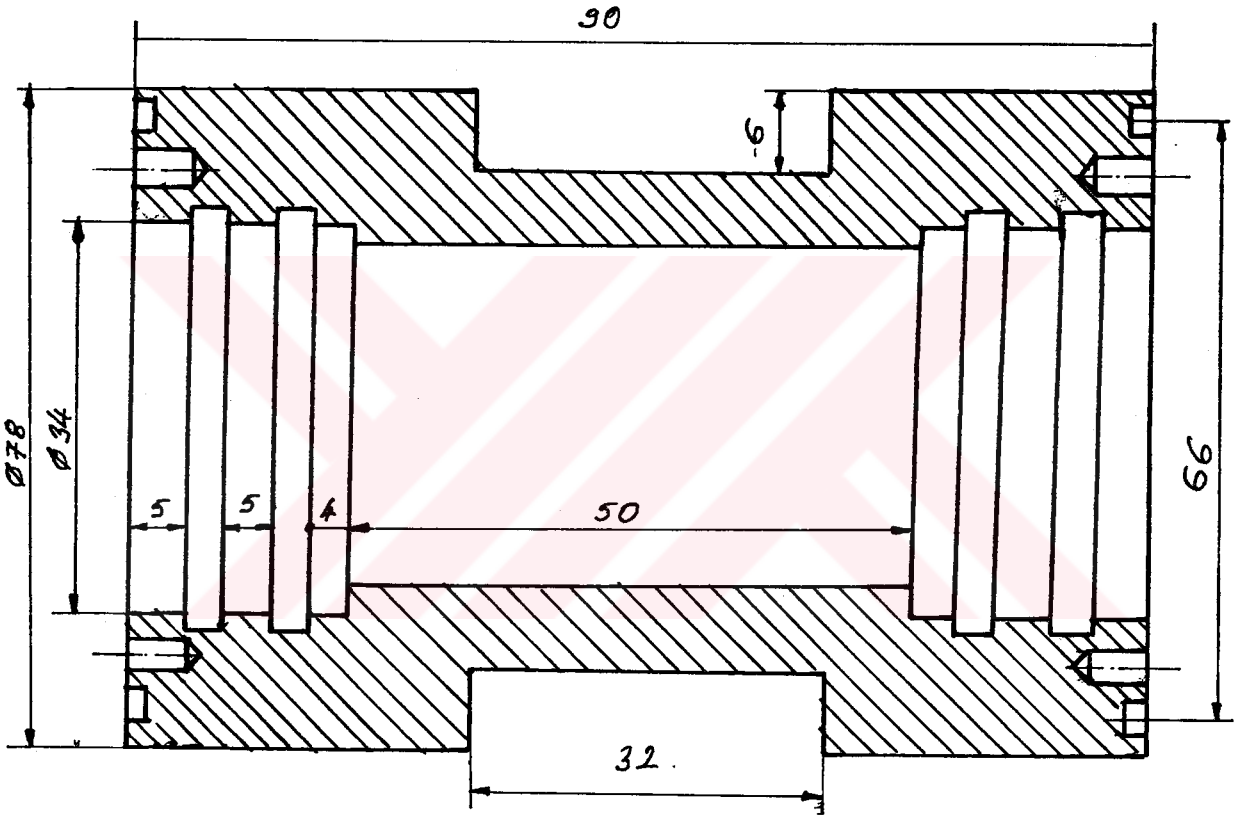
Erciyes Üniversitesi Mühendislik fakültesinde 'ki CO<sub>2</sub> laserinin özellikleri aşağıda verilmiştir ;

Gaz karışımı	:CO <sub>2</sub> ; N <sub>2</sub> ; He
Gücü	:10'ar kW 'lık üç adet güç kaynağı
Rezonatör	:1120 + 1120 + 1120 = 3360mm dört elektrodlu , elektrodlar alüminyum ve bakırdan imal edilmiştir

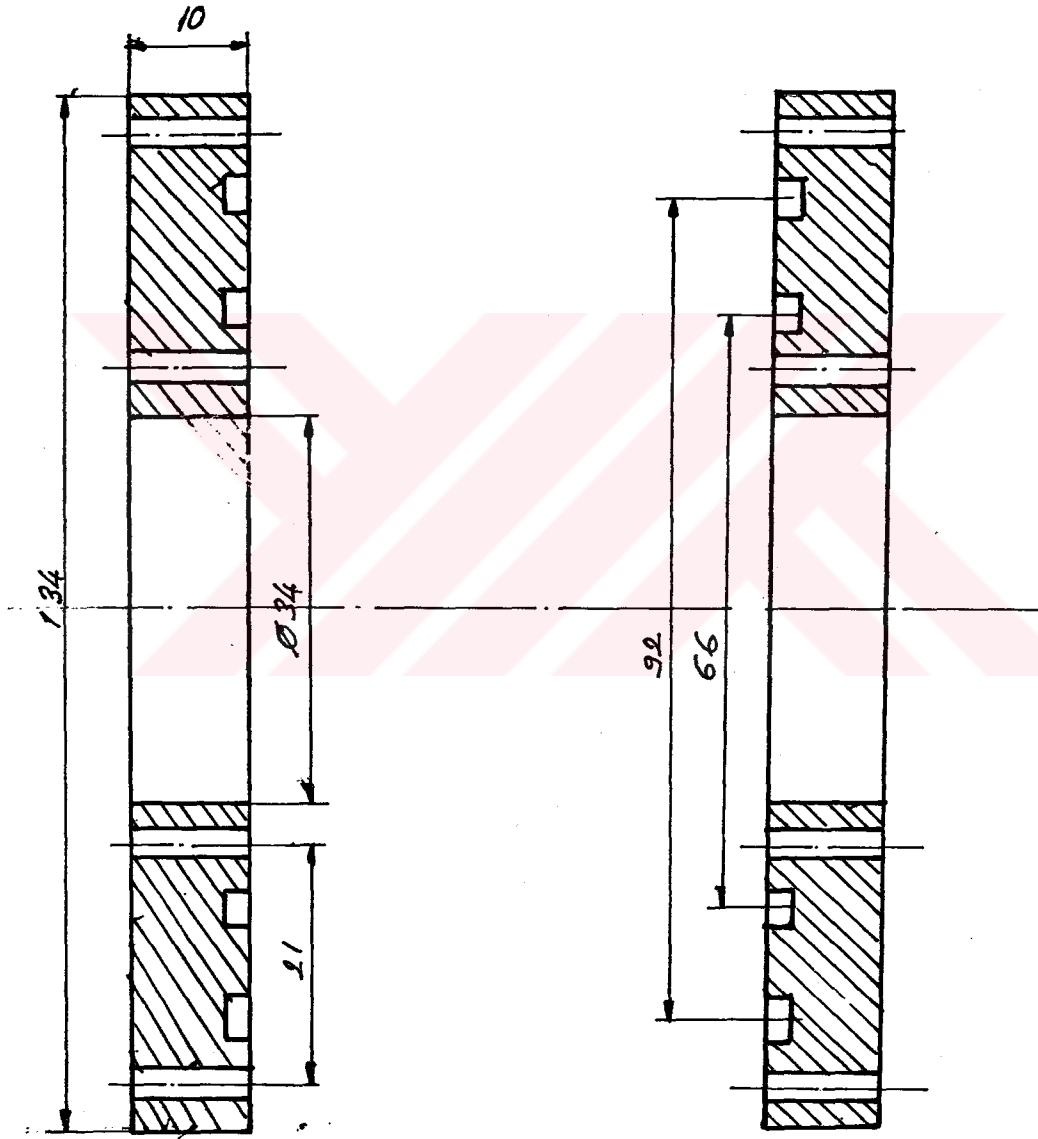
Gaz oranları	:CO <sub>2</sub> : ,N <sub>2</sub> : ,He:
Deşarj tüpleri	:Ø 65 mm dış , Ø 34 mm iç , boyu 1120mm
Aynalar	:ZnSe(Zinc Selenayt) her ikisidedüz birisi %99.9 yansıtıcı(reflective) bu aynanın dış çapı;35mm dalga boyu ise 10.6 µm dir. Diğer ayna laser ışının dışarı çıkarılacağı %30 geçirgen(70/30) dış çapı;50mm ve kalınlığı;6mm 'dir
Odaklama laseri	:Helyum-Neon laseri 0.95 miliwatt, 6300 A° çıkışlı kırmızı görünür ışın
Odaklama mercegi	:Infrared , 10.6µm dalgaboyunda , çapı; 2 inç dir(focussing lens)



Cizen	M. İbaş	Elektrod	
			Rasim NO: 5.1.

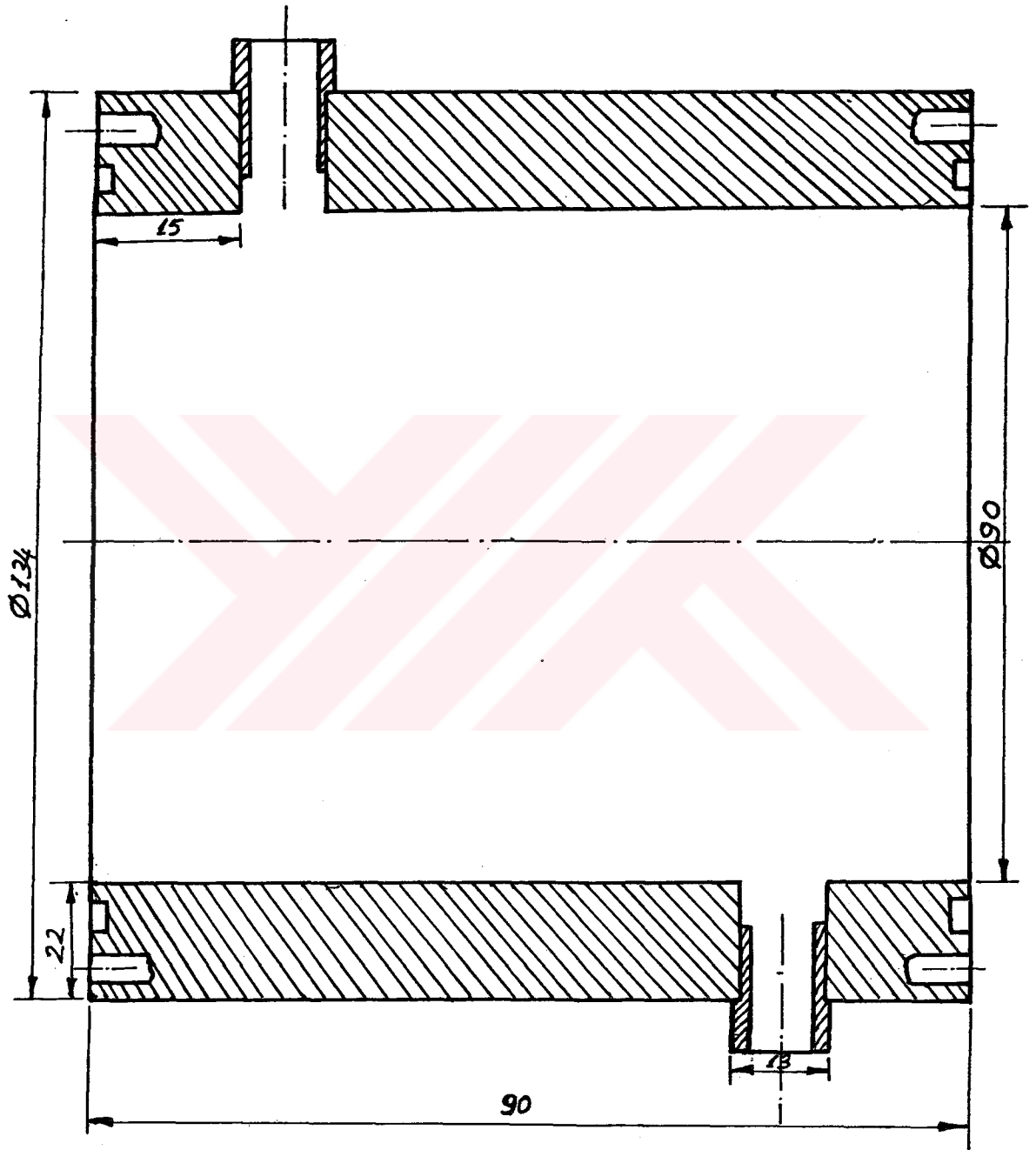


Çizen	M. İbbaş		Elektrod iç parçası	
				Resim NO: 5.1.1

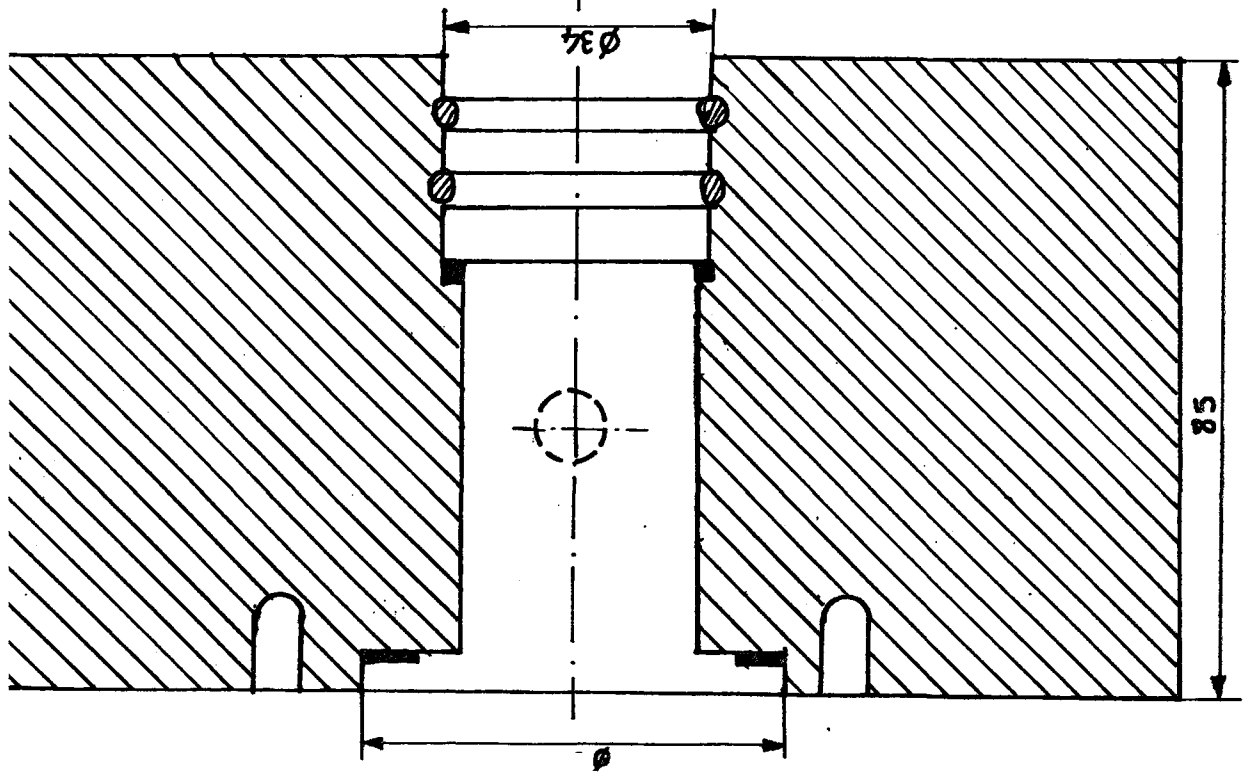
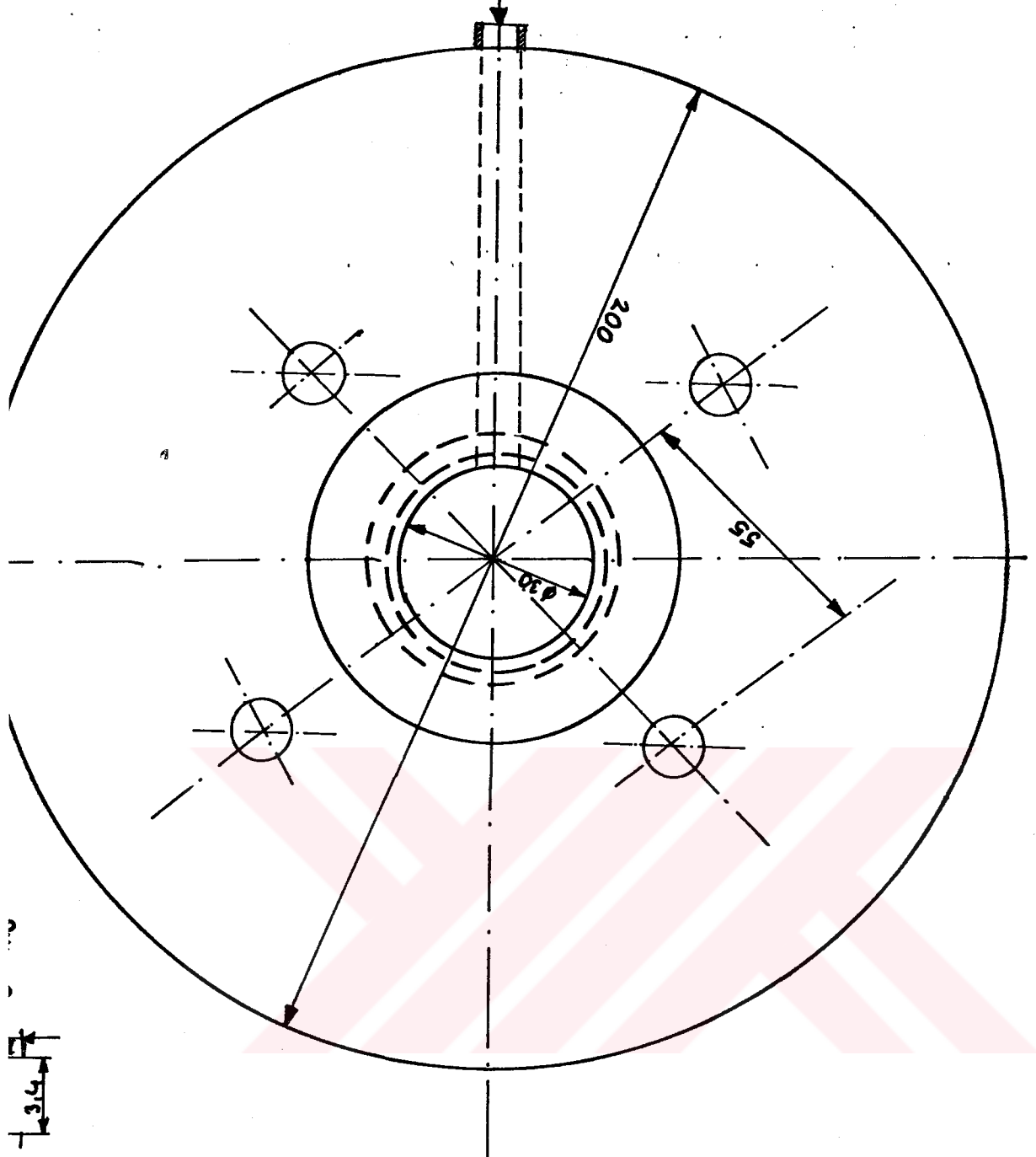


Gizen	M. ilbas	Elektrod yan parçaları	Resim No: 5.12

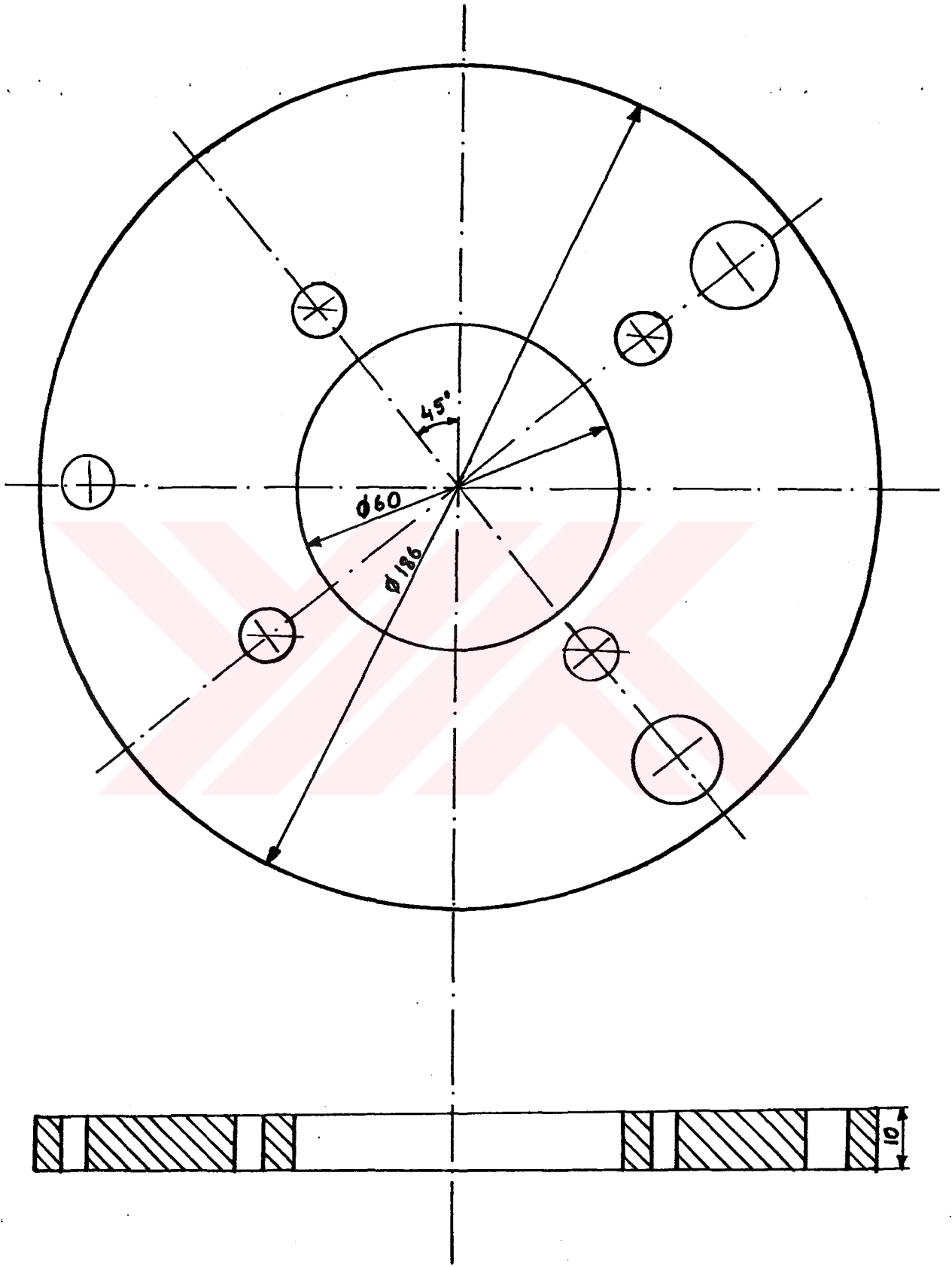




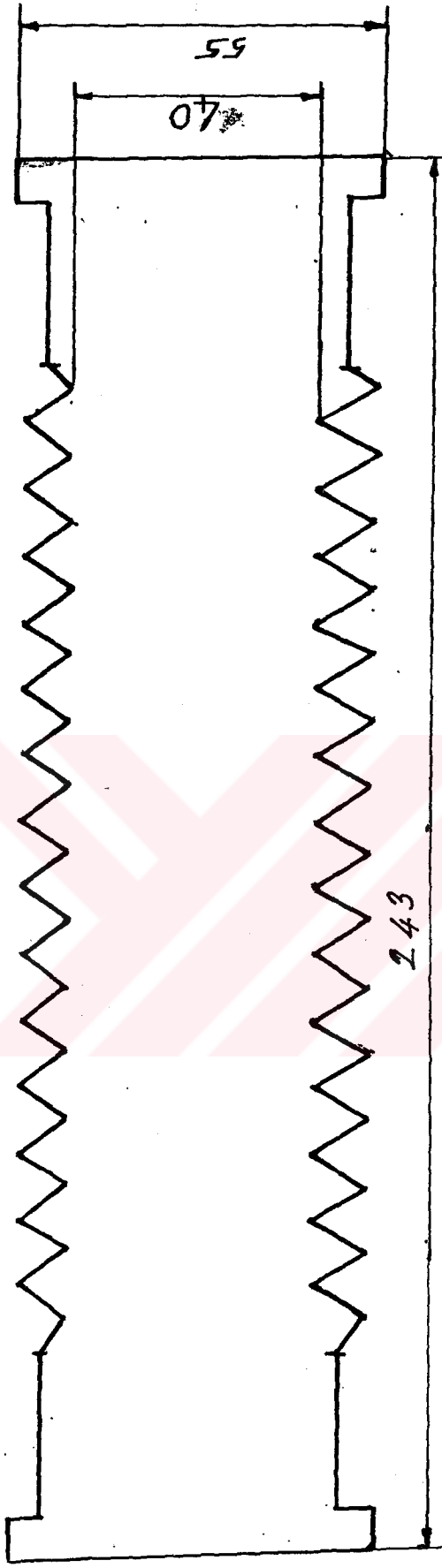
Qizen	M. ilbaş		Elektrod dış parçası	
				Resim NO: 5.1.3



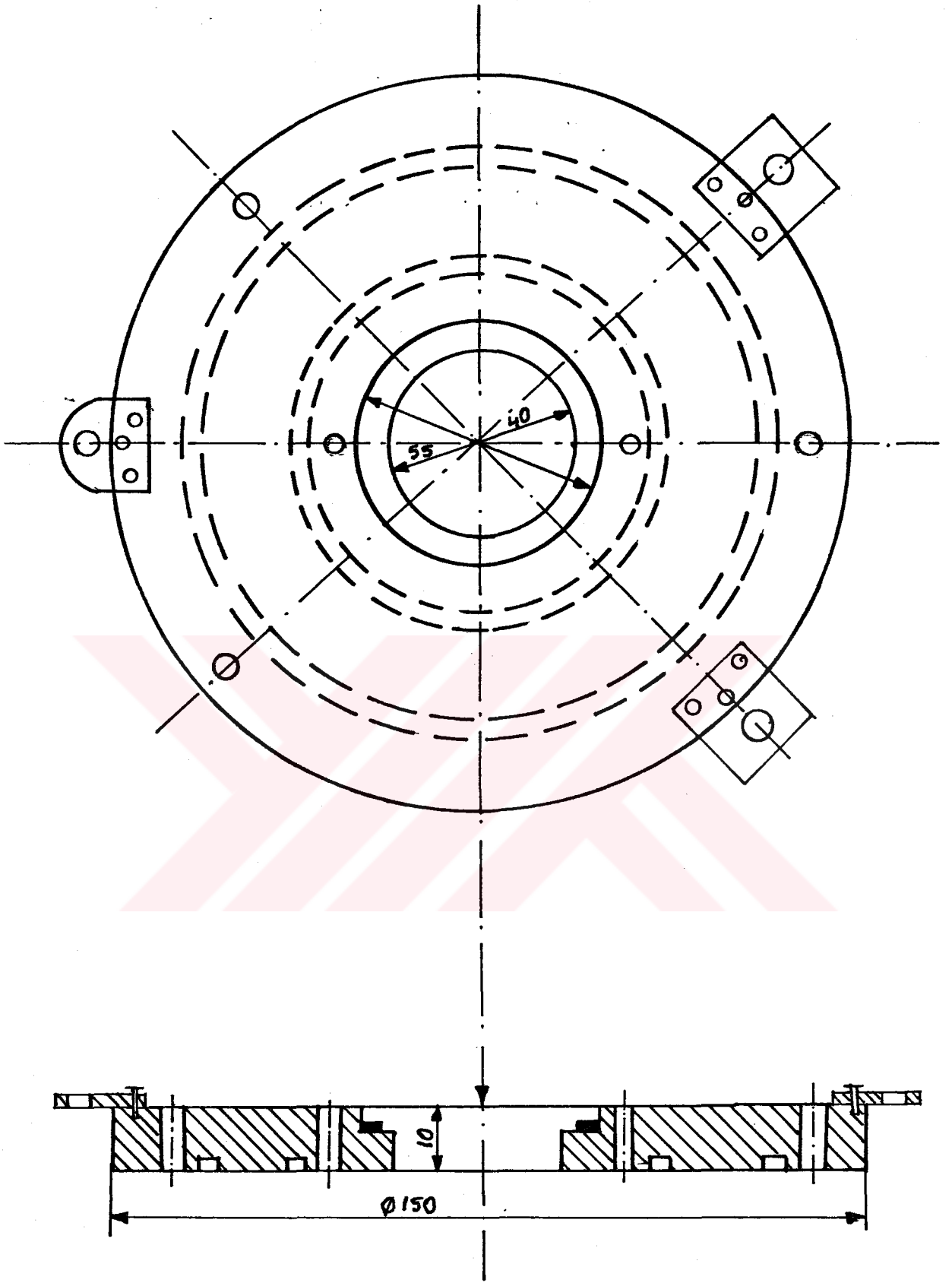
Gizem	M. ilbaş	Terminal elemanı	Resim No : 5.2.
-------	----------	------------------	-----------------



çizen	M. ilbaş	Ayna tutucu ara bağlantı elemanı	Resim No: 5.3.
-------	----------	----------------------------------	----------------



GİZEN	M. İlbaş	Bükülebilir körük	Resim No: 5.4
SINIF NO:			
TARİH			
KONTROL			

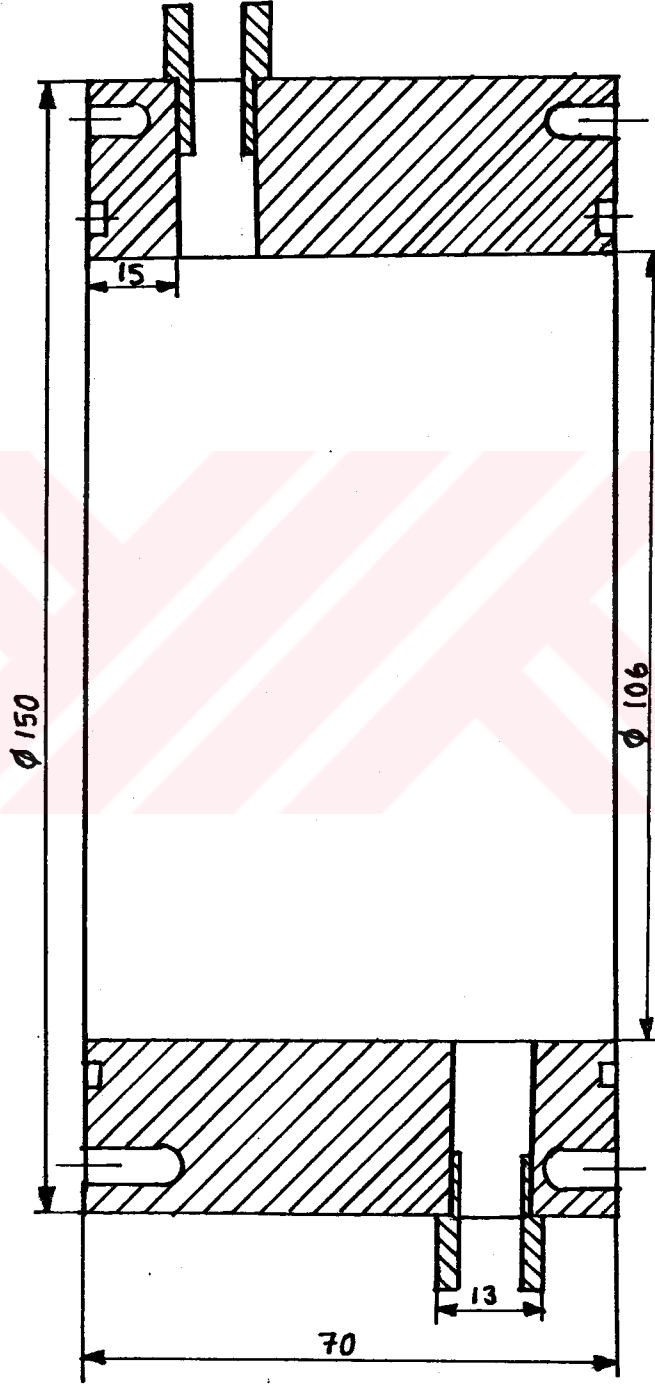


çizen

Milbaş

Ayna tutucu yan yüzeyi

Resim No: 5.5

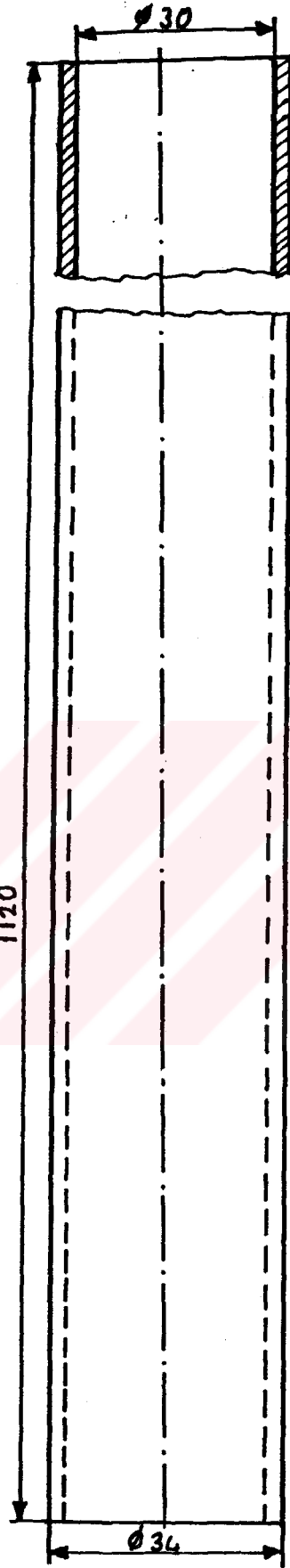


Çizen

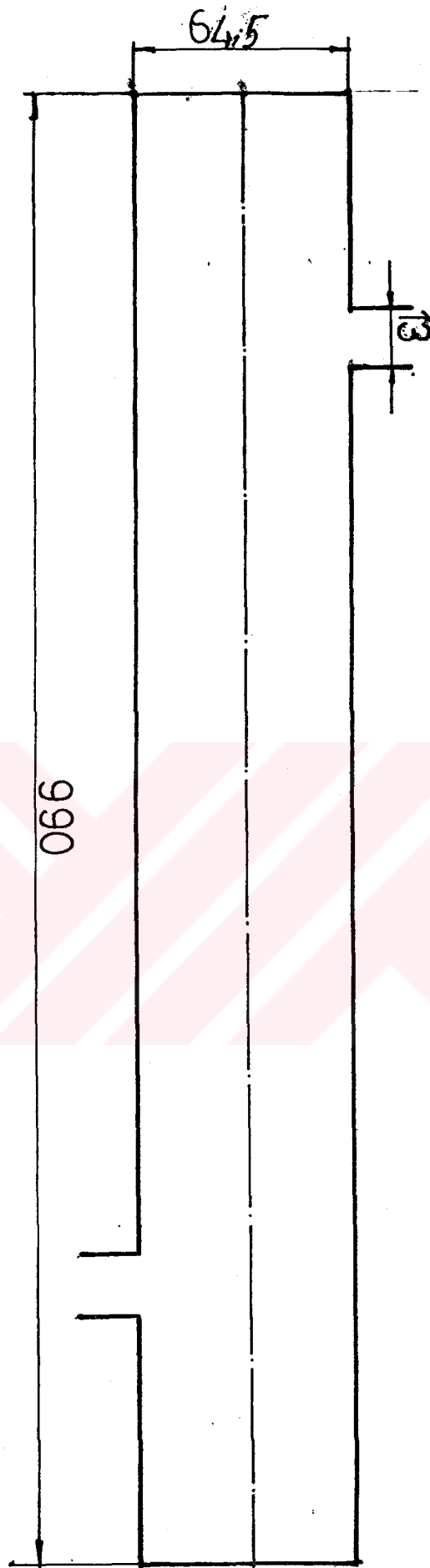
M. İlbaş

Ayna tutucu dış parçası

Resim No: 5.6.



Gizen	M. ilbaş	Deşarj tüpü	Resim No: 5.7.
-------	----------	-------------	----------------



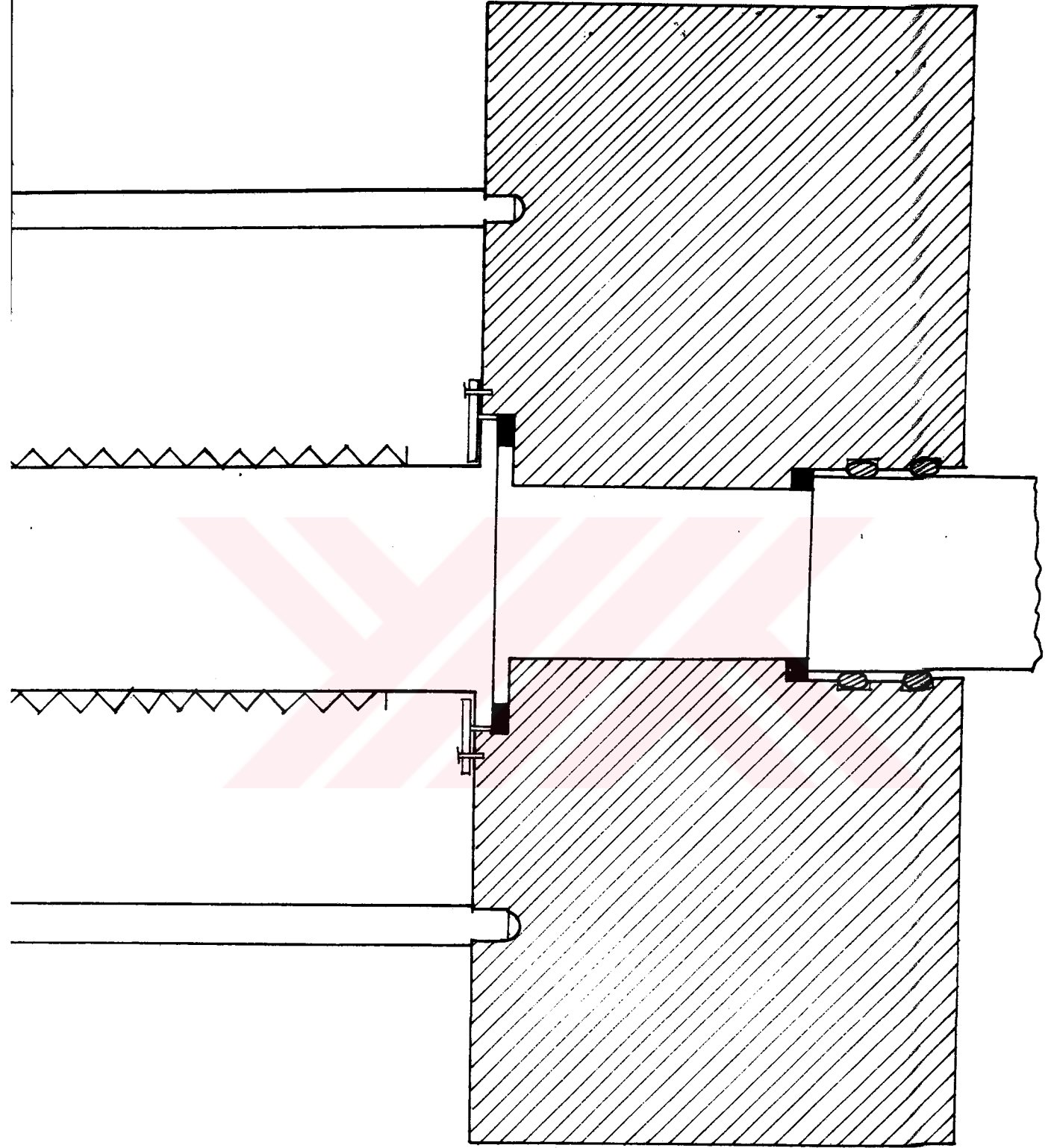
Gizen

M. ilbaş

Deşarj tüpü dış paręası

Resim No: 5.8.





çizen	M.ilbaş	Ayna tutucu ve bağlantı mekanizması	Resim NO: 5.9.

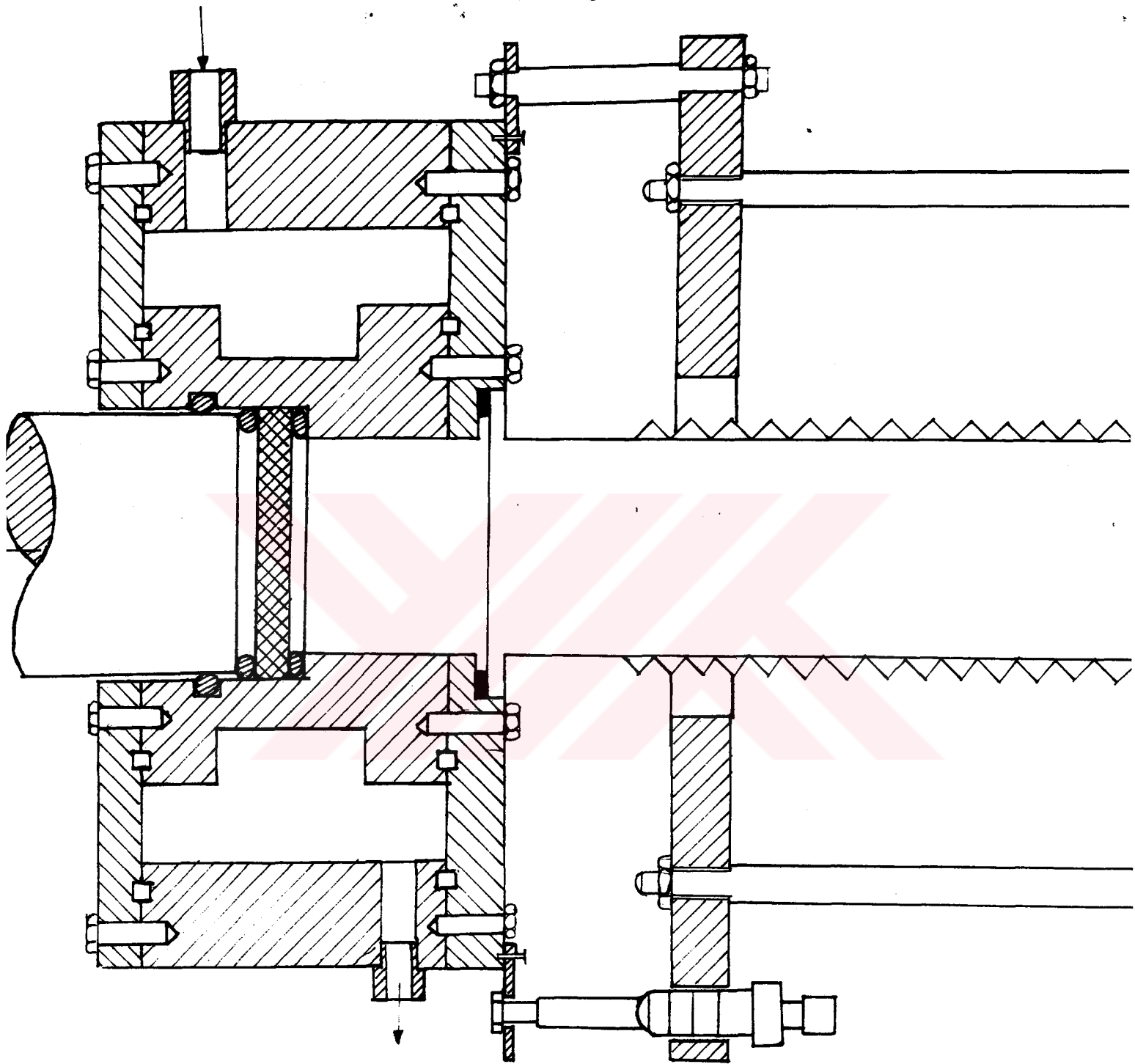
## B Ö L Ü M - 5.

### 5. İRDELEME VE SONUÇLAR

#### 5.1 İRDELEME

CO<sub>2</sub> laser tasarımı günümüzde laserin kullanımı kadar önem arz etmektedir. Çıkış gücü 500 Watt civarında olan bir CW CO<sub>2</sub> laserinin tasarımı boşalma akımı ve gaz karışım parametrelerine bağlı olarak daha önce yapılmıştı [7].

Bu tasarım sonucunda görülmüştürki gaz karışımlarının kısmi basınç oranları çıkış gücü üzerinde oldukça etkilidir. Özellikle Helyum ve Nitrojen, laser çıkış verimi üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. He'nin artmasıyla plasma ortamında bulunan elektron ömürlerinde bir artma görülmüştür. Bunun sonucu olarak zorlamalı ışımaya azalmış ve laser çıkış gücünün maksimum değerine ulaşma zamanında artmıştır.



$N_2$  miktarının artması durumunda laser üst enerji seviyesindeki molekül sayısının artma oranı, oran sabitinin azalması ve taban seviyedeki molekül sayılarının çift katlı çoğalma etkisi yüzünden azalmaktadır. Bu ise rezonant enerji transferini azaltmaktadır. Nitrojenin artırılmasının en önemli etkisi  $CO_2$  kısmi basıncında bir azalmaya neden olmasıdır. Bunun sonucunda  $CO_2$  molekül sayısı azalmakta ve çok hızlı bir şekilde ters çoğalma meydana gelmektedir. Böylece çıkış darbesindeki gecikme zamanı azalmaktadır. Ancak ortalama laser gücü'nde bir azalış gösterir.

Tasarlanan CW  $CO_2$  laserinin mekanik aksamalarının tasarım ve imalatını gerçekleştirmek amacıyla Autocad bilgisayar programı kullanılmış ve daha sonra ise detay resimleri aydıngere çizilmiştir. Tasarım yapılan laser parçalarının analizini sırasıyla incelememiz mümkündür.

#### 1. Laser elektrodu :

Laser elektrodu saf Aliminyum malzemedden yapılmıştır. Bunun başlıca nedenlerini şu şekilde sıralamamız mümkündür ;

- a). Aliminyum 10.6  $\mu m$  dalga boyunda iyi bir yansıtıcıdır.
- b). Aliminyum oksitlendiğinde tek tabaka Aliminyum oksit teşekkül eder. Bu ise plasma ortamı ile güç kaynağı arasında sonsuz küçüklükte bir direncin gelmesini temin eder. Böylece elektrod kayıpları en az olur.
- c). Elektrik boşalması sırasında üretilen ısı enerjisi, Aliminyum ısı yalıtım katsayısının büyük olmasından dolayı çevreye çok kısa bir zaman içerisinde iletilebilir. Bu ise

genleşme nedeniyle meydana gelen mekanik problemleri en aza indirir. Bununla birlikte güç kaynağından gelen elektrik akımının elektroda olan bağlantısı bakır bir çubukla yapılmıştır. Bunun temel nedeni elektrodların soğutulması sırasında soğutma suyunun zamanla meydana getireceği direnci yok etmek içindir.

Laser plazması elde etmek üzere DC. gerilimin boşaltılması sırasında verilen enerjinin % 30'lar civarındaki kısmı ısı enerjisine dönüşür. Bu nedenle elektrodlarda bir sıcaklık artışı gözlenir. Bu sıcaklık artışı zamanla yüksek değerlere ulaşır ve laser çıkış gücünün azalmasına (plazma sıcaklığının artması nedeniyle) neden olur. Böylece elektrodların soğutulması kaçınılmazdır. Bu amaca uygun olarak elektrodlar üç temel kısımdan meydana gelmiştir (şekil-5.1).

Birinci kısım (makara kısmı) plazma ile elektrodun temas yüzeyini sağlayan kısımdır. Isı taşınımını artırmak amacıyla makara şeklinde tasarlanmıştır(şekil-5.1.1).

İkinci kısım soğutma suyu sızdırmazlığını temin eden dairesel yan yüzeylerdir(şekil-5.1.2). Üçüncü kısım ise soğutma suyunun giriş ve çıkışını ihtiva eden kısımdır(şekil-5.1.3).

Tasarım sırasında Aliminyumun genleşme miktarı esas alınmış ve cam tüpün genleşme sırasında elektrod tarafından mekanik bir zorlamaya maruz kalması önlenmiştir. Bununla birlikte elektrodlara takılan cam tüplerin merkezlenebilmesi ve vakum sırasında sızıntıyı en aza düşürebilmek için merkezleme ve

sızdırmazlık elemanları olarak O-ring'ler seçilmiştir. Elektrodların soğutma işlemi sırasında soğutma suyu kaçaklarını önleyebilmek için ayrıca elektrod elemanlarının mekanik birleşim yerlerinde O-ring'ler kullanılmıştır.

## 2. Ayarlanabilir ayna tutucuları :

Bu elemanlar Aliminyum malzemeden imal edilmiş olup, ayna yuvası ayarlanabilir bir yapıda olacak şekilde tasarlanmıştır. Mekanik parçalar aşağıdaki şekilde sıralanabilir ;

- a). Terminal
- b). Ara bağlantı elemanları
- c). Bükülebilir körük (below)
- d). Ayna tutucu ve mikrometreler

Terminal elemanı : Aliminyum malzemeden yapılmış olup, bükülebilir körük bağlantısını ve gaz girişi veya çıkışını ihtiva eder (şekil-5.2). Bununla birlikte cam boru girişide yapılmıştır. Cam borunun merkezlenmesi ve vakum şartlarında sızdırmazlık temini için o-ring'ler kullanılmıştır.

Ara bağlantı elemanları : Bu eleman Aliminyum dairesel kesitli plaka ve dört çelik çubuktan meydana gelmiştir (şekil-5.3). Temel görevi ayarlanabilir aynanın monte edildiği mekanizmayı taşımaktır.

Bükülebilir körük(Below) : Maksimum bükülebilme çapı 0.8 m ve maksimum daralabilme boyu 0.22 m dir. Ayarlanabilir aynanın monte edildiği kısım x,y ve z doğrultularında hareketi

sırasında mekanik esneklik kazandırma görevi yapar(şekil-5.4).

Ayna tutucu ve mikrometreler : Ayarlanabilir aynanın monte edildiği bu eleman üç parçadan meydana gelmiş olup, Alüminyum'dan imal edilmiştir. Aynayı taşıyan makara görünümündeki kısım, dairesel kesitli yan yüzeyler, su giriş ve çıkışı için dış yüzey ve iki adet mikrometreden meydana gelmiştir(şekil-5.5,şekil-5.6). Vakum sırasında aynanın sızdırmazlığını temin etmek için o-ring'ler kullanılmıştır. Bununla birlikte mekanik birleşim yerlerinde su sızdırmazlığını sağlamak üzere o-ringler de kullanılmıştır.

### 3. Cam tüpler :

İçerisinde laser plazmasının üretildiği iç içe geçmiş ve son uçları su giriş ve çıkışına uygun olmak üzere kapatılmıştır. Her iki cam tüp arasına plazmanın ürettiği ısı enerjisi soğutma suyu aracılığıyla alınmaktadır. Cam tüpler sıcaklığa dayanıklı pyrex cam'dan imal edilmiş olup, elektrod bağlantı uçları taşlanmıştır(şekil-5.7,şekil-5.8)

### 4. Rezonatörler :

Optik yükseltici olarak düz aynalar seçilmiştir. Plasma ortamı, kalınlık / uzunluk, oranı esas alınarak optimum bir laser çıkış gücü için ZnSe kaplı olmak üzere arka ayna için %99.9 yansıtma ve ön ayna(çıkış aynası) için %30 iletim, %70 yansıtma kabiliyetine sahip aynalar seçilmiştir.

## 5.2 SONUÇLAR

Bu çalışmada çıkan sonuçlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir :

1. Laser tasarımında çıkış gücünün optimizasyonu için  $CO_2$ ,  $N_2$  ve He gazlarının kısmi basınç oranları çok önemli rol oynamaktadır. Bununla birlikte laser ışınının üretildiği ortam olan plazmanın soğutulmasında şarttır. Bunun tersi durumunda laser çıkış gücü azalmaktadır.

2. Mekanik aksamlar özellikle elektrod ve ayna bağlantı elemanları Aliminyum malzemeden seçilmiştir. Elektrodlar ve ayarlanabilir ayna mekanizması saf su ile soğutulacak şekilde tasarlanmıştır.

3. Optimum laser çıkış gücü için , plazma kalınlığı / plazma uzunluğu, oranı esas alınarak rezonatör olarak kullanılan ZnSe kaplı aynalara ait yansıtma katsayıları; arka ayna için %99.9 yansıtma ve ön ayna (çıkış aynası) için %30 iletme, %70 yansıtma olacak şekilde seçilmiştir.

4. Plazma ortamının elde edilmesi için sıcaklığa dayanıklı iç içe geçmiş ve soğutulabilme özelliği olan pyrex cam tüpler seçilmiştir.



## KAYNAKLAR

1. " Bilim ve teknik " Dergisi , Agustos sayisi , 1977
2. Ozkan , T. ,"Mikrodalga" ,Devlet kitapları , M.E.B. yayınları 1983. Ist. S. 437-452
3. Köseler , B. "Laserler ve kaynak uygulaması" Yüksek lisans tezi 1990 , Eskişehir.
4. W.R. Bennett , Jr. , in "Chemical Lasers", (Appl. Opt. Suppl.2), 1965, .p.3
5. C.K.N. Patel , W.L. Faust, R.A. Mc Farlane, Bull. Amer. Phys.soc.9, 500 (1964)
6. Patel , C.K.N. Tien, P.K. , and Fee, J.H.Mc, Appl. Phys. Letters, 7, 290, 1965
7. Danışman K.  
"CO<sub>2</sub> Laser Dizaynında Elektronik Yapının İncelenmesi"  
Doktora tezi, Erciyes Univ. Kayseri, 1989
8. Francis, P.G. , "Laser in Industry"  
Proceeding of the IEEE, vol.57, No:2, 1969
9. Yılbaş, B.S. , "Parameters Affecing the laser Hole Drilling", Instituion of Mechanical Engineering to be Published.
10. Yousif, E. , "Effec of Electrophilic Gases at Subatmospheric Pres. on Laser Ind.", Ph.D Thesis Mech. Eng. Dep. University of Birmingham , 1981
11. Yılbaş, B.S. "Heat Transfer Mechanisms Initiating the Laser Drilling of Metals", Ph.D. Thesis Mech. Eng. Dept., University of Birmingham , 1982

12. Yılbaş B.S., "Laserin Endüstriyel uygulamaları",  
Yüksek lisans,Ders notları , Kayseri, 1989
13. Babacan , A. Yusuf  
"Laser ve Endüstride Kullanım Alanları"  
Uludag,Unv.,Bursa, Eylül , 1986
14. Rigrod , W.W. , Journal of App. Phys.,34,9, 1963
15. Barbour , A.E. , "A Current pulsed CO<sub>2</sub> laser for use in  
machining operations", PhD Thesis,  
Birmingham University, 1976
16. Aydınlı , A. ,Doç.Dr. , Alaçakır, A., Kuşcu, D.,Pervan,  
O., Tan, E., CO<sub>2</sub>Laser tasarımı çalışmaları ,1989 , Ankara
17. Bayrakçı , H.E. , "Elektromagnetik Dalga Teorisi"  
I.T.U., İstanbul , 1976
18. W.R. Bennett , Jr. , in "Optical Masers",1962
19. Legay , F. and Legay-Sommaire , N. ,Comp. Rend.,  
260 , 3339 , 1964