

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTROMANYETİK SPEKTRUMUN X-IŞINI VE GÖRÜNÜR
BÖLGESİNDE, ORTAMLARDAN YAYILAN FOTONLARI
KAYDETMEK İÇİN SPEKTROMETRE VE GÖRÜNTÜLEME
SİSTEMLERİNİN TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS

Fizikçi Belgin GENÇ

Anabilim Dalı: Fizik

Danışman: Prof. Dr. Arif DEMİR

KOCAELİ, 2006

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTROMANYETİK SPEKTRUMUN X-IŞINI VE GÖRÜNÜR
BÖLGESİNDE, ORTAMLARDAN YAYILAN FOTONLARI
KAYDETMEK İÇİN SPEKTROMETRE VE GÖRÜNTÜLEME
SİSTEMLERİNİN TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizikçi Belgin GENÇ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 12 Aralık 2006

Tezin Savunulduğu Tarih: 12 Ocak 2007

Tez Danışmanı

Üye

Üye

Prof.Dr.Arif DEMİR Yrd.Doç.Dr. Elif KAÇAR Yrd.Doç.Dr.Şerafettin YALTKAYA


(.....)


(.....)


(.....)

KOCAELİ, 2006

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamın hazırlanmasındaki temellerin oluşmasında büyük pay sahibi olan, sabır ve titizlikle verdiği tüm emekler, geleceğe yönelik kazandırdığı bilimsel bakış açısı ve çalışma grubuna alarak sağladığı tüm imkanlar için sayın hocam Arif DEMİR'e şükranlarımı sunuyorum.

Tez çalışmam sırasında yardımlarını esirgemeyen Kocaeli Üniversitesi öğretim üyelerinden sayın hocam Elif KAÇAR'a, Necla KENAR'a, Timur CANEL'e ve LATARUM'daki çalışma arkadaşlarım Erhan AKMAN, Levent CANDAN'a katkılarından, Measure MUTLU ve Pınar DEMİR'e desteklerinden dolayı teşekkür ediyorum.

140T158 Numaralı Genç Araştırmacılar Kariyer Geliştirme Projesi kapsamındaki finansal desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a, projede yer alarak disiplinler arası işbirliğinin gelişmesini sağlayan ve daha kapsamlı bir çalışmanın oluşmasında katkıları bulunan Sarp ERTÜRK, Tamer SINMAZÇELİK, Oğuzhan URHAN ve Halim Cem KEFELİ'ye teşekkürler.

En gerçek hayalim Özgür Öztoprak'a tüm kalbini açarak yaşattığı aşkla her koşulda umutlu olmamı sağladığı ve ideallerimin peşinden gitmemde beni sonsuza dek destekleyeceğini hissettirdiği için teşekkür ediyorum.

Yüksek lisans çalışmalarım süresince beni cesaretlendiren, anne ve babam Cemile ve Erdoğan GENÇ'e gösterdikleri destek ve sabır için minnettarım, paylaşımın en güzelini göstererek sevgilerini paylaşan, her daim mutlu olmam için çaba sarf eden Esin ve Selin GENÇ'e şanslı bir abla olduğumu hissettirdikleri için teşekkür eder, adı geçen herkese ve aileme saygılarımı sunarım.

Tezimi, çalışmalarımı yaparken son nefesinde yanında bulunamadığım ilk arkadaşım; dedem Nazım GENÇ'e ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	vii
ÖZET.....	ix
İNGİLİZCE ÖZET	x
1. GİRİŞ	1
2. ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM.....	2
2.1. Elektromanyetik Spektrumun Özellikleri	5
2.1.1. Radyo dalgaları	6
2.1.2. Mikrodalga	6
2.1.3. Kızılötesi	6
2.1.4. Morötesi	6
2.1.5. Gama ışınları	7
2.2. X-ışınları	8
2.2.1. X-ışınlarının üretilmesi	9
2.2.1.1. X-ışınlarının oluşum mekanizması	9
2.2.1.2. X-ışınlarının üretildiği ortamlar	10
2.2.2. X-ışını spektroskopisi.....	13
2.2.3. Lazer ile üretilen plazma ortamlarından yayılan x-ışınları	14
2.3. Görünür Bölge.Yayılan Işınlar.....	16
2.3.1. Lazer malzeme işleme sırasında oluşan plazma ortamlarından yayılan ışınlar	17
3. SPEKTROSKOPİK ÖLÇÜM ALETLERİ.....	18
3.1. Spektrometreler	18
3.1.1. X-ışını spektrometreler	18
3.1.2. Görünür bölge spektrometresi.....	25
3.2. Görüntüleme Sistemleri	27
3.2.1. Pinhole (iğne deliği) kamera	27
3.2.2. Dik eksenli slit (cross slit camera) kamera	30
3.2.3. Yük etkileşimli kamera	31
3.2.4. Filtre (window)	33
3.4. Sonuç.....	35
4. ELEKTROMANYETİK SPEKTRUMUN X-IŞINI VE GÖRÜNÜR BÖLGESİNDE, ORTAMLARDAN YAYILAN FOTONLARI KAYDETMEK İÇİN SPEKTROMETRE VE GÖRÜNTÜLEME SİSTEMİ TASARIMLARI.....	36
4.1. Kristal Spektrometre Tasarım ve Yapımı	36
4.1.1. Kristal seçimi	37
4.1.2. Spektrometre geometrisi	40
4.1.3. Spektrometredeki detektör hareketi	41
4.1.4. Kristal spektrometrenin yapımı.....	42
4.2. Görünür Bölge Spektrometresi Tasarım ve Yapımı.....	45

4.2.1. Czerny-Turner dizilimi tasarımı.....	46
4.2.2. Görünür bölge spektrometresinin yapımı.....	47
4.3. Görüntüleme Sistemlerinin Tasarım ve Yapımı	51
4.3.1. CCD kamera seçimi	51
4.3.2. Tasarlanan spektroskopik ölçüm aletlerinin yapım ve aksamı	52
4.4. Sonuç	54
5. YAPILAN SPEKTROMETRE VE GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİ KULLANILARAK YAPILAN DENEYSSEL ÇALIŞMALAR.....	55
5.1 Görünür Bölge Spektrometresi	55
5.1.1 Görünür bölge spektrometresinin kalibrasyonu.....	56
5.1.2 Lazer ile kaynak sırasında oluşan plazmadan yayılan görünür bölge spektrumunun kaydedilmesi.....	58
5.2 X-Işını Kristal Spektrometre	60
5.2.1 Kristal spektrometrenin kalibrasyonu	61
5.2.2 Kristal spektrometre için tasarlanan deney sistemi ve tasarım parametreleri ...	62
5.2.2.1 Dalga boyu seçimi için kullanılan çarpışma ışımalı modelleme sonuçları ...	62
5.2.3 Kristal spektrometre için tasarlanan deneysel sistem.....	65
5.3 Sonuç	66
6. SONUÇ	67
KAYNAKLAR	69
KİŞİSEL YAYINLAR	81
ÖZGEÇMİŞ	82

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrumun yaklaşık dalga boyu	3
Şekil 2.2. X-ışını oluşumu	9
Şekil 2.3. Plazma alanlarının $n_e-k_B T_e$ diyagramı	12
Şekil 2.4. Lazer ile üretilen plazmada oluşan bölgeler	14
Şekil 3.1. Kristal düzlemlerinden x-ışını kırınımı	20
Şekil 3.2. X-ışını kristal spektrometrenin şematik gösterimi	21
Şekil 3.3. (a) Yansıtıcı ızgara şematik gösterimi (b) Geçirici ızgara şematik gösterimi (c) Optik yol farkı şematik gösterimi	24
Şekil 3.4 Lazer ile kaynak işlemi sırasında yayınan çizgileri kaydeden Czerny-Turner dizilimli spektrometrenin şematik gösterimi	26
Şekil 3.5. Pinhole kamera geometrisinin gösterimi	28
Şekil 4.1. Bragg açılarının dalga boyuna göre değişimi	38
Şekil 4.2. Kristal spektrometrede kullanılan kristaller	40
Şekil 4.3. Kristal ve CCD kameranın $\theta-2\theta$ bağlantısı	42
Şekil 4.4. Kristal spektrometrenin mekanik aksamının solidwork ile gerçekleştirilen tasarımı	43
Şekil 4.5. Kristal spektrometrenin parçaları ve montajı tamamlanmış görünümü	43
Şekil 4.6. Czerny-Turner diziliminin Optikwerks programı ile tasarımı	46
Şekil 4.7. Tasarımı yapılan spektrometrenin solidwork çiziminin görünümü	47
Şekil 4.8. Görünür bölge spektrometresinin değişik açılardan görünüşü	48
Şekil 4.9. Solidwork üç boyutlu çizim programında çizilen CCD yatağının ve silindirik uzantı tüpünün tasarımı	53
Şekil 4.10. Solidwork üç boyutlu çizim programında pinhole kameranın mekanik aksamının tasarımı	53
Şekil 4.11. (a) Pinhole kamera sistemi parçaları (b) Pinhole kamera sistemi parçaları (c) Pinhole kamera sistemi birleşimi (d) Pinhole kameranın önden görünüşü (e) Pinhole kameranın arkadan görünüşü (f) Pinhole kamera	54
Şekil 4.12. Dik eksenli slit kameranın önden ve yandan görünümü	55
Şekil 5.1. Spektrometrede kullanılan Andor Dx420 CCD'nin gürültü eğrisi	56
Şekil 5.2. Spektrometrede kullanılan Andor Dx420 CCD'nin kuantum verimliliği	56
Şekil 5.3. Spektrometrede kullanılan ızgaranın yansıtma verimi	57
Şekil 5.4. Görünür bölge spektrometresi ile kaydedilen civa lambası spektrumu	58
Şekil 5.5. Görünür bölge spektrometresi kullanılarak Mg plakanın lazer ile kaynak işlemi sırasında kaydedilmiş spektrumu	59
Şekil 5.6. Görünür bölge spektrometresi kullanılarak Ti plakanın lazer ile kaynak işlemi sırasında kaydedilmiş spektrumu	59
Şekil 5.7. Görünür bölge spektrometresi ve CCD sisteminin spektral çözünürlüğü	60
Şekil 5.8. Kalınlığı 10 μm ve 25 μm olan Be filtrenin geçirgenlik yüzdeleri	61
Şekil 5.9. Kalınlığı 0.5 μm ve 1 μm olan Al filtrenin geçirgenlik yüzdeleri	61

Şekil 5.10. NeF kodu kullanılarak hesaplanan Ne-benzeri ve F-benzeri Ti rezonans çizgi şiddetleri	62
Şekil 5.11. Kullanılan kristalin açısal dispersiyon verimliliği	63
Şekil 5.12. Kristalin döndürülmesine bağlı değişen CCD üstündeki dalga boyu aralığı	63
Şekil 5.13. CCD kameranın dikey ekseninde dalga boyuna göre yer değiştirmesi	64
Şekil 5.14. Vakum hücresine yerleştirilen pinhole kamera ve kristal spektrometrenin solidwork ile çizimi.....	65
Şekil 5.15. Vakum hücresine yerleştirilen pinhole kamera ve kristal spektrometre..	66

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerinin değerleri.....	4
Tablo 3.1. Cihaz parametrelerini etkileyen faktörler	25
Tablo 4.1. Kristaller ve taradıkları dalga boyu aralıkları	37
Tablo 4.2. Uygulama alanının içerdiği elektromanyetik bölgede kullanılma planlanan kristaller.....	39
Tablo 4.3. Tasarlanan görünür bölge spektrometresi parametreleri	48

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

α	: Gelen ışının ızgara normali ile yaptığı açı.
Å	: Angstrom.
β	: Kırılan ışının ızgara normali ile yaptığı açı.
c	: Vakumdaki ışık hızı.
d	: Kırınım ağındaki çizgi frekansı.
$\frac{1}{d}$: Izgaranın çizgileri arasındaki mesafe.
D	: Aydınlanan ızgara genişliği.
$\frac{d\theta}{d\lambda}$: Spektrometrenin açıl dispersiyonu.
$\frac{dx}{d\lambda}$: Lineer dispersiyon.
$\frac{d\lambda}{dx}$: Ters lineer dispersiyon (düzlem faktörü).
δ_K	: Kaynak (plazma) boyutu.
$\delta\lambda_K$: Kaynak boyutundan dolayı artan çizgi genişliği.
$\delta\lambda_0$: Kristal spektrometrenin spektral çözünürlüğü.
$\Delta\theta$: Sallanma eğrisi.
$\delta\theta_C$: Kristalin sallanma açısı.
δ_{piksel}	: CCD kamera pikselinin boyutu.
Δx_d	: Hava deseninin enine boyutu.
Δx_g	: Nokta kaynak görüntü boyutunun geometrik sınırı
Δx_{plazma}	: Plazmada çözülebilen en küçük özelliğin boyutu.
e	: Elektron yükü.
ϵ_0	: Ortamın di-elektrik geçirgenliği.
E	: Enerji.
Ev	: Elektronvolt.
f	: Kamera merceğinin odak uzunluğu.
ϕ	: Pinhole çapı.
h	: Planck sabiti.
Γ	: Başlangıç durumunda üst seviyenin elektron yoğunluğu.
I_0	: Başlangıçtaki şiddet büyüklüğü.
I	: Demetteki şiddet kaybının büyüklüğü.
K	: Kelvin.
k_B	: Boltzman sabiti.
L	: Kaynak ve CCD arasındaki toplam mesafe.
Λ	: Dalga boyu.
M	: Büyütme oranı.
m_e	: Elektronun kütlesi.
μ	: Malzemenin atom numarası.
N	: Kırınım derecesi.
n_c	: Kritik yoğunluk.

n_e	: Elektron yoğunluğu.
N_m	: Namometre.
N_0	: Gelen foton sayısı.
N_1	: Boşalan (depleted) foton sayısı.
N_{piksel}	: Piksel çözünürlüğü.
q	: Pinhole kameradan görüntüye olan mesafe.
p	: Pinhole kameradan cisme olan mesafe.
R_p	: Pinhole kameranın uzaysal çözünürlüğü.
T	: Hava deseninin enine boyutundaki mesafe.
T_e	: Elektron sıcaklığı.
θ	: Gelen ışının kristal ile yaptığı açı.
θ_0	: Detektör düzlemine kristalin görüş açısı.
ν	: Frekans.
W_p	: Piksel genişliği
ω_0	: En uygun slit genişliği.
ω_p	: Plazma frekansı.
ω_L	: Lazer frekansı.
ω'	: Spektrometrenin çıkış sliti genişliği.
x	: Filtrenin kalınlığı.
CCD	: Yük etkileşimli cihaz
CTLD	: Cihazın ters lineer dispersiyonu.
ESR	: Sistemin en iyi spektral çözünürlüğü.
OR	: Optik çözünürlük.
QE	: Kuantum verimliliği.
TLD	: Görünür bölge spektrometresinin ters lineer dispersiyonu.

ELEKTROMANYETİK SPEKTRUMUN X-IŞINI VE GÖRÜNÜR BÖLGESİNDE, ORTAMLARDAN YAYILAN FOTONLARI KAYDETMEK İÇİN SPEKTROMETRE VE GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİNİN TASARIMI

Belgin GENÇ

Anahtar kelimeler: Spektrometre, elektromanyetik spektrum, lazer ile üretilen plazma.

Özet: Spektrometreler ile çevremizde bulunan katı, sıvı ve gaz halindeki maddelerin, uzayda bulunan ve laboratuvar ortamında oluşturulan maddenin dördüncü hali olarak da adlandırılan plazma ortamlarının özellikleri geniş bir şekilde araştırılmaktadır. Spektrometrelerin kullanıldığı birçok değişik deneysel çalışmada, spektroskopik ölçüm yöntemleri ile ışınların yayıldığı ortam analiz edilerek ortam özellikleri hakkında bilgiler elde edilebilir. X-ışınları lazer ile üretilen plazma ortamları kullanılarak üretilmektedir. Kristal spektrometreler plazma ortamlarından yayınımları uzaysal ve spektral olarak çözmek için kullanılır. Görünür bölge spektrometresi ile elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde yer alan dalga boylarına sahip yayınımların özellikleri incelenmektedir.

Bu tezde, elektromanyetik spektrumun x-ışını ve görünür bölgesindeki dalga boylarına sahip ışınların kayıt ve analiz edilmesine olanak sağlayacak spektrometreler, küçük delikli (pinhole) ve dik eksenli yarık (cross slit) kameraların tasarımları ve yapım aşamaları sunulmuştur. Yapılan spektrometrelerin ve görüntüleme sistemlerinin kalibrasyonları verilmiştir. Lazer ile kaynak işlemi sırasında görünür bölge spektrometresi ile kaydedilen spektrumlar verilmiştir.

DESIGN AND PRODUCED OF SPECTROMETERS AND IMAGING SYSTEMS TO RECORD X-RAYS AND VISIBLE SPECTRAL EMISSION

Belgin GENÇ

Key words: Spectrometer, electromagnetic spectrum, laser produced plasma.

Abstract: Spectrometers are used for analyse of solid, liquid, gas and plasma materials. X-rays can be produced using laser produced plasmas. Crystal spectrometers are used to resolve x-rays emitted from plasmas. Visible spectrometers are used to examine visible rays emitted from different media.

In this thesis, spectrometers and imaging systems were designed and produced to record x-rays and visible spectral emission. These are visible spectrometer, x-ray spectrometer, pinhole camera, cross slit camera. Detailed design parameters of these systems and producing stages of these systems were introduced. Calibration of the enhanced spectrometers and imaging systems were made. Recorded spectrum during the laser machining experiments were introduced. Calculated spectrum helping design of spectrum were introduced.

1. GİRİŞ

Çevremizde bulunan; katı, sıvı ve gaz halindeki maddelerin, uzayda bulunan ve laboratuvar ortamında oluşturulan maddenin dördüncü hali olarak adlandırılan plazma ortamlarının özellikleri spektrometrelerle geniş bir şekilde araştırılmaktadır. Bu tez çalışmasında katı sıvı, gaz ve plazma ortamlarından yayılan elektromanyetik spektrumun x-ışını ve görünür bölgesinde dalga boylarına sahip ışınların kayıt ve analiz edilmesine olanak sağlayacak spektrometreler, küçük delikli (pinhole) ve dik eksenli yarık (cross slit) kameralar tasarlanıp, gerçekleştirilmiştir.

“Elektromanyetik spektrum” başlığı altında verilen tezin ikinci bölümünde, tezin konusu olan ve yapımı gerçekleştirilen spektrometre ve görüntüleme sistemleri ile kaydedilecek olan ışınlar incelenmiş, bu ışınların oluşumları, hangi ortamlarda ve şartlarda üretildiği hakkında fiziksel bilgiler ile bu alanda yapılan çalışmaları içeren bir literatür bilgisi verilmiştir.

“Spektroskopik ölçüm aletleri” başlığı altında verilen tezin üçüncü bölümünde, elektromanyetik spektrumun görünür ve x-ışını bölgesinden yayılan ışınları kaydetmek için kullanılan spektrometreler ve görüntüleme sistemleri hakkında bilgiler yer almaktadır. Spektrometre ve görüntüleme sistemlerinin tasarımı aşamasında, tasarım yöntemlerinin belirlenmesine ışık tutan bu bölümde, görünür bölge spektrometreleri, ızgara spektrometreler, kristal spektrometreler ile ilgili olarak farklı tasarımlar hakkında bir literatür bilgisi, küçük delikli (pinhole) kameralar, CCD kameralar, dik eksenli yarık (cross slit) kameraların özellikleri ve verimlilikleri hakkında bir literatür bilgisi bulunmaktadır.

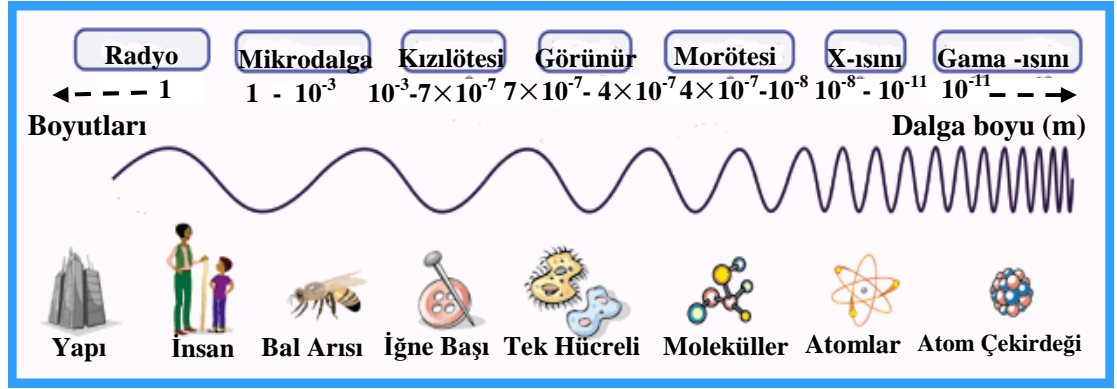
X-ışını ve görünür bölge spektrometrelerinin tasarımlarının yer aldığı, tezin dördüncü bölümünde ise, tasarım parametreleri verilmiştir. Tasarımı verilen spektrometre ve görüntüleme sistemlerinin yapım aşamaları da bu bölümde yer almaktadır. Kristal spektrometre; dalga boyu aralığı, spektral çözünürlük, görüntü

parlaklığı, çözünürlük gücü, lineer ve açısal dispersiyon göz önüne alınarak spektrometre bileşenleri belirlendi ve spektrometre geometrisi tasarlandı. Czerny-Turner dizilimine uygun, görünür bölge spektrometresi Optikwerks programı kullanılarak tasarlandı.

Tezin beşinci bölümünde, yapılan spektrometrelerin ve görüntüleme sistemlerinin kalibrasyonları verilmiştir. Lazer ile kaynak işlemi sırasında görünür bölge spektrometresi ile kaydedilen spektrumlar ve x-ışını spektrometrenin tasarlanmasında önemli rol oynayan çarpışmalı ışımali NeF kodu ile yapılan spektrum simülasyonları verilmiştir. Bu spektrometrelerin kullanıldığı bir çok değişik deneysel çalışmada, spektroskopik ölçüm yöntemleri ile ışınların yayıldığı ortam analiz edilerek ortam özellikleri hakkında bilgiler elde edilebilir.

2. ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM

Elektromanyetik dalga elektrik ve manyetik alanların enine hareketidir [1,2]. Işık ışınlarının elektromanyetik dalga yapısı J. C. Maxwell tarafından keşfedildi [3], daha sonra elektromanyetik dalganın diğer tipleri keşfedildi. Elektromanyetik dalgaların çok geniş bir dalga boyu aralığında olduğu, daha sonra yapılan elektromanyetik dalga keşifleri ile daha da iyi anlaşıldı. Elektromanyetik spektrum olarak adlandırılan bu geniş dalga boyu aralığı Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1: Elektromanyetik spektrumun yaklaşık dalga boyu ve boyutları [4].

Gözle görülebilir olması nedeniyle ilk olarak fark edilen ve özellikleri hakkında bilgi sahibi olunan 400-700 nm dalga boyuna sahip bölge, elektromanyetik spektrumun dalga boyu aralığının yalnızca çok küçük bir parçasıdır. Spektrumu gözlemleyen ilk kişi Issac Newton’dur [5,6]. Güneş ışığını öncelikle küçük bir slit (yarık) arasından daha sonra cam bir prizmadan geçirerek ışığın yedi renge ayrılmasını sağlamıştır. Doğal spektruma en güzel örnek ise, ışık ışınlarının atmosferden geçerken havadaki su damlacıkları tarafından kırılarak dalga boylarına ayrılması ile oluşan gökkuşağıdır. Elektromanyetik spektrumun diğer bölgeleri yapılan deneyler sonucunda fark edilmiştir. Göremediğimiz diğer dalga boyları hakkında bilgi elde etmek için aletler geliştirilmiş ve özellikleri araştırılmıştır [7,8]. Farklı spektral bölgelerde farklı deneysel teknikler kullanılmalıdır [8].

“Hem morötesi hem de kızıl ötesinin içine aldığı görünür bölgeyi ele alırsak; $2 \times 10^{-7} - 10^{-6}$ dalga boyu bölgesi iyi tanımlanmalıdır. Örneğin; hava bu bölgenin her yerinde, 300 nm'nin altında ise kuvars (quartz) ve cam geçiricidir. Geniş bir dalga boyu aralığına sahip detektör ve ışık kaynağı kullanılmalıdır. 200 nm'nin altına indiğimizde öncelikle havayı ya da daha hassas değerlendirmek için oksijeni ele alalım, 175 nm'nin altında kuvars (quartz) soğuruma başlar. Vakum morötesi olarak adlandırılan bu bölgede, mercekler ayna ile değiştirilmelidir. Daha kısa dalga boylarında yansıtma azalacağından ayna sayısı azaltılmalıdır. Odaklamayı ve dalga boylarına ayırıştırma aynı zamanda yapan konkav kırınım ağı kullanılabilir. 30 nm'den daha küçük dalga boyu bölgesinde aynanın yansıtması ve ızgaralar sıyırma açısı (grazing; birkaç derece) ile gelen ışınlar kullanılarak geliştirilmiştir, bu sınırın altındaki bölgelerde geçirici materyaller gerekmez, deneysel komplekslik ışık kaynaklarının kompleksliği ve filtresiz kullanılan soğurum hücreleri ile şiddetli bir şekilde artar. Ancak yüksek enerjili fotonların belirlenmesi diğer bölgelerden yayımlanan daha düşük enerjilere nazaran daha kolaydır. Temel seviye (background) problemleri de kızıl ötesi bölge ile karşılaştırıldığında daha düşüktür. Elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerindeki bu değişimlere bağlı olarak, farklı tekniklerin ihtiyaç duyduğu farklı cihaz tasarımları ihtiyacı doğmaktadır [8].”

Elektromanyetik ışının farklı tiplerinin yalnızca dalga boyu ve frekansında farklılık vardır, diğer yönlerdeki tüm özellikleri birbirine benzerdir. Frekansları farklı olduğu için enerjileri de farklılık göstermektedir. Enerjinin frekansa bağlılığı;

$$E = h\nu \quad (2.1)$$

eşitliği ile verilir. Burada E enerjii, h Planck sabiti, ν frekansı ifade etmektedir. Elektromanyetik radyasyonun (ışmanın) değişik tiplerinin dalga boyu, frekans ve enerji değerleri Tablo 2.1'de yer almaktadır.

Tablo 2.1: Elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerinin değerleri [9].

	Dalga boyu (m)	Frekans (Hz)	Enerji (J)
Radyo	$> 1 \times 10^{-1}$	$< 3 \times 10^9$	$< 2 \times 10^{-24}$
Mikrodalga	$1 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-1}$	$3 \times 10^9 - 3 \times 10^{11}$	$2 \times 10^{-24} - 2 \times 10^{-22}$
Kızılötesi	$7 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-3}$	$3 \times 10^{11} - 4 \times 10^{14}$	$2 \times 10^{-22} - 3 \times 10^{-19}$
Görünür	$4 \times 10^{-7} - 7 \times 10^{-7}$	$4 \times 10^{14} - 7.5 \times 10^{14}$	$3 \times 10^{-19} - 5 \times 10^{-19}$
Morötesi	$1 \times 10^{-8} - 4 \times 10^{-7}$	$7.5 \times 10^{14} - 3 \times 10^{16}$	$5 \times 10^{-19} - 2 \times 10^{-17}$
X-ışınları	$1 \times 10^{-11} - 1 \times 10^{-8}$	$3 \times 10^{16} - 3 \times 10^{19}$	$2 \times 10^{-17} - 2 \times 10^{-14}$
γ-ışınları	$< 1 \times 10^{-11}$	$> 3 \times 10^{19}$	$> 2 \times 10^{-14}$

2.1 Elektromanyetik Spektrumun Özellikleri

Elektromanyetik spektrum sahip oldukları dalga boyu uzunluğuna göre radyo dalgası, mikrodalga, kızıl ötesi (uzak kızıl ötesi, orta kızıl ötesi ve yakın kızıl ötesi), görünür bölge, morötesi (yakın morötesi, uzak morötesi ve uç morötesi; x-ışını bölgesine çok yakındır.), x-ışını ve γ -ışını dalgalarından oluşmaktadır (Şekil 2.1). Dalga boyu uzunluğu büyükten küçüğe, frekans değerleri de küçükten büyüğe doğru sıralanmıştır. Bunun nedeni Eşitlik 2.2'deki bağıntı ile açıklanabilir.

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (2.2)$$

ile verilir. Burada λ dalga boyu, c ışık hızını, ν frekansı ifade eder. Işık hızının değeri ($c= 299792458$ m/s) boşlukta (vakumda) sabittir, dolayısı ile frekans değeri arttıkça dalga boyu uzunluğu azalmaktadır.

Elektromanyetik dalganın dalga boyu ile enerjisi arasındaki ilişki;

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.3)$$

ile verilir [10] ve elektromanyetik dalganın dalga boyu küçüldükçe enerjisi artar. Enerjisi büyük olan elektromanyetik dalgalar (γ -ışını ve x-ışını gibi) etkileşim içinde buldukları maddelerde yüksek tahribat meydana getirirler. Elektromanyetik dalganın enerjisi yükseldikçe atom içinde ilerlemesi artar ve atom çekirdeği ile de etkileşime girebilir. Bu sayede atom çekirdeğinin en iç yapısındaki oluşumlar hakkında bilgi sahibi olmak ve maddenin yapısını daha ayrıntılı incelenmek mümkün olmuştur [11].

Elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerindeki sınırlar kesin çizgiler ile belli değildir. Örtüşen dalga boyu aralıklarındaki elektromanyetik ışınımların değişik tiplerinin madde ile etkileşimleri aynıdır. Bu tezde elektromanyetik spektrumun x-ışını ve görünür bölgesindeki ortamlardan yayılan fotonları kaydetmek için spektrometre ve görüntüleme tasarımı yapılmasından dolayı bu bölgelerin özellikleri hakkındaki daha ayrıntılı bilgilere Bölüm 2.2 ve 2.3'de yer verilmiştir.

2.1.1 Radyo Dalgaları

Bir kaç santimetreden altı futbol sahasından daha büyük uzunluğa kadar değişen aralıktaki dalga boylarına sahip olması nedeniyle görünmezdir. Radyolarımız bu dalgaları radyo istasyonlarından alır. Radyo istasyonu, sesi radyo ışığı şeklinde kodlar [12]. Radyomuz düzensiz kodlanmış ışığı işleyerek sese dönüştürür. Radyo dalgaları aynı zamanda yıldızlar ve uzaydaki gazlar tarafından da yayılır, bu yayınımlar sayesinde yıldızların ve bu gazların nelerden meydana geldiği konusunda bilgi sahibi olunur [13].

2.1.2 Mikrodalga

Bir kaç milimetre uzunluğunda dalga boyuna sahip mikrodalga boyutundaki görünmeyen ışık her gün kullanılmaktadır. Mikrodalga fırınlar yemekleri ısıtmak için bu ışığı kullanır. Fırınlarda üretilen mikrodalga, yiyeceklerdeki su moleküllerinin ileri geri sıçramasına neden olur, yiyecekleri ısıtında su moleküllerinin hareketidir [14]. Aynı zamanda telefon uyduları da sesimizi iletmek için bu dalga boylarını kullanır. Sesimiz mikrodalga koduna dönüştürülür ve telefonumuz bu kodun şifresini çözer [15]. Uzayda, mikrodalgalar bizim galaksimiz -Milky Way- ve yakın galaksilerin yapılarını öğrenmek için astronomlar tarafından kullanılır.

2.1.3 Kızılötesi

Kızılötesi ışığın dalga boyu birkaç mikrometre uzunluğa kadar çıkmaktadır. Televizyonun uzaktan kumanda kontrolü kanalları değiştirmek için kızılötesi ışık ışınlarını kullanır [16]. Televizyondaki elektronik, kızılötesi ışın demetine cevap verir. Vücudumuz kızılötesi ışın yayar, fakat bu ışınlar uzaktan kumandada kullanılanlardan farklı şiddette dalga boyundadır.

2.1.4 Morötesi

Dünya atmosferindeki ozon tabakası morötesi ve bu gibi kısa dalga boylu ışınların insan, hayvan ve bitkiler üzerindeki zararlı etkilerinin pek çoğundan korumaya

yardım etmektedir. Güneşin morötesi ışınlarından yalnızca bir kısmı yeryüzüne ulaşmaktadır ve bu ışınlar güneş yanıkları gibi cilt hastalıklarının yanı sıra cilt kanserine neden olmaktadır [17]. Morötesi ışın derimizden geçerek moleküllerle etkileşir ve onları yerinden koparır. Gözümüzde ise katarakta veya damar genişlemesine yol açarak bir çok göz hastalığının oluşmasına neden olur [18]. Yıldızlar ve uzaydaki diğer sıcak nesnelere morötesi ışın yayar [19]. Güneş başlıca doğal morötesi ışın kaynağımızdır. Akkor, floresan, yüksek şiddette deşarj, halojen, antiseptik lambaları ve excimer, nitrojen ve Nd:YAG lazerinin üçüncü harmoniği gibi bazı lazer tipleri de yapay morötesi ışın kaynaklarıdır [20,21,22].

2.1.5 Gama ışınları

Gama ışınları ışığın en yüksek enerjili halidir. Atom çekirdeğinin çapından daha küçük dalga boyuna sahiptirler ve elektromanyetik spektrumdaki en kısa dalga boylu ışınlardır. γ -ışınları Ernest Rutherford tarafından keşfedilmiştir [23]. Radyoaktif maddelerin bozunması ile alfa, beta ve gama gibi farklı yükte parçacıkların yayıldığını ileri sürmüştür. Atom çekirdeğinde oluşan radyoaktivite sonucunda doğal olarak oluşan ışınmalardır. Alfa ve beta gibi parçacık ışınlarından farklı olarak elektrik ve manyetik alandan etkilenmemektedir, çünkü gama ışınları elektrik yüküne sahip değildir [10]. X-ışınları ile bir çok ortak yönü olduğu için gama ışınlarının elektromanyetik radyasyonun yüksek enerjili şekli olduğu düşünülmüş ve 1912'de gama ışınlarının elektromanyetik radyasyonun tüm özelliklerine sahip olduğu gösterilmiştir. Bilim adamları bu dalga boylarının dış uzayda nasıl üretildiğine dair çok az şey bilmektedirler. Doğal ve nükleer güç ünitelerinde yapay olarak yapılan radyoaktif maddeler gama ışınları yayabilir. Bilim adamlarının parçacığın yapısını anlamak için kullandıkları büyük parçacık hızlandırıcıları da ara sıra gama ışını üretebilir [24]. En büyük gama ışını üreticisi evrendir. Büyük miktarda enerji taşıyabilirler, metalleri ve bizim vücudumuzu da içeren somut olan her şeyin içinden geçebilirler.

γ -ışını ve x-ışını gibi yüksek enerjili ışınları ortaya çıkarmak için son derece sıcak nesnelere veya çok yüksek hızlarda parçacık hareketi gerekmektedir [25].

2.2 X-Işınları

Elektromanyetik spektrumun 0.1-100 Å (10^{-11} - 10^{-8} m) dalga boyu aralığında yer alan ışınlar, W. C. Roentgen tarafından bir boşaltım tüpünde katot ışınları ile çalışırken 1895’de tesadüfen keşfedilmiştir [26]. Özellikleri hakkında kesin bilgilere sahip olmadığı için matematikte bilinmeyeni ifade etmekte kullanılan x terimi ile nitelendirilerek, bu ışınlar x-ışınları adını vermiştir. Bu ışınlar Röntgen ışınları da denir. 1895’te keşfedilmesi ile tüm bilim insanları ve toplumlar x-ışınının olağanüstü önemini hep birlikte onayladılar. 1901’de Fizik alanında ilk Nobel Ödülü’nü “Olağanüstü Işınlar” adlı çalışması ile Roentgen aldı, 1914, 1915, 1917 ve 1924 Fizik Nobel Ödülleri de x-ışınları ile yapılan çalışmalara verildi [27]. X-ışınları denince aklımıza tıpta geniş ölçüde kullanılan Röntgen cihazları gelmektedir. Yarım yüzyıl sonra sinklotron radyasyonu gözlenmesi ile x-ışınlarının bilimsel kullanımı kanıtlandı [28].

Monokromatik (tek dalga boyundaki) x-ışınlarının hareketi sırasında, harekete ve birbirlerine dik açılarda bir elektrik alan ve bir manyetik alan oluşur. Elektromanyetik ışınlar, bir enerjiye sahiptir ve bu enerjinin dalga hareketine dik birim alandan akış hızı onun şiddetini verir. Hızlandırılmış bir elektriksel yük enerji yayar ve +/- yöndeki salınımı ile elektromanyetik ışınlar kaynağı oluşturur. Elektromanyetik ışınların bu dalga özelliğini yanı sıra bir de parçacık özelliği vardır [29].

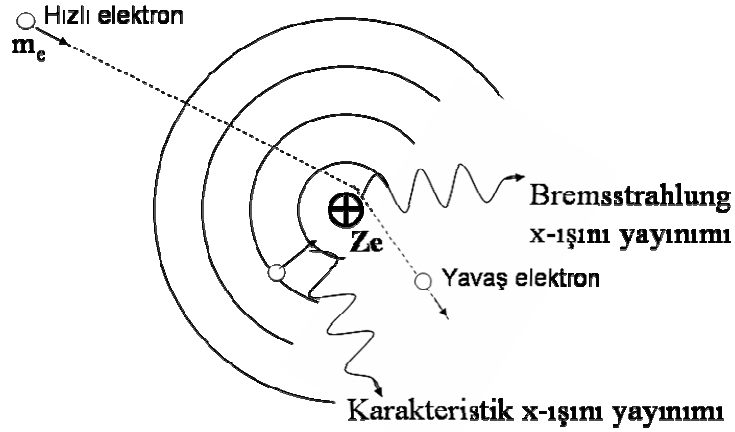
X-ışınları da elektromanyetik ışınlar oldukları için dalga ve parçacık özelliği gösterirler. Açığa bağlı olayların kökenini dalga özellikleri oluşturur. Parçacık özelliği gösterdikleri için elektronik detektörler yardımıyla foton özellikleri ölçülür ve şiddet değerleri her bir saniyedeki sayım olarak belirlenir. Bilimin bir çok alanında, özellikle tıpta pek çok uygulama alanı bulan x-ışınları elektromanyetik ışınların yüksek enerjili şeklidir.

2.2.1 X-ışınlarının üretilmesi

Bu bölümde X-ışınlarının oluşumuna yol açan fiziksel olaylar ve x-ışını üretiminin gerçekleştiği farklı ortamlar iki alt başlık halinde incelenecektir.

2.2.1.1 X-ışınlarının oluşum mekanizmaları

X-ışınları, uygun enerjili elektronların yörüngesindeki elektronlarla veya atomun çekirdeği ile etkileşmeleri sonucunda oluşur [30]. X-ışını fotonlarını üretmek için iki farklı atomik işlem vardır. Etkileşme şekline göre ele alınan x-ışını üretiminin bir tanesi karakteristik x-ışını yayını (K-kabuğu yayını) diğeri frenleme ışını anlamına gelen Bremsstrahlung'dur, iki atomik işlemin yer aldığı x-ışını oluşum mekanizmaları Şekil 2.2'de görülmektedir.



Şekil 2.2: X-ışını oluşumu.

Karakteristik x-ışınlarının oluşturmak için hedef atom üzerine gönderilen elektronlar hedef atomun yörüngesindeki elektronlarla etkileşmesi sonucu aldıkları enerji ile üst enerji seviyelerine çıkarlar. Kararsız durumdaki bu enerji seviyeleri geri bozduğunda dışarıya foton yayınlanır. Enerjileri, seviyeler arasındaki farka eşit olan bu fotonlara karakteristik x-ışınları denir. Frenleme ışınımında ise elektron demeti, hedef atomun çekirdeğine yaklaştığında, çekirdeğin pozitif yükünden kaynaklanan elektrik alandan etkilenecek ivmeli hareket yaparak fotonlar yayar. Sürekli bir enerji spektrumuna sahip bu fotonlara sürekli x-ışınları da denir, bu olaya da Bremsstrahlung veya frenleme ışını adı verilir.

K-kabuğu yayınımları atom ve moleküllerdeki iç elektron geçişleridir [31]. Karakteristik x-ışınları atom içindeki elektronların dış orbitalden daha içteki orbitale büyük ölçüde enerji geçişi ile üretilir. Büyük bir yoğunluğu metal hedefin enerjili elektronlar ile bombardıman edilmesi ile üretilir. Elektron metal hedeften iç elektronlara enjekte edilir ve atomları kararsız hale getirilir. Atomlar bu durumdan dış değerlikli elektronlarını daha iç seviyelere geçirerek kurtulurlar. Enerjideki bu ani azalma foton yayılmasına sebep olur, bu fotonlar x ışını enerjisine sahiptirler.

Çok yüksek yüklü parçacıklar hızlandığında ve ışıınım (Bremsstrahlung) yaptığında da x-ışınları üretilir. Pek çok x-ışını kaynağında yüksek enerjilerde sürekli band radyasyon çıkışı olmasına rağmen Bremsstrahlung frenleme ışını olarak bilinen x-ışını spektrumları karakteristik olarak dar çizgi spektrumundan oluşmuştur. Hedef maddesinin atomları ile kaynağın elektron ışınları arasındaki çarpışmalar bu ışınımın oluşmasına neden olur. Çarpışmalar sırasında elektronlar hızlıca yavaşlamasıyla Bremsstrahlung ışını oluşur [32].

2.2.1.2 X-ışınlarının üretildiği ortamlar

X-ışınları bir önceki bölümde açıklandığı gibi, serbest elektronun ivmesinin değişimi ve atomun enerji seviyelerindeki elektronik geçişler sonucu meydana gelir. X-ışınlarının doğal olarak meydana geldiği ortamların yanında laboratuvar ortamında farklı teknikler kullanılarak oluşturulan ortamlardan da elde edilebilir.

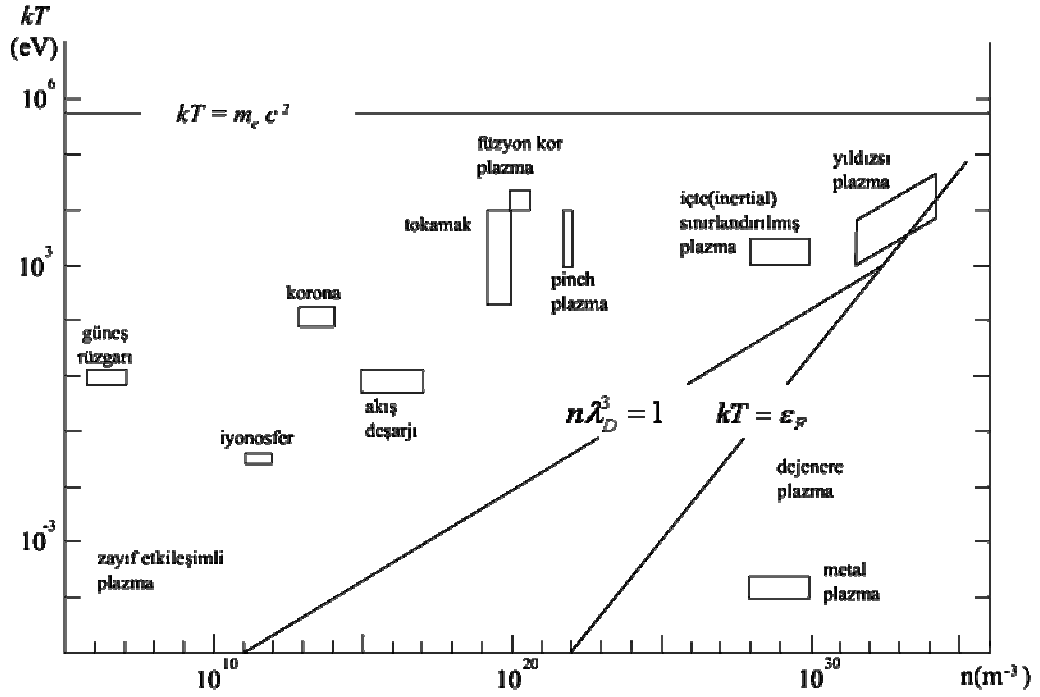
X-ışını tüpleri, sinklotron radyasyon kaynaklarının yanı sıra evrendeki sıcak gazlar da x-ışını yayar. X-ışını tüplerinde metallerin yüksek hızlardaki elektronlar ile bombardıman edilmesi ile yapay olarak x-ışını üretilir [33]. Uzayda, genellikle bir kara delikte yıldızın bir parçasından çabucak çıkan gaz akımı gibi şiddetli bir işlem ile üretilirler. Bu dalga boyları atmosferimizden geçemez, bu yüzden bilim adamları uzaydaki x-ışınları ile çalışmak için x-ışını teleskopları gibi yüksek alanlı yapay uydular kullanırlar. Astrofiziksel gözlemlerden sert x-ışını geçişinin çok önemli bir kısmını quasarlar ve quasi-stellar nesnelere tarafından sağlandığına inanılmaktadır. Serbest elektron lazer sürücülü lineer hızlandırıcılarda sert x-ışınları üretilmektedir. Yumuşak x-ışınları düzenli şekilde ve galaksimizdeki yıldızlar arası ortamlar ile

birleşerek ortaya çıkar. Tokamak ve lazer ile üretilen plazmalarda x-ışını üreten ortamlardır. Tokamak tipi plazmalar düşük yoğunluğa (10^{13} cm^{-3}) sahipken, lazer ile üretilen plazmalar yüksek yoğunluğa (10^{20} cm^{-3}) sahiptir [34,35].

X-ışını üretimi ve yayınının da gerçekleştiği plazmalar doğada farklı şekillerde bulunurlar, genelde n_e elektron yoğunluğu ve T_e elektron sıcaklığı ile tanımlanırlar. Yeryüzünün 70-500 km yüksekliği 10^{12} m^{-3} elektron yoğunluğuna, 2300 K elektron sıcaklığına sahip bir plazma olan iyonosfer tabakasından oluşmuştur. 10^6 m^{-3} elektron yoğunluğuna, 10^5 K elektron sıcaklığına sahip olan diğer bir doğal plazma güneş etkisi ile oluşan solar rüzgarlardır. Güneş boyunca uzayan korona (ay ile örtülmüş güneş ışığı) 10^{14} m^{-3} elektron yoğunluğuna, 10^6 K elektron sıcaklığına sahiptir. Son olarak beyaz cüce (nükleosentez yapabilecek kadar ağır olmayan yıldızlar) yıldızları yıldızsal evrimin son düzeyidir ve 10^{36} elektron yoğunluğuna sahip plazma ortamlarıdır.

Maddenin sıcaklığı arttığında katıdan sıvıya sonra ise gaz haline dönüşür. Sıcaklık daha da arttırılırsa, değerlendirilebilecek sayıda gaz atomu iyonlaşır ve yaklaşık olarak yük sayıları aynı düzeyde olan elektron ve iyonlardan oluşan ve makroskobik ölçekte yük nötralizasyonunu sağlayan yüksek sıcaklıkta bir gaz ortamı sınıfına girer. Bu ortam maddenin dördüncü hali olarak tanımlanan plazma ortamıdır. Fizikte kullanılan plazma kelimesi yüklü parçacık ve dalgalar arasındaki kolektif (ortak) etkileşimleri ve nötr yüklü yüksek sıcaklıkta iyonlaşmış gazı ifade etmektedir. Plazma elektriksel olarak nötrdür, toplam iyonik yükü içinde bulundurduğu serbest elektron sayısına eşittir.

Plazma ortamlarının yoğunluk ve sıcaklıkları farklılık gösterebilir, ancak benzer plazmaların sıcaklık ve yoğunluk değerleri belli bölgelerde değişmektedir. Bu çeşitli plazma ortamlarının $k_B T_e$ elektron sıcaklığı ve n_e elektron yoğunluğu ilişkileri Şekil 2.2'de yer almaktadır.



Şekil 2.3: Plazma alanlarının n_e - $k_B T_e$ diyagramı [36].

Doğal olarak var olan plazmaların yanında, laboratuvar ortamlarında üretilen plazmalar da mevcuttur [37]. Laboratuvar ortamında üretilen plazmalardan biri de lazer ile oluşturulan plazmalardır. Laboratuvar ortamında lazer ile üretilen plazmalar optik teknikler ile incelenebilen plazmalardır. Spektroskopi, plazmadaki fiziksel olayların incelenmesinde önemli bir role sahiptir. Lazer ile üretilen plazmaların spektroskopik yöntemler ile incelenmesi, kolaylıkla ulaşılamayan plazma ortamları (doğal plazmaların) hakkında da bilgi sahibi olabilmeyi mümkün kılar. Astrofiziksel plazma çalışmalarında, laboratuvar plazmalarındaki spektroskopik tekniklerin kalibrasyonundan büyük ölçüde yararlanır. Plazma ortamlarının ölçüm alınamayacak derecede sıcak olması nedeniyle, sıcaklık belirleme teknikleri geliştirilmiştir. Bu tekniklerden biri de plazma ortamdan yayılan elektromanyetik dalgaların özelliklerinin belirlenmesidir. Spektrometreler ile bu ortamlardan elde edilen spektrumlar yardımı ile sıcaklık ve yoğunluk hesapları yapılmaktadır [38].

Plazma ortamından yayılan spektral çizgilerin genişlemesi, yasaklı çizgilerin ve uydu çizgilerinin belirmesi, uyarma sürecinden sonra plazmanın rahatlama zamanları gibi parametrelerin incelenmesi ile de plazmanın durumu ve elektron sıcaklığı hakkında da bilgi edinilebilir [8].

2.2.2 X-ışını spektroskopisi

Spektroskopi maddenin soğurum veya yayınım spektrumunun analizinden o madde hakkındaki bilgi çıkarımını sağlar. Spektrometri kelimesi ise, spektrum (tayf) ölçme anlamına gelmektedir. X-ışını spektroskopisinde, yeterli frekanstaki (enerjideki) x-ışınları madde ile etkileştiğinde dış yörüngelerdeki elektronlar iç yörüngelere geçtiğinde elde edilen enerji ışınım şeklinde yayılır. X-ışını soğurum ve yayınım spektroskopisi elemental bileşim ve kimyasal bağları belirlemek için kimyada ve malzeme biliminde kullanılır. X-ışını spektroskopisi özellikle katı numunelerin elemental analizi ve kristal yapılarının belirlenmesinde geniş uygulama alanı olan ortak olarak kullanılan analitik bir tekniktir [39]. X-ışını spektroskopisinin fizik, kimya, hayat bilimi ve jeoloji gibi değişen farklı disiplinlerde geometrik ve elektronik yapı araştırmalarında uygulamaları vardır.

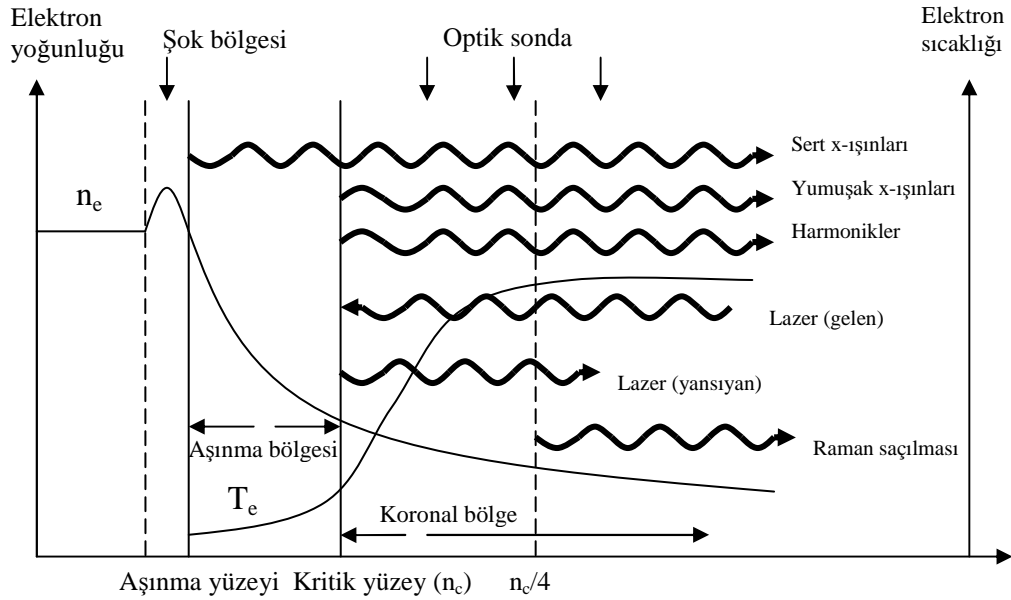
X-ışını spektroskopisinde x-ışınlarının soğurumu, kırınımı, yayınımı, floresans ve saçılması yer alır. XRD, XRF ve XPS yada ESCA olarak bilinen 3 temel uygulaması vardır. X-ışınlarının kırınımı (XRD) kristalin materyallerindeki kristallerinin yapısını elde etmek içindir [40]. X-ışınlarının yayılan enerjilerinin ölçümleri (XRF) SEM görüntülemesi boyunca numune yüzeyinden elemental bilgi verir. XPS yada ESCA olarak bilinen X-ışını foto-elektron spektroskopisi numuneden yüzey kimya bilgisi sağlamak için x-ışınlarını kullanarak atomun çekirdek elektronlarını vurup çıkarmak içindir [39]. Bu yöntem ile elektronun kinetik enerjisi ve elektronun atoma bağlanma şekli bulunabilir. Bu teknikler maddenin yapısı ve bileşimi hakkında kullanışlı bilgileri ortaya çıkarır.

Yumuşak x-ışını spektroskopileri değişik türdeki maddelerin elektronik yapısını araştırmak için (100–2000 eV) kullanılır [41]. Kompleks maddeler, manyetik maddeler, çevre bilimi, çevre basıncındaki ıslak numuneler ve katalizörler gibi problemleri içerir. Yumuşak x-ışını spektroskopisi tek bir teknik değildir, fakat tekniklerin bir dizilimidir. Bu teknikler; yumuşak x-ışını soğurum spektroskopisi (XAS), uçlara-yakın x-ışını soğurumu ince yapı spektroskopisi (NEXAFS), yumuşak x-ışını yayınım spektroskopisi (SXES), rezonant (yansıtıcı) elastik olmayan x-ışını

saçılması (RIXS), x-ışını manyetik dairesel dikroizm (iki renklilik) (XMCD), x-ışını foto-yayınım spektroskopisi (XPS), Auger spektroskopisi yer almaktadır [42].

2.2.3 Lazer ile üretilen plazma ortamlarından yayılan x-ışınları

X-ışını kaynaklarından biri de lazer ile üretilen plazmalardır. Yüksek güçlü lazerler hedef üzerine odaklanarak plazma oluşturulur. Oluşan plazmadan çeşitli dalga boylarında ışınlar yayılır. Plazmadan yayılan spektrumlar, plazmanın özellikleri hakkında bilgi verir. Lazer ile üretilen plazmalarda oluşan uzaysal bölgeler Şekil 2.3'de yer almaktadır [43].



Şekil 2.4: Lazer ile üretilen plazmada oluşan bölgeler [43].

Lazer ile üretilen plazmalar koronal bölge, aşınma bölgesi ve katı bölge (şok bölgesinin de içinde yer aldığı) olmak üzere lazerin geliş yönüne göre sıralanmış uzaysal bölgelere ayrılırlar. Koronal bölge, aşınma bölgesinden daha yüksek sıcaklığa ve düşük yoğunluğa sahiptir. X-ışınlarının farklı dalga boyları, plazmanın farklı bölgelerinden elde edilir. Yumuşak x-ışınları üst düzey yoğunluğu kritik yoğunluk olan koronal bölgeden yayılırken, sert x-ışınları kritik yoğunluktan daha yoğun plazma bölgesinden yayılmaya başlarlar. Çok yüklü ve uyarılmış iyonlar, sıcak plazma ortamı olan koronal bölgede meydana gelir. Lazer ile üretilen plazmalarda, 1 Å ile 200 Å aralığındaki yumuşak x-ışını çizgileri plazmanın kritik

yoğunluk bölgesinden yayılır. Lazer, plazma içerisinde elektron yoğunluğunun sıfır değerinden kritik yoğunluğuna kadar (koronal bölge) ilerleyebilir. Kritik yüzeyde lazer ışığının bir kısmı yansıtılırken bir kısmı rezonans soğurulması ile soğurular [39]. Lazer ışığının büyük bir kısmı ise plazma içerisinde ters frenleme ışması ile soğurular. Plazma frekansı ω_p [38];

$$\omega_p = \left(\frac{n_e e^2}{m_e \epsilon_0} \right)^{1/2} \quad (2.4)$$

eşitliği ile ifade edilir. Eşitlikteki n_e elektron yoğunluğu, m_e elektronun kütlesi, e elektronun yükü ve ϵ_0 ortamın di-elektrik geçirgenliğidir. Plazmadan yayılan ışmanın verimi sürücü lazerin dalga boyu ve frekansına bağlıdır. Plazmanın kritik yoğunluğu (n_c) olarak adlandırılan elektron yoğunluğu [38];

$$n_c = \left(\frac{\epsilon_0 m_e \omega_L^2}{e^2} \right)^{1/2} \quad (2.5)$$

eşitliği ile ifade edilir. Kritik yoğunluk lazerin frekansına (ω_L) bağlıdır.

Lazer ile oluşturulmuş plazma ortamlarından yayılan spektral çizgilerin genişliği, plazma tanımlama tekniği olarak kullanılabilir [44]. Çizgilerin spektral dağılımında meydana gelen genişlemeler, bir kaç mekanizma sonucunda oluşur. Lazerle üretilen plazmalarda, yayılan spektral çizgiler üzerine etki eden baskın genişleme mekanizmaları; doğal çizgi genişlemesi, Doppler çizgi genişliği ve Stark genişlemesi olarak ele alınabilir. Spektroskopi yöntemleri kullanılarak, lazer ile üretilen plazmanın yoğunluğu, sıcaklığı, enerjisi ve yük dağılımı gibi makroskobik plazma parametrelerinin yaygın teşhislerine paralel olarak, yayılan spektral çizgilerin genişlik ve şiddet oranlarını temel alır. Yeni tanı metotları [8] ise potansiyellerin de ele alındığı profilleri kullanır. Spektral çizgi kaymaları, yönlendirmeleri ve genişlemeleri plazma koşulları ve değişik pertürbasyona sebep olan mekanizmalar hakkında ek bilgi sağlar.

Lazer ile üretilen plazmalardaki sıcaklık ve yoğunluk koşullarının belirlenmesi için x-ışını spektroskopisi kullanılmaktadır [38]. Oluşturulan plazmanın değişen fiziksel koşullardaki özelliklerini ölçmek için spektrometre adı verilen cihazlar kullanılır. Işınım, elektromanyetik spektrumun hangi bölgesinde gerçekleşiyorsa ona uygun spektrometre kullanılmalıdır.

X-ışını yayınımları dalga boylarına bağlı olarak farklı spektrometreler kullanılarak çözülebilir. Lazer ile üretilen plazmadan yayılan 30 Å'un altındaki dalga boylu ışınlar x-ışını kristal spektrometre kullanılarak çözülür [45]. Dalga boyu ~30 Å ve üzerindeki ışınlar için ise x-ışını ızgara spektrometreler kullanılmaktadır [46]. Yansıtıcı veya geçirici olmak üzere iki çeşit ızgara vardır, kullanılan ızgara çeşidine bağlı x-ışını spektrometresi aynı zamanda x-ışını lazer çıkışındaki ıraksamayı, sapma açısını ve kazanç katsayısını ölçmek için kullanılan temel tanı cihazıdır.

2.3 Görünür Bölgede Yayılan Işınlar

Elektromanyetik ışınım, uzayda çok büyük hızla hareket eden bir enerji türüdür. Görebildiğimiz ışık elektromanyetik radyasyonun yalnızca bir kısmıdır ve görünür ışık olarak adlandırılır. Çok dar bir dalga boyu bandına sahiptir. Elektromanyetik ışınımın en çok karşılaşılan türleri, gözle algıladığımız görünür ışık ve ısı şeklinde algıladığımız kızıl ötesi ışınlarıdır. Görünür ışık, ateş böceklerinden ampullere hatta yıldızlara kadar her şeyden -hatta hızlı hareket eden bir parçacık diğerine çarptığında da- yayılır. Deneysel olarak kullanılan görünür bölge kaynakları vardır, bu kaynakların bazıları aynı zamanda morötesi ve yakın kızılötesi bölgede de kullanılabilir. Morötesi-görünür bölgede D₂, W, H₂, Xe, civa buhar lambası gibi sürekli ışık kaynakları kullanılır. Tungsten flaman lambası, görünür ve yakın IR bölgede (320-3000 nm) ışık yayar. Tungsten lambasının içinde bir miktar iyot veya brom buharı bulunursa lambanın ömrü artar ve bu lamba tungsten-halojen lambası olarak adlandırılır. Morötesi bölgede en çok kullanılan lambalar, hidrojen ve döteryum elektriksel boşalım (discharge) lambalarıdır. Bu lambalar 180-380 nm arasında ışık yayar. Daha pahalı ve daha uzun ömürlü olan D₂ lambasının yaydığı ışığın şiddeti H₂ lambasına göre çok daha fazladır. Xe ark lambası, morötesi-görünür bölgenin tümünde (150-700 nm) kullanılacak şiddetli ve sürekli ışık kaynağıdır.

Civa buhar lambası, her iki bölgede ışınım yapabilen bir ışık kaynağıdır; sürekli spektruma ek olarak kesikli spektrumları da içerir. Bu görünür bölge ışık kaynaklarına ek olarak, metal tabakanın lazer ile kaynak işlemi sırasında oluşturulan plazmadan yayılan görünür bölge ışınları da ışın kaynağı olarak kullanılır ve bu ortam hakkında bilgi sağlar [47]. Elde edilen spektrumlar ortamdaki bileşimler hakkında bilgi verir.

Bir maddenin rengi, o maddeden gözümüze ulaşan görünür bölgedeki elektromanyetik ışınlardır. Bu ışınlar, saydam maddeler için maddenin içinden geçip gelen, saydam olmayanlar için ise yansıyan ışınlardır. Maddelerin rengi, maddelerin tuttuğu ışının tamamlayıcısı olan ışının rengidir [26].

2.3.1 Lazer ile malzeme işleme sırasında oluşan plazma ortamlarından yayılan ışınlar

Görünür ışık x-ışınlarından en az 1000 kat daha uzun dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgalarıdır. Görünür bölge ışınlarının enerjisi Eşitlik (2.3)'de görüldüğü gibi dalga boylarına bağlı olarak x-ışınlarından oldukça küçüktür. Lazer ile kaynak işleminde, malzeme üzerine gönderilen lazer ışını malzeme ile etkileşerek buharlaşma oluşmasına neden olur. Buhar ile lazer demeti arasındaki etkileşim sonucunda metal buharı kısmen iyonlaşır ve bölge üzerinde plazma meydana gelir [47]. Tıpkı katı hedef üstüne lazer ışını göndererek x-ışını yayınımlarında olduğu gibi lazer ile malzeme işleme sırasında da ışınlar yayılacaktır. Bu tez kapsamında geliştirilen görünür bölge spektrometresi ile lazerle malzeme işleme sırasında oluşan plazmadan yayılan görünür bölge ışınları kaydedilmiştir. Malzeme işleme deneyi sırasında kullanılan lazerin ortalama gücü 600 W ve atım süreleri ms mertebesinde olduğundan, oluşan plazmadan yayılan ışınların büyük miktarı görünür ışıktır [48]. Çünkü atım süreleri çok kısa olmadığından lazer ışını malzemenin daha iç yapılarına ulaşıp, yüksek enerjide yayınıma neden olmaz.

3. SPEKTROSKOPİK ÖLÇÜM ALETLERİ

Elektromanyetik dalganın hangi dalga boylarında, hangi büyüklükte şiddetlerde bulunduğunu araştırmak için spektrometre kullanılır. Spektrometre dalga boyuna bağlı şiddet veya enerji değişimini bir spektrum halinde verir. Elektromanyetik spektrumun hangi bölgesi inceleniyorsa spektrometre o ismi alır, kullanılan yöntem ve içerdiği bileşenlere göre elektromanyetik spektrumun aynı bölgesini ölçen cihazların adı değişebilir. Bu bölümde, net bir spektrum elde etmek için kullanılan spektrometreler ve görüntüleme sistemleri incelenecektir.

3.1 Spektrometreler

Spektrometre net bir spektrum elde etmek için kullanılan bir cihazdır. Bir spektrum net ya da karışık olabilir. Spektrometrelerin çözünürlüğü spektrumun net olmasını sağlayan faktördür. Spektrometreler, ışığı dalga boylarına ayıran kırınım ağına ve dizilim şekline göre isim alır. Işınları dalga boylarına ayırmak için kristal veya ızgara gibi kırınım ağı kullanılır. Lazer ile üretilen plazmalardan yayılan x-ışınlarını kaydetmek için kristal spektrometreler ve ızgara spektrometreler kullanılır [49,50]. Görünür bölge spektrometrelerinde de kırınım ağı olarak ızgara kullanılır.

3.1.1 X-Işını spektrometreler

Yoğun plazma davranışı orta derecede ve güçlü plazmaların çevresel koşulları, x-ışını spektroskopisi yöntemi ile belirlenir. Lazer ile oluşturulan plazma ortamlarında elektromanyetik spektrumun x-ışını bölgesinden yayılan ışımalar deneysel olarak kristal ve ızgara spektrometreler kullanılarak gözlenmektedir. İyi bir x-ışını spektrometrede x-ışını kaynağından foton akımı hesaplanmalı ve düşük şiddetli x-ışını çizgilerinin ölçümleri yapılabilecek fonksiyonlara sahip şekilde çalışmalıdır. Foton akımını hesaplamak için spektrometre hassaslığının mutlak kalibrasyonunu yapmak gerekir [51]. Düşük şiddete sahip x-ışınlarını ölçmek için spektrometrenin

odaklamasını iyi yaparak ve yüksek verimliliğe sahip x-ışını detektörler kullanılarak yapılabilir [52]. X-ışını spektroskopisi elektronik düzeylerin yapısal ve dinamik özelliklerini araştırmak için önemli bir tanı metodudur.

Kristal spektrometre x-ışını spektroskopisinde çok önemli bir cihazdır. Kristal spektrometrelerin iki önemli özelliği; keV aralığında en yüksek enerji çözünürlüğü sağlaması ve x-ışınlarının polarizasyonunda hassas olmasıdır. Biçimlendirici özelliği ise x-ışını çizgilerini komşu geçişlerden ve temel seviyesinden ayırmasıdır [53]. Spektrometreler konum ve kararlılıkları ile ilgili farklı gereksinimlere sahiptirler. Kristal spektrometreler 30 Å altındaki dalga boylarına sahip x-ışınlarını kaydetmek için, ızgara spektrometreler ise 30 Å üzerinde dalga boylarına sahip x-ışınlarını kaydetmek için de kullanılmaktadır [54,55].

Kristal Spektrometre

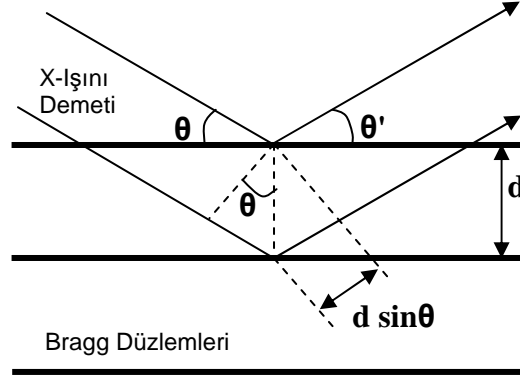
X-ışınları atomlar arasındaki mesafe ile karşılaştırılabilecek dalga boyuna sahiptir, bu ışınları dalga boyuna ayırmak için atomlar arası mesafe kadar hassas ayırım yapabilecek kırınım ağırları olan kristaller ve ızgaralardan yararlanılır. Kristallerin örgü sabitleri üç boyutlu kırınım sağlarlar. X-ışınları farklı şiddetler ile çok özel yönlerde kırınım uğrar ve oluşan kırınım desenlerini ölçmek için detektörler kullanılır. Bragg ve Laue Kırınımı olmak üzere 2 ana mod vardır [56]. “Bragg” kırınımında gelen x-ışınları monokromatiktir (tek dalga boyunda) ve tek bir kristal üstüne odaklama yapılır [57]. “Laue” kırınımında gelen x-ışını demeti beyaz ışıktır, bu nedenle mümkün olan tüm kırınım yolları belirlenebilir [58].

Lazer ile üretilen plazmadan yayılan ~30 Å altındaki dalga boyları Bragg yasasına bağlı kristal difraksiyonu (kırınımı) tarafından çözülebilir. Kristal farklı dalga boylarındaki x-ışınlarını Bragg yasasına bağlı olarak dağıtır [59]. Kırınım derecesi n ve λ dalga boyu olmak üzere Bragg yasası;

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (3.1)$$

ile verilir. Burada, $2d$ ifadesi kristallerin Miller indislerine (hkl) bağlı değişen kristal örgü uzayı ve θ gelen ışının kristal ile yaptığı açıdır (Şekil 3.1). Kristaldeki gelme

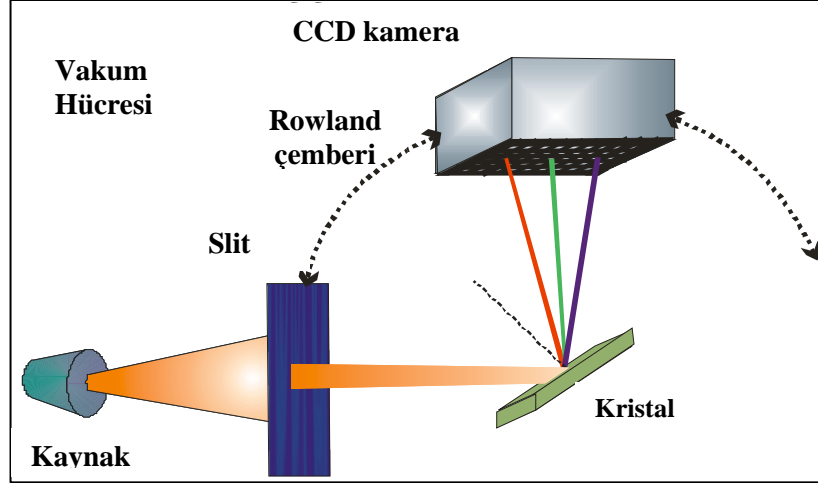
açısı yansıma açısına eşittir ($\theta=\theta'$) [60]. Kırınım derecesi, kristaldeki kırınım düzlemlerini ifade eder.



Şekil 3.1: Kristal düzlemlerinden x-ışını kırınımı [61].

Kristaldeki atomların veya moleküllerin düzenli aralıklar ile dizilimleri x-ışınlarını kırarak dalga boylarına ayırır. Kristal yansıması gelen her bir açı için yalnızca bir dalga boyunu yansıtır, fakat difraksiyon ızgarasına benzemez. Bu, ızgaranın iki boyutlu difraksiyonu (kırınımı) ve kristal örgüsünün üç boyutlu difraksiyonu arasındaki farktan kaynaklanmaktadır. Üç boyutlu yapıdan difraksiyon Bragg difraksiyonu olarak adlandırılır [23]. Verilen örgü aralıkları ve gelen ışının açısı için yalnızca bir dalga boyu ve onun daha kısa boylu harmonikleri yansıtılabilir.

Kısa dalga boylu x-ışınları örgü sabiti 1-10 Å olan tipteki kristalleri kullanabilir [62]. Hafif elementlerden oluşan x-ışınları, geniş molekülü organik kristallerde olduğu gibi atomlar (örgü sabitleri) arasındaki mesafesi daha geniş olan kristallere gereksinim duyar. Bu kristallerin örgü sabitleri arasındaki mesafe 13 Å'dan daha kısadır ve Flor'dan (Fluorine) daha hafif elementler için kullanılamaz. Daha hafif elementler için yapay kristaller kullanılır. Yapay kristal olarak ya Langmuir-Blodget filmleri [63] yada son zamanlarda daha sık tercih edilen çok katmanlı kristaller (sputtered multilayers) kullanılır. X-ışını kristal spektrometrenin şematik gösterimi Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.2: X-ışını kristal spektrometrenin şematik gösterimi.

Kaynaktan gelen x-ışınları Şekil 3.2’de görüldüğü gibi, slitten (yarık) geçerek paralel ve yoğunlaşmış ışın haline gelirler. Kristale çarpan ışınlar kristal tarafından dalga boylarına ayrılarak yansıtılırlar. Yansıyan ışınlar CCD detektör tarafından belirlenir. Kristal θ kadar döndüğü zaman detektör 2θ hareket etmelidir [64]. Lazer ile üretilmiş plazma deneyleri vakum hücresinde yapılmaktadır, detektördeki 2θ mekanik hareketinin sağlanması için bilgisayar kontrollü step motorlar kullanılabilir. X-ışını spektrumunun yayıldığı plazmanın farklı uzaysal bölgeleri hakkındaki çok önemli bilgi kristalin spektral dispersiyonuna (dağılımına) dik yerleştirilen slit kullanılırsa elde edilebilir. Fakat, slit kullanılması spektrometrenin çıkışını da azaltacaktır [65].

Kristal spektrometreler plazma ortamlarından yayılan x-ışınlarını kaydetmek için kullanılırlar. Kristal spektrometrelerin yapımında yayılan x-ışınlarının dalga boylarına göre farklı kristaller kullanılır. Radyo-biyoloji deneyleri için, 5-50 Å arasındaki spektrumları kaydetmek için kristal spektrometrede düz Beryl ve KAP kristalleri kullanılmaktadır [66]. Daha kısa dalga boylarını ölçmek için LiF ve PET kristalleri kullanılır [66].

Kaynak boyutu, kristalin sallanma eğrisi genişliği (rocking curve width) ve plazmadaki çizgi genişlemeleri kristal spektrometrenin çözünürlük gücünü etkileyen faktörlerdir [67]. Spektrometrelerde kullanılan kristal seçiminde; kristalin x-ışını soğurumunun düşük olmasına, yüksek yansıtma verimliliğine sahip olmasına ve

sıcaklık değişimlerine hassas olmamasına da dikkat edilmelidir. Spektrometrelerde kullanılan kristallerin (LiF, PET, Ge, Si) sıcaklığa duyarlılıklarının incelenmesi ölçüm hassaslığı açısından önemlidir [68]. Spektrometre uygulamaları için önemli bir nokta cihazın verimliliğidir. Genelde, kristalin toplam yansıtma katsayısı 10^{-4} radyan derecesinde [69] olduğundan kristal spektrometreler düşük verimliliğe sahiptir. Kristal yansıtma piklerinin açısız genişliği slit'in paralelleştirmesinden daha küçük olmalıdır. Kristalin toplam yansıtma katsayısı 10^{-4} - 10^{-5} aralığında olduğundan kristal üzerine gelen x-ışınlarının yalnızca bir kısmı yansıtılır. X-ışınlarının çok büyük bir kısmı foto-elektrik soğurma ile kristal yüzeyi tarafından soğurulur [38]. Nicel analizde kullanılan kristallerin toplam yansıtmasını bilmek gerekmektedir. Kristalin yansıtması [70] standart teknikler kullanılarak ölçülmektedir. Plazma içindeki yoğunluklar ve sıcaklıklar genelde çizgi genişlikleri, çizgi oranları ve tekrar birleşme eğrilerinden sonuç çıkararak bulunabilir [54,55]. Bu gibi verilerin nicel analizinin yeterince verimli olabilmesi için, detektör ve filmlerin filtrelenmesinin yanı sıra kristaller de filtrelenebilir [71].

Ölçülecek farklı iyon düzeylerinden yayılan çizgi oranları plazma boyunca konumun bir fonksiyonudur [68]. Plazmanın aynı hacimdeki elementi içinde farklı iyon düzeylerinden gelen rezonans çizgi yayınımları hedeften gelen yayınımları görüntülemek için kullanılabilir. Kristalden Bragg yansıması spektroskopik analiz için basit ve esnek bir teknik sağlar. Plazma içindeki sıcaklık ve yoğunluk çizgi genişliklerinden, çizgi oranlarından ve tekrar birleşme eğrilerinden çıkarılır [54]. Diğer plazma parametreleri yüksek çözünürlükteki x-ışını spektrumlarının farklı özelliklerinden elde edilebilir. Örneğin; elektron sıcaklığı iki elektronlu (dielectronic) yörüngelerin çizgi şiddetlerinin çizgi şiddetine oranı tarafından belirlenir. Kristal spektrometreler rezonans çizgi yayınımlarını kaydetmek için de kullanılır, spektrometrede çift kristal kullanarak Doppler ve Stark kaymasından dolayı oluşan çizgi şekilleri kolaylıkla çözülebilir [72,73]. Bu sayede plazma ortamı hakkında daha kesin sonuçlar elde edilir. Dalga boyları ve şiddetlerin kesin ölçümleri bazı çizgi profillerinin bilinmesini gerektirir. Bu koşullar; kaynak koşulları hakkında bilgi verdikleri, iç atomik çalışmaları ve çarpışma işlemleri için birbirleri ile ilgilidir [38]. Tasarlanan spektrometrenin verimliliği iyi olmalıdır. Cihazın verimliliği katı açtı toplanmasına, kristalin toplam yansıtmasına ve CCD piksellerinin hassaslığına

bağlıdır [74]. Spektrometrenin ışın toplama verimliliğini arttırmak için düz kristal yerine kavisli kristal kullanılır. Kristalin kavisli olması aynı boyuttaki düz kristalden örneğin iki kat daha büyük ışın toplanmasına yardım eder [75]. Düz kristalin özellikleri kullanılacak uygulama alanına yeterli ise spektral eğriliklere neden olmadığı için tercih sebebidir. Teorik olarak, kristalin sallanma açısı, örgü uzayı yapısı (kafes yapısı) ve yansıtıcı katman konumlarına bağlı olarak kristal bazı elementlerin spektrumlarını kolayca çözebilmeye eğilimlidir [76]. Örneğin; PET kristali teorik olarak Al spektrumunu kolayca çözebilir, çünkü PET kristalinin sallanma eğimi, örgü yapısı ve yansıtıcı yüzeylerin konumu bunun için uygundur [75]. Kristalin kalitesi spektrumun dağılımında önemli bir faktördür. Mükemmeliyetleri hariç diğer tüm özellikleri aynı olan iki kristal ele alındığında mükemmeliyeti yüksek olan kristalin spektrum dağılımı diğerine oranla daha düzgündür. Kristalin yapısındaki mükemmeliyetsizlik spektrometrenin çalışmasını sınırlar. Mükemmel olmayan kristaller dağılımlı (dispersed) spektruma neden olur [75]. Mükemmel bir spektrum spektral çizgilerden dolayı şiddet piklerinin yalnızca bir satırında elde edilir, elde edilen görüntünün bir satırı çizilerek (trace) dalga boyuna bağlı şiddet spektrumu elde edilir.

Izgara Spektrometre

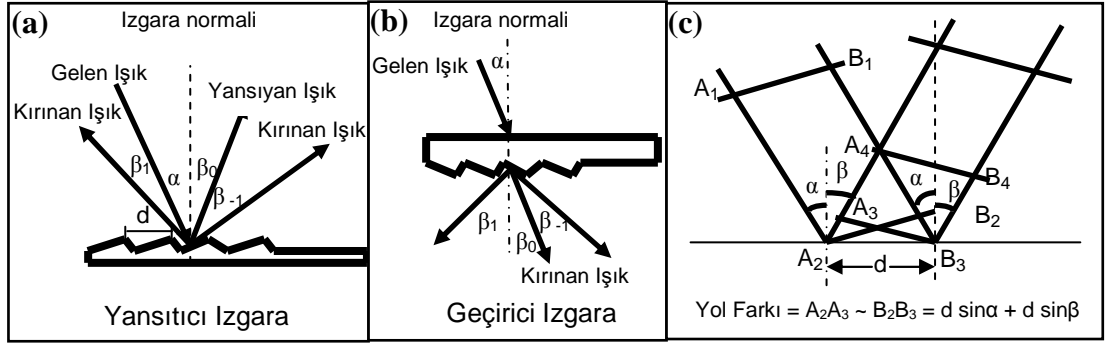
Plazmadan yayılan dalga boyu 30 Å'dan büyük olan ışınlar ya geçirici [77,78] ya da yansıtma ızgara [79] spektrometreleri kullanılarak çözünür. Izgara yüzeyine gelen ışının kırınımı;

$$n\lambda = d (\sin \alpha + \sin \beta) \quad (3.2)$$

ile verilir. Burada n kırınım derecesi, λ dalga boyu, d ızgaranın yiv (çizgi) frekansı, α gelen ışının, β ise kırılan ışının ızgara normali ile yaptığı açıdır.

Eşitlik (3.1) ve (3.2)'de kullanılan d ifadesi sırası ile; kristaldeki örgü sabiti ve ızgaranın çizgi (yiv) frekansıdır. (3.1) eşitliğindeki d kristaldeki örgü sabitleri (atomlar) arasındaki mesafedir, Å mertebesinde. Izgaradaki çizgiler arası uzaklık, ızgaranın yivleri arasındaki mesafedir ve (3.4) eşitliğindeki ifadede elde edilen d

çizgi/mm olarak ifade edilmiştir, ızgaranın çizgileri arası mesafe $1/d$ ile ifade edilir. Yansıtma ızgara spektrometresinde gelen fotonlar ızgara yüzeyine birkaç derecelik küçük açılarla gelirler [80]. X-ışını lazer araştırmalarında lazer etkisi gösteren çizgileri genelde yansıtma ızgara spektrometresiyle çözünür. Yansıtıcı ızgara, geçirici ızgara ve optik yol farkının şematik gösterimi Şekil 3.3’de görülmektedir.



Şekil 3.3: (a) Yansıtıcı ızgara, (b) Geçirici ızgara, (c) Optik yol farkı şematik gösterimi.

İleri uygulamalar için yansıtıcı ızgaralar geçirici ızgaralardan daha çok kullanılır. Geçirici ızgara spektrometreler dizilimlerinin kolay olması açısından avantajlıdır [81], ancak geçirici ızgaranın geniş ve yüksek kalitede sağlamasını yapmak zordur. ızgaralar hem klasik yöntemle mekanik olarak hem de holografik [82] olarak elde edilir. Klasik ızgaralarda yivler birbirine paralel düz veya konkav olabilirler [83]. Konkav ızgaralar genellikle Rowland çember düzlemine yerleştirilerek kullanılabilir, eğer düz düzlemde kullanılırsa geçirgen ızgara spektrometre ile kalibrasyonu yapılır [83]. Holografik ızgaralarda ise yivler ya paralel ya da sistemin çalışmasına en uygun hale getirmek için eşit olmayan dağılımda olabilirler, düz [84], küresel [85], torodial ve pek çok diğer yüzeylerde üretilebilirler [86]. Klasik ve holografik ızgaraların hangi durumlarda kullanılacağını bilmesi önemlidir. Holografik ızgaralar, konkav ızgara kullanılması gerektiğinde, Raman, lazer-flüoresans gibi lazerler kullanıldığında, morötesi, görünür bölge ve yakın kızıl-altında olması gereken yiv yoğunluğu 1200 çizgi/mm veya daha yüksek ise kullanılır. Dalga boyu 30 \AA 'dan daha uzun olan ışınlar için genellikle kırınım açısı olarak ızgara kullanılır. Yüksek yiv yoğunluğu gereken durumlarda ise yüksek çözünürlük için ($n > 1$) yüksek derecelerde kullanılan düşük yiv yoğunluğundan daha üstün olur. Klasik ızgaralar, yakın kızılaltı (1.2 \mu m üzerinde) çalışıldığında, holografik ızgaralar yerine kullanılabilir. ızgara seçilirken, incelenecek olan dalga boyu için Blaze açısının göz önünde

bulundurulması gerekir [87]. Izgaranın aralığı en düşük 2/3 Blaze dalga boyunda ve en yüksek 3/2 Blaze dalga boyunda olabilir. Izgara seçiminde Blaze dalga boyu 3/2'den yüksek olabilir ancak 2/3'den küçük olamaz çünkü 1/2 Blaze dalga boyunda ızgara verimliliği sıfır olur [88].

Çözünürlük, kararlılık ve parlaklık; yarık darlığı, odak uzunluğu ve ızgara üstündeki çizgi sayısına bağlı olarak değişen parametrelerdir ve birbirlerine göre değişimleri Tablo 3.1'de verilmektedir.

Tablo 3.1: Cihaz parametrelerini etkileyen faktörler [89].

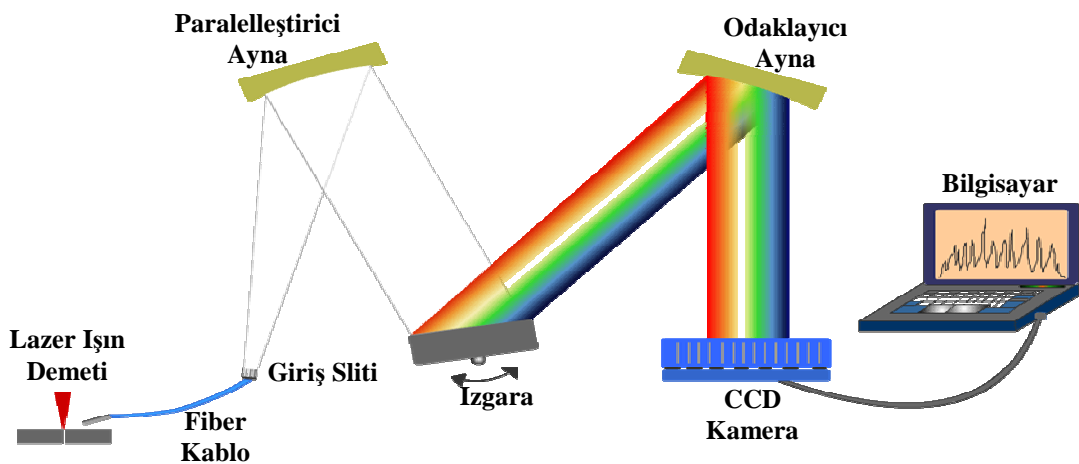
	Cözünürlük	Kararlılık	Parlaklık
Slit Darlığı	ARTAR	AZALIR	AZALIR
Odak Uzunluğu	ARTAR	AZALIR	AZALIR
Çizgi Sayısı/mm	ARTAR	DEĞİŞMEZ	DEĞİŞMEZ

3.1.2 Görünür bölge spektrometresi

Görünür bölge ve yakın kızılötesini ölçen spektrometreler ışığa, yayınım, soğurma, geçirme ve yansıtma gibi değişen ölçümler için ideal ölçüm cihazlarıdır. Görünür bölge spektrometresinde kullanılan ızgara, kullanılacağı tasarıma göre yansıtıcı [90] veya geçirici [77,91] olabilir. Czerny-Turner dizilimi kullanılan görünür bölge spektrometresinde yansıtıcı ızgara kullanılır. Özellikle görünür bölge spektrometreleri ışınları paralel hale getirerek dalga boylarına ayırma işlemi için monokromatör kullanır. Monokromatörlerde düzlem ve konkav ızgara olmak üzere iki çeşit ızgara kullanılır. Dispersiyon (dağılım) ve difraksiyon (kırınım) yalnızca ışık paralel ise kontrol edilebilir. Monokromatör düz ızgaraya sahip ise ışığı toplamak ve odaklamak için yardımcı optik elementlere (ayna,mercek) ihtiyaç duyar. Konkav ızgaraya sahip monokromatörler ışınları kendileri odaklarlar, bu yüzden morötesi bölgede tercih edilirler, çünkü kullanılan yardımcı optikler camdır ve mor ötesi ışığı soğurur. Eğer morötesi bölgede ölçüm yapılması isteniyorsa, konkav ızgara kullanımı daha uygundur. Fakat, konkav ızgara tüm dalga boylarında birinci dereceden eğriliklere sahiptir. Bu eğrilikler spektrumdaki çizgilere etki edecektir. Bu nedenle alınan spektrumdan yapılan hesaplamaların kesinliği azalacaktır. Bu nedenle görünür bölge spektrumunu almak için düz ızgara kullanımı tercih edilmektedir.

Görünür bölge spektrometrelerinde kullanılan pek çok monokromotör dizilimi vardır. Littrow [92], Monk-Gillieson [93], Ebert-Fastie [94] ve Czerny-Turner [95] gibi düz ızgara kullanan monokromotör tasarımları için farklı uygulamalarda kullanılabilen dizilimler vardır. Bu dizilimlerin haricinde kullanım alanına özel tasarlanmış daha farklı tasarımlar da yapılmıştır [96], fakat düz ızgara kullanan ve uygulama alanı nedeni ile en çok kullanılan dizilim tipi Czerny-Turner, çünkü hiç bir sapma kırılan dalga sınırında ortaya çıkmaz. Czerny-Turner monokromatör düzlemsel difraksiyon ızgarasından ve iki küresel aynadan oluşur. Bu tipte, soğurma problemlerini ortadan kaldırmak için merceklerin yerine aynalar kullanılır.

Morötesi-kızılötesi dalga boyu aralığında ölçüm alan spektrometreler tasarım sistemlerinde; kaynak, numune kabı, dalga boyu seçici, detektör ve işaret işleyiciye sahiptir [97]. Izgara dalga boyu seçici olarak kullanılır. Numune kabı ve dalga boyu seçimi, yayılım veya soğurma spektrometre tasarımı olmasına bağlı olarak yer değiştirir. Gelişmiş tasarımlarda detektör olarak CCD kameralar kullanılmaktadır. Izgara kullanılan monokromatörün kalitesi; çıkış ışınlarının spektral temizliğine, bitişik dalga boylarını çözme kabiliyetine, ışık toplama gücüne, spektral bant genişliğine bağlıdır [98]. Spektrum eş zamanlı olarak bir defada alınabiliyorsa, bu spektrometreye spektrograf denir.



Şekil 3.4: Lazer ile kaynak işlemi sırasında yayılan çizgileri kaydeden Czerny-Turner dizilimli spektrometrenin şematik gösterimi.

Plazma ortamından yayılan ışınlar fiber kablo ile giriş slitine taşınır, gelen ışınlar slite odaklanır. Slitten geçen ışınlar birinci ayna tarafından paralelleştirilir ve ızgara tarafından dalga boylarına ayrıştırılır, ikinci ayna ışınları detektöre odaklar. CCD kamera üzerindeki görüntüler bilgisayardaki işaret işleyici program yardımıyla hesaplanarak grafiğe dönüştürülür.

Detektör yüzeyinin dışındaki bir odaklama bant geçirimini, uzaysal çözünürlüğü ve optik işaret/gürültü oranını azaltacak olan bulanık bir görüntü üreten; ışınların doğru odaklanamaması sonucudur. Odaklama sorunundan dolayı meydana gelen optik yol farkı (Şekil 3.3.c) sayısal açıklığın (NA) karesi ile değişir. Geometrik olarak iyi düzenlenmiş Czerny-Turner dizilimi problemleri yaklaşık olarak düzeltir. [86].

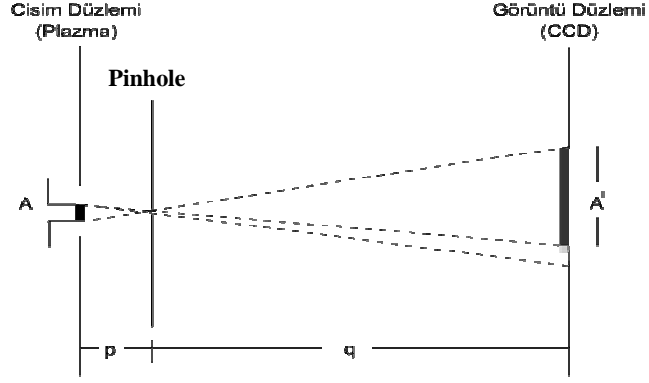
3.2 Görüntüleme Sistemleri

X-ışını bölgesinde detektör olarak; gaz sayaçları [99], sintilatör-fotomultiplikator kombinasyonları [100], yarı-iletken detektörler [101], fotoğrafik emülsiyon [102], multiwire (çoklu bağlantı) orantılı sayıcılar [103] ve yük etkileşimli (CCD) mikrokanallı plakalar [104,67] kullanılmaktadır. X-ışını ortamının iki boyutlu görüntülemesi genellikle pinhole (iğne delikli) kameralar ile yapılmaktadır. Kırıcı bir kristal ile slit (yarık) görüntü sistemi birleştirildiğinde görüntüleme yüksek spektral çözünürlük ile birleştirilebilir [39]. Görünür bölge ışınlarını kaydetmek x-ışınlarına nazaran çok daha kolaydır, fakat daha hassas ölçüm almak için görünür bölge ışınlarında da CCD kamera kullanımı ideal çözümdür. Plazmanın uzunluğu ve lazer ile oluşturulmuş plazma ortamlarını ve bu ortamlardan yayılan ışınları kaydetmeyi sağlayan görüntüleme sistemleri anlatılacaktır.

3.2.1 Pinhole (iğne deliği) kamera

Pinhole (iğne delikli) kamera iyi tasarlanarak oluşturulduğunda basit ama çok kullanışlı bir cihazdır [105]. Oldukça geniş bir açısal alan üzerinden derin odaklama yaparak cismin görüntüsünü bozamaz. Kaynak konumunun değişimi sebebiyle detektöre kaydedilen spektral çizgilerde kayma oluşur ve bu nedenle dalga boyunun belirlenmesindeki hassalık kaybolur [59]. Bu sorunu çözmek için, spektrometrenin

slit (yarık) düzlemine bir pinhole yerleştirilir ve plazmanın görüntüsü kaydedilir. Plazma ortamını görüntülemek için pinhole kameranın geometrisi Şekil 3.5’de görülmektedir.



Şekil 3.5: Pinhole kamera geometrisinin gösterimi [106].

Pinhole kameralar ile boyutları çok küçük olan plazmaların boyutları büyütülür. Plazmanın iyi bir çözünürlük ile kaydedilmesi sağlanmış olur. Pinhole kameranın uzaysal çözünürlüğü;

$$R_p = \phi \left(1 + \frac{1}{M} \right) \quad (3.3)$$

ile verilir. Burada, ϕ pinhole çapı ve M büyütme oranıdır. Pinhole çapı, plazmanın uzaysal çözünürlüğünü belirler. Yüksek büyütme limitinde cisim düzlemindeki görüntünün uzaysal çözünürlüğü pinhole çapı ile basitçe verilir. M büyütmesi ;

$$M = \frac{q}{p} \quad (3.4)$$

eşitliği ile ifade edilir. Buradaki q pinhole kameradan görüntüye olan mesafe, p ise pinhole kameradan cisme olan mesafedir. Lazer ile üretilen plazmalarda x-ışını kaynağı olarak nitelendirilmiş plazma cisimdir, görüntüsü detektörde oluşur. M büyütmesi görüntünün cisme oranla ne derece büyüdüğünü ($M = A'/A$) ifade etmektedir. Görüntünün uzaysal çözünürlüğü genellikle geometri ve kırınım etkilerinin kombinasyonu ile verilir [107]. Nokta kaynağın görüntüsünün boyutunun geometrik sınırı;

$$\Delta x_g = \phi(1 + M) \quad (3.5)$$

eşitliği ile verildiğini kanıtlamak kolaydır. Fraunhofer difraksiyon teorisine bağlı olarak, hava (airy) deseninin tipik enine boyutu toplam enerjinin % 85'ini içeren dairenin çapı t mesafede ϕ çapının dairesel açıklığını düzenli bir aydınlatması ile üretilir ve;

$$\Delta x_d = \frac{2.44 t \lambda}{\phi} \quad (3.6)$$

eşitliği ile verilir. Hava deseninin enine boyutu pinhole boyutunu belirlemede çok önemli bir etkidir. En iyi çözünürlük alınabilecek pinhole boyutu;

$$\Delta x_g \approx \Delta x_d \quad (3.7)$$

koşulu ile sağlanır. Sonuç olarak en iyi pinhole boyutu;

$$\phi = \sqrt{\frac{2.44 t \lambda}{1 + M}} \quad (3.8)$$

eşitliği ile verilir. X-ışını pinhole kamera, pinhole dizi ve konik bir burundan (koni şeklinde uzantı) oluşmaktadır. Sisteminde silindirik uzantı tüpü, filtre yeri (wheel) ve CCD kamerada yer almaktadır [107,108]. Pinhole kamera kaynak boyutunu bir büyüteç gibi büyütür [109]. Odak noktasının boyutu ve düzenliliği pinhole kamera kullanılarak her bir atım görüntülenir [110]. Ticari olarak elde edilebilen en küçük çap 5 μm olması nedeni ile $M < 30$ olan büyütme için görüntünün çözünürlüğü geometrik sınır tarafından belirtilir. Plazmada (cisim düzleminde) çözülebilen en küçük özelliğin boyutu;

$$\Delta x_{plazma} = \phi \left(1 + \frac{1}{M} \right) \quad (3.9)$$

eşitliği ile verilir. Yüksek büyütme sınırında cisim düzlemindeki pinhole kamera görüntüsünün uzaysal çözünürlüğü pinhole çapı ile verilir. Uzaysal çözünürlük çok iyi olabilir. Nokta kaynak boyutu veya optik şeklin kalitesini belirleyen gerçek uzaysal çözünürlük detektör çözünürlüğü ve pinhole çapının birleşimine bağlıdır.

Etkin çözünürlük kötü de olabilir çünkü veri gürültüsü ile sınırlandırılır. Gürültü, çözünürlük elementi başına yetersiz foton toplanması ile artar. Hedeften kopan parçalardan ve yansıyan lazer ışığından korumak için pinhole kamera önüne μm kalınlığında Be ile filtrelendirir [111]. CCD kamera önüne de Be pencere (μm) yerleştirilerek görünür ışığın filtrelenmesi sağlanır. Kaynaktan yayılan morötesi ve görünür ışık silikon nitrit alüminyum ile kaplanarak oluşturulmuş filtreler yardımı ile engellenir [112]. Değişik basınçlarda helyum ve nitrojen gazları da farklı dalga boylarında filtre görevinde bulunur. Elde edilen en iyi çözünürlük , birkaç mikron derecesindedir, tipik deneylerde 7-12 mikrondur [113]. Zaman üzerinden toplam alan (time gated) filtrelenmiş pinhole kamera plazmanın kalınlığını zamanın fonksiyonu olarak belirlememizi sağlar. Foil'deki (filtreleyici tabaka) malzemenin gerçek yoğunluğu ile birleşmesi plazmadaki her bir elementin hacim yoğunluğu belirlenebilir.

3.2.2 Dik eksenli slit (Cross Slit Camera) kamera

İlk dik eksenli slit kamerayı Ducos du Hauron 1888'de yapmıştır [114]. Plazmanın uzunluk genişlik gibi boyutları ve plazmanın düzenli bir yapısı olup olmadığı dik eksenli slit kamera ve pinhole kamera ile görüntülenir [115] Plazmadan keV enerjili yayınımları dik eksenli slit kamera kullanılarak gözlenir. Dik eksenli slit kamera μm mertebesinde enine çözünürlükle plazmanın tüm uzunluğu boyunca görüntülenmesini sağlar. Böylece slit sistemi plazma çizgisinin tüm uzunluğu boyunca iki atımın üst üste binmesini kontrol etmeye yardımcı olur. Dik eksenli slit kameranın görüntüsündeki bozulma slit ve görüntü düzlemi arasındaki konumsal ilişkiye bağlıdır [115]. CCD x-ışını slit kamera μm uzaysal çözünürlüklü x-ışını lazer şiddetini ve çizgi odaklamalı plazma düzenliliğini görüntüler. Görünür ışıkta kullanımı da yaygındır, fotoğraf makinelerinin objektifine yerleştirilen slitler görüntüyü ayrıntılı incelemeyi sağlar. Hedef uzunluğu boyunca yayınımdaki değişimler dik eksenli slit kameralar kullanılarak ölçülmektedir [116].

3.2.3 Yük etkileŖimli kamera (CCD)

Son yıllarda lazer teknolojilerinin çok yönlü geliŖmesi ve bilgisayar teknolojisindeki hızlı ilerlemelere bağlı olarak, spektrometreler bu deėiŖimlere paralel bir Ŗekilde yenilenerek ve geliŖtirilerek üretilmektedir. Bu nedenle daha önce spektrumlar film üzerine kayıt edilmekteyken, Ŗimdi CCD kameralar kullanılarak kayıt yapılmaktadır.

CCD (Charge Coupled Device, Yük EtkileŖimli Cihaz), belirli bir bölgesinde bulunan yükün komŖu bir bölgeye iletilmesi prensibine göre alıŖan yarı-iletken bir cihazdır [117]. Aydınlatma yönüne göre CCD'ler temelde önden aydınlatılmıŖ (Front-Illuminated CCD, FI-CCD) ve arkadan aydınlatılmıŖ (Back-Illuminated CCD, BI-CCD) olarak ikiye ayrılırlar. nden aydınlatılmıŖ CCD'ler 400-900nm spektral aralığı için iyi bir seçim olup, 700 nm civarında yaklaŖık % 50 kuantum verimliliği (Quantum efficiency, QE) vermektedir [118]. Bununla beraber önden aydınlatılmıŖ CCD'ler morötesi bölgede (80 nm-200 nm) dŖk bir performans göstermektedir [119], ancak özel kaplamalarla 200 nm civarında %10 QE elde edilebilmektedir [118]. Arkadan aydınlatılmıŖ CCD'ler 0.1 nm-1100 nm gibi geniŖ bir spektral aralıktaki iŖınımı etkin biçimde algılayabilmektedir [119]. Kararlı ve yüksek oranda kuantum verimliliği için CCD'lerin arka tarafı negatif yüklenmekte ve bu sayede arka taraftaki boŖaltım bölgesi arındırılmakta ve iŖaret elektronları n tarafa doğru sürülerek birikme, transfer ve neticede algılama sağlanmaktadır [119]. Arkadan aydınlatılmıŖ CCD'lerin %90'a varan yüksek kuantum verimliliği mevcuttur. Spektrometre tasarlanırken, kullanılacak CCD, bu özellikler dikkate alınarak belirlenmelidir. CCD kameralar vakum içi ve vakum dıŖı olmak üzere de ikiye ayrılır [120]. Lazer ile oluŖturulmuŖ plazma ortamlarından yayılan x-iŖınlarının üretildiği vakum ortamına uyum sağlayamayan CCD kameralar vakum hücresi dıŖına yerleŖtirilmelidir.

Yük etkileŖimli cihazlar (CCD) x-iŖını görüntüleme sistemlerinde detektör olarak çok sık tercih edilen cihazlardır [107]. CCD x-iŖını detektörler yüksek hassaslığa, iyi iŖaret/gürültü oranına, geniŖ dinamik aralığa ve iyi uzaysal çözünürlüğe sahiptir. İki boyutlu dizi detektör Ŗeklinde olan CCD kameralar spektroskopik cihazlarda fotografik filmlerin yerine kullanılır [83]. X-iŖını hassaslığı olan CCD lineer yanıtı

ve bilinen kuantum verimliliği (QE) ile iyi bir gerçek zamanlı detektördür [110]. Yüksek uzaysal çözünürlük, düşük doğal gürültü, üstün (mükemmel) lineer yanıt ve yüksek kuantum verimliliği ile CCD kameralar x-ışını filmlere ve diğer iki boyutlu foto-elektrik detektörler ile karşılaştırıldığında çok caziptir. CCD kamera, lazer ile üretilen plazmaların x-ışını spektroskopisinde düz veya kavisli kristal spektrometrelerde ve yansıtıcı veya geçirici ızgaraya sahip spektrometrelerde kullanılır [84,121-123]. Özellikle polikromatik (çok renkli) ışığa için x-ışını spektroskopik cihazlarının maksimum verimliliği CCD kristal spektrometrenin odak düzleminde kullanıldığında kazanılabilir. CCD lineer dizilerinin uzunluğu dispersiyon (dağılım) yönünde olduğundan geniş bir spektral aralığı kapsar. CCD lineer dizisi x-ışını detektör olarak kullanılıyorsa her bir CCD pikseli dispersiyona (dağılıma) dik yönde piksel yüksekliği boyunca (over) ışınımı toplar. Bu yüzden yalnızca bir boyutlu görüntü gözlemlenir.

CCD lineer dizileri tamamen kalibre edilebilir [124]. Lazer ile üretilen plazmalar bir x-ışını kaynağı gibi kullanılabilir. CCD'nin hassaslık, spektral yanıt ve kuantum verimliliği ölçümleri lazer ile üretilen plazmalardan yayılan ışınlar kullanılarak yapılabilir. CCD kameranın kalibrasyon işlemi bilinen şiddetteki monokromatik ışığa ile detektöre ışın göndererek yapılır [125]. CCD'nin gelen foton akımı (foton/piksel) ile işaret (sayım/piksel) karşılaştırması verilen foton enerjisinde her bir pikseldeki mutlak CCD hassaslığını, N_0 (foton/sayım), verir [126].

CCD'nin gürültü performansı, CCD'nin belirleme limitini (sınırını) tanımlar. En belirgin olan gürültü kaynakları, kara akım gürültüsü ve foton atım (photon shot) gürültüsüdür. CCD'nin sürücü bilgisayar programı yardımı ile kara akım (dark current) gürültüsü çıkarılır ve tabana çekilir. Poz alma zamanında (exposure time) birkaç sayıma uygun gürültü CCD'nin belirleme limitlerini tanımlar. Minimum poz alma, n_{min} (foton/piksel) veya (foton/ μm^2), kara akım gürültü seviyesinde belirlenebilir. Poz almaları karşılaştırıldığında, CCD fotoğrafik filmde çok daha hassastır [83]. Uzun poz alma sürelerinde düşük foton işaretlerini ölçmek için kara akım gürültüsü azaltılmalıdır, bunun için CCD soğutulur. Genelde CCD soğutulması için nitrojen soğutması uygulanır [125], Peltier soğutmalı geri aydınlatmalı CCD kullanımı yaygınlaşmıştır [128], bunun yanı sıra kriyojenik (cryogenic) soğutmalı

CCD kamera da kullanılmaktadır [91]. Diğer önemli gürültü kaynağı foton atım gürültüsüdür. Bu gürültünün karakteristiği gelen foton akımının artışında olduğu gibi büyümesidir. Belirsizlik Poisson dağılımını izler ve foton sayısının, N_1 , kare kökü ile orantılıdır. Foton atım gürültüsü CCD'nin kuantum verimliliğini (QE) hesaplamak için kullanılabilir. Kuantum verimliliği;

$$QE = \frac{N_1}{N_0} \quad (3.10)$$

eşitliği ile verilir, boşalan (depleted) foton sayısının (N_1) gelen foton sayısına (N_0) oranı alınarak hesaplanır. Cihazın görüntü kalitesi ve çözünürlüğü başlangıçta iyi değildir, bir süre sonra teorik olarak hesaplanan değerlere ulaşır. Bunun için geçen zaman poz alma süresidir (exposure time). Poz alma süresi CCD kameranın yazılımında belirtilir, bu sürenin plazmanın oluşumunu kaydedebilecek mertebede olması gerekir. Plazmanın başlangıcı, oluşumu ve bozunumu çok kısa zamanda gerçekleşen işlemlerdir, bir kaç μ s civarındadır. Bu süre göz önüne alınarak, poz alma süresi belirlenmelidir.

3.2.4 Filtre (Window)

Çalıştığımız dalga boyu bölgesinin dışındaki ışınları engellemek veya kullandığımız malzemelere x-ışını gibi zararlı ışınların etkisinden korumak için filtreler kullanılır. Özellikle x-ışını spektrometre tasarımlarında, hem spektrometreyi oluşturan kristal, ızgara ve detektör gibi materyalleri korumak hem de morötesi ve görünür bölge ışınlarını engellemek için filtreler kullanılır.

Filtrelerin farklı amaçlarda kullanılabilen bir çok çeşidi vardır. Işın filtreleri sürekli ışınlar veren bir kaynağın yaydığı ışınlardan belli bir ışımaya bandı dışındaki bütün dalga boylarını soğurarak çalışır, girişim (geçirme) filtreleri ve soğurma filtreleri olarak ikiye ayrılır [129] Filtreler ayrıca kullanım alanlarına göre; renk filtreleri, yansıtıcı filtreler, kızıl-altı ışıyı soğuran filtreler, mor-ötesi filtreler, nötral yoğunluk filtreleri, uzun dalga boylarını geçiren, kısa dalga boylarını geçiren filtreler, geniş-bant ve dar-bant filtreler [130], polarizasyon filtreler olarak adlandırılırlar [131,132]. Tüm filtreler sıkı kaplama tekniği ile üretilir [132]. X-ışını spektroskopisinde

Alüminyum filtre [71,111,133], plastik filtre [71], Berilyum filtre [111,130] ve daha bir çok filtre çeşidi kullanılmaktadır [134]. Filtreler malzemelerine ve kalınlıklarına göre bazı dalga boylarını geçirir, dalga boyuna bağlı geçirim grafikleri incelenerek ilgilenilen dalga boyuna ait ölçüm yapmaya uygun filtre seçilir. Daha kısa dalga boylu ışınlarda Be filtreleri tercih edilir [121]. Soğurum filtrelerinin tersine yansıtma filtreleri kritik dalga boyunun altındaki yayınıcı geçirmezler. Bu özellikleri ile verilen spektral bölgede meydana gelen istenmeyen çoklu derecede üst üste binmeleri kaldırdığı için yansıtma filtreleri bu uygulamalarda idealdir. Filtre kalınlığındaki belirsizlik kalınlık ile orantılıdır. Deneysel geçirme belirsizliğini azaltmanın basit bir metodu her bir cihazda sabitlenmiş başlangıç (primary) filtresi kullanmaktır ve ikinci daha ince ikinci bir filtre ile değiştirilebilir. Bu başlangıç filtreleri ile tüm veriler alınır. Elmas, polimer ve boron gibi filtrelerin hepsi ışık geçmesini engellemek ve elektriksel iletkenliği sağlamak için 200-800 µm kalınlığında Alüminyum ile kaplanırlar. İnce filtrelerin geçirimi pencere maddesine ve ışının enerjisine bağlıdır. Boron nitrit, boron hidrit ve polimerler gibi çok elementli pencereler soğurum çizgilerinde saf elementli pencerelerden daha iyi soğuruma sahiptir. CCD kameranin değişebilir ön penceresi (filtresi) x-ışınlarını belirlemek için metalik filtre ile yer değiştirilebilir [135]. Üretilen x-ışınlarının niteliğini etkileyen en önemli faktörlerden biri, demet önüne konulan filtrelerdir. X-ışınları uzun ve kısa dalga boylarına sahip heterojen ışınlar olduklarından, atom numaraları belirli filtreler kullanıldığında, düşük enerjili x-ışınları soğurular ve filtreden sadece yüksek enerjili olanlar geçebilir. Demetteki şiddet kaybının büyüklüğü;

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (3.11)$$

eşitliği ile verilir. Burada μ malzemenin atom numarası, x filtrenin kalınlığı, I_0 , başlangıçtaki şiddet, I ise şiddet kaybıdır. Dolayısı ile şiddet kaybının büyüklüğü filtre malzemesinin elementine ve kalınlığına bağlıdır. Farklı filtreler kullanılarak, farklı dalga boylarını geçirme özelliklerinden yararlanır. Bu özellikleri sayesinde, filtreler spektrum incelemede spektrometrelerin en önemli materyallerinden biri haline gelmiştir. Alınan spektrumdaki ölçüm hassaslığına önemli derecede yarar sağlarlar.

3.4 Sonuç

Bu bölümde hem x-ışını hem de görünür bölge spektrometre ve görüntüleme sistemleri ile ilgili olarak literatür bilgisi verilmiştir. Verilen bu bilgiler ışığında, dördüncü bölümde yapılan spektrometre ve görüntüleme sistemlerinin tasarımları gerçekleştirilmiştir.

4. ELEKTROMANYETİK SPEKTRUMUN X-IŞINI VE GÖRÜNÜR BÖLGESİNDE, ORTAMLARDAN YAYILAN FOTONLARI KAYDETMEK İÇİN SPEKTROMETRE VE GÖRÜNTÜLEME SİSTEMİ TASARIMLARI

Katı hedef üstüne gönderilen lazer ışını ile plazma oluşturulmaktadır, üretilen plazmadan yayılan ışınlar hedef üstünde meydana gelen enerjiye bağlıdır. Atımlı bir lazer kullanıldığında atımlar kısa ve enerji yüksek ise bu lazer ışını hedefin en iç yörüngelerine kadar ilerleyebilir ve x-ışınlarının oluşumuna sebep olur. Yayılan ışınların enerjileri dalga boyu ile ilişkili kavramlardır, bu tez kapsamında; yüksek enerjiye sahip, kısa dalga boylu x-ışınları ve daha az enerjiye sahip 400-700 nm dalga boyu aralığında görünür bölge ışınlarını kaydetmek için spektrometreler yapıldı. Farklı tasarım şekilleri incelenerek spektrometre tasarımı gerçekleştirildi, tasarlanan kristal spektrometre ve ızgara spektrometreler ile ilgili teorik hesaplamalar yapıldı. Bu bölümde, spektrometreler ve görüntüleme sistemlerinin tasarım ve yapım aşamaları yer almaktadır.

4.1 Kristal Spektrometre Tasarım ve Yapımı

X-ışınlarının üretildiği ortamlardan birisi de lazer ile oluşturulan plazma ortamlarıdır. Plazma ortamlarından uzaysal ve spektral yayılımı çözmek için kristal spektrometreler kullanılmaktadırlar. Plazma ortamlarından yayılan x-ışınlarının ölçümleri sonucu elde edilen bilgiler; ortamın elektron sıcaklığı, iyon sıcaklığı, elektron yoğunluğu, plazmanın hareketi, yük dağılımı hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır.

Kristal spektrometreler tasarlanırken başlıca üç faktör ele alınır: Seçilen dalga boyu aralığı, spektral çözünürlük, görüntü parlaklığının uygunluğu. Bu faktörlerin yanında, çözünürlük gücü, lineer ve açısız dispersiyon da tasarım yapılırken dikkate alınması gereken önemli parametrelerdir. Kullanılacak materyallerin özellikleri ve spektrometrenin geometrisi tüm bu parametreleri etkileyen unsurlardır.

Kristal spektrometrede ışınlar Bragg yasasına (Eşitlik (3.1)) göre dalga boylarına ayrılır. Tasarım aşamasında, ölçüm alınacak dalga boyu bölgesi belirlenmelidir, çünkü kristal seçimi ve açı taraması dalga boyuna bağlı değişen parametrelerdir. X-ışını spektrometrelerde ışınları toplamak için yardımcı optik sistemler kullanılmamaktadır. Bu nedenle, açı taraması yapmak için kristalin geometrisi, en önemlisi spektrometrenin geometrisi bu taramayı yapmaya uygun olmalıdır.

4.1.1 Kristal seçimi

Spektrometreler ışığı dalga boylarına ayıran kırınım ağına göre isim alır. Lazer ile üretilen plazmalardan yayılan $\sim 30 \text{ \AA}$ altındaki dalga boyları kristal kırınımı (difraksiyonu) ile çözülebilir. Bragg spektrometresi olarak da adlandırılan x-ışını kristal spektrometre, ışının dalga boyunu ölçer. Spektrometrede kırınım ağı olarak bulunan kristal, yalnızca bir dalga boyunu yansıtabilir.

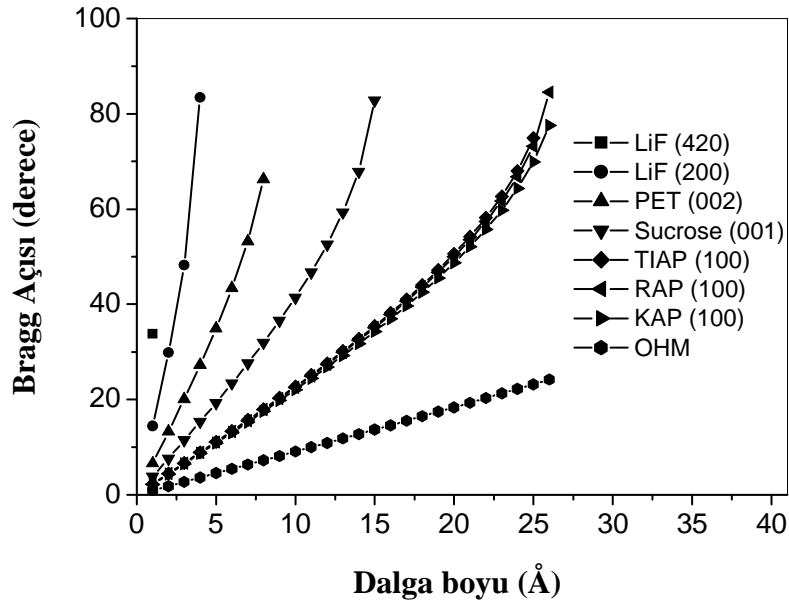
Kristalin seçimi ilgilenilen dalga boyu aralığına uygun olmalıdır. X-ışını spektrometrelerde yaygın olarak tercih edilen kristallerin kullanışlı dalga boyu aralıkları, kimyasal formülleri, Miller indislerine göre değişen $2d$ örgü uzayları Tablo 4.1'de yer almaktadır.

Tablo 4.1: Kristaller ve taradıkları dalga boyu aralıkları [136].

Kristal	Miller İndisi	$2d$ (Å)	Kimyasal Formül	Dalgaboyu Aralığı (Å)
Lityum Florid	(420)	1.801	LiF	0.157-1.72
Lityum Florid	(200)	4.027	LiF	0.351-3.84
PET	(002)	8.742	$C(CH_2OH)_4$	1.5-8.2
Sakroz	(001)	15.12	$C_{12}H_{22}O_{11}$	1.32-14.42
THP, TIAP	(100)	25.9	$TIHC_8H_4O_4$	2.26-24.7
RHP, RAP	(100)	26.12	$RbHC_8H_4O_4$	2.28-24.92
KHP, KAP	(100)	26.63	$KHC_8H_4O_4$	2.32-25.41
OHM	?	63.5	$CH_3(CH_2)_{17}OOC(CH_2)COOH$	5.54-60.6

Tablo 4.1'de yer alan her iki LiF kristalinin de kimyasal yapıları aynı olmasına rağmen, Miller indisleri farklı olduğu için, örgü uzayları farklı, dolayısı ile kırınım

ağı olarak kullanılacakları uygun dalga boyu aralıkları farklıdır. Daha uzun dalga boyları kaydedilmek isteniyorsa örgü uzayı daha büyük olan kristaller seçilmelidir.



Şekil 4.1: Bragg açılarının dalga boyuna göre değişimi.

Farklı kristaller için dalga boyunun bir fonksiyonu olarak Bragg açılarını gösteren grafik Şekil 4.1'de yer almaktadır. Miller indisleri eşit olan TIAP, RAP ve KAP kristallerinin, kristal örgü sabitlerinin yakın olması yalnızca Miller indislerinden değil kimyasal formüllerinin de benzerliğe sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Bu kristallerin birbirine çok yakın Bragg açlarına sahip oldukları Şekil 4.1'de görülmektedir.

Kullanılan kristal düz ise düz alanlı kristal spektrometre, kristal kavisli ise kavisli kristal spektrometre adını alır [137,138]. Düz kristalin işlenmesi daha kolay, fiyatı diğerine göre daha ucuz ve dizilimi kavisli kristale oranla biraz daha rahattır. Kristalin yüzey pürüzsüzlüğü ve yansıtma özelliği ışığı dalga boyuna ayırma işleminde önemli bir faktördür. Düz kristal spektrometre için optiksel yol uzunluğu ilgilenilen dalga boyundan bağımsızken, kavisli kristale sahip olan spektrometreler için çözünürlük ve parlaklık ilgilenilen dalga boyuna bağlıdır. Düz kristaller, kavisli kristallerden daha iyi şiddet kazancına sahiptir, fakat kristalin her bir parçası sınırlı genişlikteki dalga boyunu kırınımına uğratar. Konveks kristal spektrometreler ilgilenilen geniş bir aralıkta spektral dağılımın eş zamanlı ölçümünü yapmakta yetenekli olmasına rağmen dalga boyu kalibrasyonu düz kristalininkinden daha

karmaşıktır. Kavisli kristallerin kullanıldığı geometriler daha iyi odaklama yapmasına rağmen, eğme işlemleri esnasında iç yapılarında oluşan bozulmalardan dolayı düz kristal kullanılması tercih edildi.

Kristal üzerine odaklanan ışın demetleri Bragg yansıma kuralına (Eşitlik (3.1)) göre dalga boyuna ayrıştırılır. Kristallerin örgü uzayı farklılıklarına göre θ açısı değişmektedir, dolayısı ile her biri farklı aralıktaki dalga boylarını ayrıştırabilmektedir. Plazma ortamından yayılan dalga boyu $\sim 30 \text{ \AA}$ altındaki ışınları kırınımına uğratmak için RAP, PET ve LiF kristallerinin kullanımı uygundur [55]. Tasarladığımız spektrometrenin uygulama alanı olan dalga boyu aralığını sağlayan kristallerin Miller indisleri, örgü sabitleri ve kullanışlı dalga boyu aralıkları Tablo 4.2’de görülmektedir.

Tablo 4.2: Uygulama alanının içerdiği elektromanyetik bölgede kullanılması planlanan kristaller.

Kristal ve Miller indisi	Kristal örgü uzayı	Dalga boyu aralığı
RAP{Rubidium Acid Phthalate (001)}	$2d=26.12 \text{ \AA}$	$4.5-24.5 \text{ \AA}$
PET {Pentaerythritol (001)}	$2d=8.74 \text{ \AA}$	$1.5-8.2 \text{ \AA}$
LiF {Lithium Fluoride(200)}	$2d=4.027 \text{ \AA}$	$0.7-3.8 \text{ \AA}$

Spektrometreden alınacak görüntünün sınırlarını kaynak boyutunun yanı sıra kristalin çözünürlük gücü ve kristal kalitesi de belirler. Üçüncü bölümde ayrıntılı verilen bilgiler ışığında, kullanılan kristalin kalitesi, spektrum olarak elde edilecek verilerin görüntü kalitesinde büyük ölçüde rol oynamaktadır. Kristalin yüzey ve iç yapı kalitesi, yansıtması ve sallanma eğrisi etkileri elde edilecek spektrumun görüntü kalitesini etkilemektedir. Bu nedenle, spektrometrelerde kullanılan kristal seçiminde; kristalin x-ışını soğurumunun düşük olmasına, yüksek yansıtma verimliliğine sahip olmasına ve sıcaklık değişimlerine hassas olmamasına da dikkat edilmiştir. Kristalin yapısındaki bozukluk spektrometrenin iyi sonuç vermesini sınırlar ve dağılımlı (dispersed) spektrum alınmasına neden olur. Mükemmel bir spektrum, spektral

çizgilerden dolayı şiddet piklerinin yalnızca bir satırında elde edilir, elde edilen görüntünün bir satırı çizilerek (trace) dalga boyuna bağlı şiddet spektrumu elde edilir. Tasarladığımız spektrometrede kullandığımız kristaller Şekil 4.2’de yer almaktadır.



Şekil 4.2: Kristal spektrometrede kullanılan kristaller.

Düz kristale sahip spektrometreler basit tasarımlar kullanılarak yapıldığı için sağlam ve taşınabilir olmaktadır. Lazer ile üretilen plazma yayınımlarını kaydetmek için tasarlanan spektrometre ölçüm alabilecek uygun parametrelere sahiptir.

4.1.2 Spektrometre geometrisi

Spektrometrenin geometrisi; çözünürlüğü ve açısal dispersiyonu (dağılımı) etkiler. Bu nedenle hassas ölçüm alınması engellenir. Kristal spektrometrede yer alan bileşenlerin birbirlerine göre konumları kaydedilen spektrumlar üstünde etkilidir.

Kavisli kristal spektrometrelerde kaynak, detektör ve kristal, Rowland çemberi denen bir yörünge üstünde bulunur [33]. Farklı dalga boylarını kaydetmek için detektör Rowland çemberi üstünde hareket eder. Bu sayede farklı dalga boylarını toplama verimliliği artmaktadır. Von Hamos kristal spektrometre diziliminde de düz kristal yerine kavisli kristal kullanılır, eliptik kristal kullanılan tasarımı sıkıştırılmış plazmalarda iyonların birbiri ile ilişkilerini değerlendirebilen EXAFS ölçümlerini alabilir [139]. Rowland çemberi kullanan klasik geometri Johann dizilimidir,

RAL'da lazerle üretilen plazmalar için Dunn [140,18] ve grubu tarafından silindiriksel kavisli kristal, Basov [141] ve grubu tarafından da küresel kavisli kristal kullanılmaktadır. Düşük çözünürlük nedeniyle elde edilemeyen; plazma polarizasyon kayması [142,143], Doppler kayma ölçümleri [144], lazer atımlı hedefteki K-kabuğu kayma ölçümleri [146] ve x-ışını çizgi genişliklerinin detaylı araştırması için çift kristalli (DCS) spektrometreler kullanılmaktadır [73]. Bu gibi deneylerde bu cihazın kullanımı ilk olarak Renner tarafından [44] tavsiye edildi. Johann veya Von Hamos dizilimlerinde polarizasyon rol oynamaz ve rezonansın iç birleşme çizgi oranlarına etkisi hesaba katılmamalıdır [147].

Düz kristallerde yüksek çözünürlük gücü; kristal ile kaynak arasındaki mesafeyi uzun tutarak elde edilebilir, fakat aralarındaki mesafenin artması hassaslığın kaybolmasına sebep olur. [130]. Bu sorunu ortadan kaldırmak için kavisli kristallerin yer aldığı Rowland çemberi geometrisine benzer bir geometride düz kristal kullanılabilir. Böylece, spektrometrenin odaklama özellikleri geliştirilerek yüksek hassaslıkla birleşen yüksek spektral çözünürlük elde edilebilir.

4.1.3 Spektrometredeki detektör hareketi

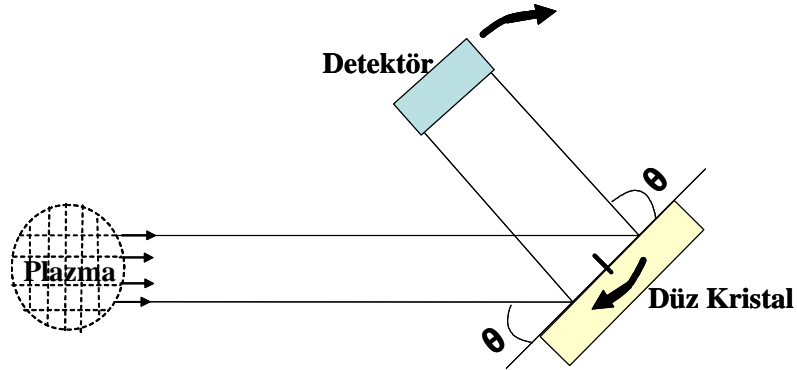
X-ışını kristal spektrometrelerde, yayılan ışıklardan spektrum üretmek için açı taraması kullanılır. Dalga boyu ölçümü yaparken oldukça küçük katı açı ile ışınlar toplanır ve spektrum elde etmek için yavaş tarama yapmak gerekir. X-ışını bölgesinde ışınları toplama optikleri kullanılmadığı için, kristaller yalnızca küçük bir toplama açısı boyunca etkilidir ve toplama verimliliği düşüktür. Ayna yansıması ile hızını sürdürmek yani θ - 2θ taraması sağlanması için detektör iki kat hareket ettirilir. Bu çok yer ve hassas mekanik ister. Son çıkan yazılımlar ve kameralar (CCD) sayesinde bu spektrometreler; eş zamanlı olarak toplama işlemi ve işlemin analizini yaparak spektrum verisi alır. Dalga boyuna karşı şiddet spektrumu kameranın poz alma süresine bağlı değişen çok küçük zaman aralığında elde edilir.

Cihazın verimliliği; kristalin toplam yansıtmasına (integrated reflectivity), katı açı toplamasına ve CCD piksellerinin hassaslığına bağlıdır. Bu nedenle, detektörün seçimi de spektrumun kalitesini etkileyen önemli faktörlerdendir. Kristal

spektrometre tasarlanırken, kristalde ayrışan ışınların CCD kamera piksel boyutuna düşürecek şekilde, en iyi çözünürlüğü sağlayabilecek mesafelere sahip olmasına ve kamera hareketini kolaylaştıracak biçimde olmasına dikkat edilir. Farklı kristallerden farklı dalga boyları ayrıştığı için her birinin kristal yüzeyi ile yaptığı açı farklı, buna bağlı olarak da kameranın konumu farklı yerlerde olacaktır. Beşinci bölümde kristal spektrometrenin kalibrasyon bilgilerinin verildiği kısımda; uygun özelliklerde seçilen CCD kameranın kuantum verimliliği eğrileri yer almaktadır.

4.1.4 Kristal spektrometrenin yapımı

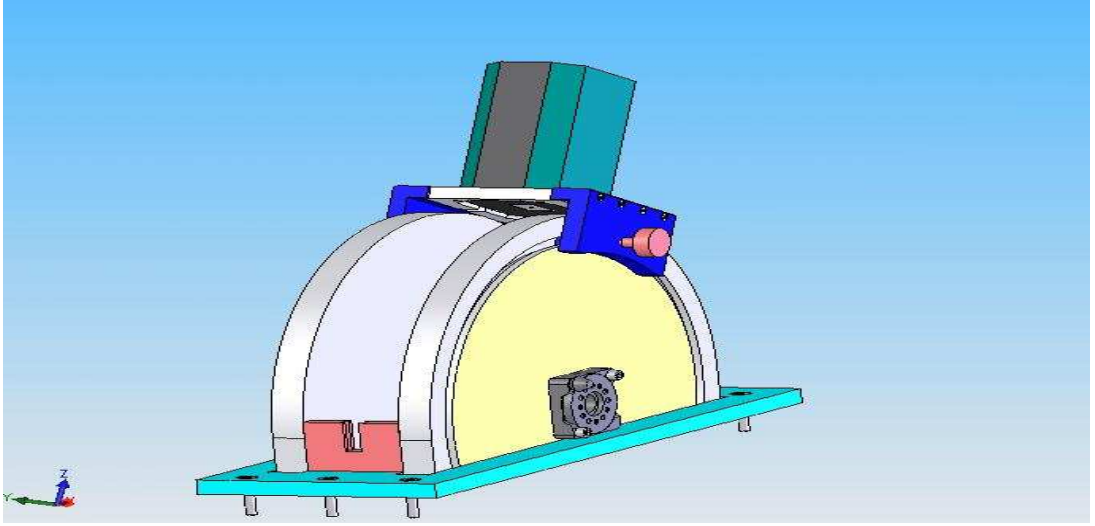
Düz kristalin avantajlarını ve Rowland çemberinin sağladığı üstünlükleri göz önüne alarak, plazma ortamından elde edilen x-ışınlarını ölçmek için kullanılacak kristal spektrometreyi tasarladık. CCD kamera Rowland çemberine benzer bir yörünge üstünde hareket ettirildi, düz kristal ise bu çemberin merkezine yerleştirildi. Böylece tam odaklama yapılması sağlanmıştır. Bu geometriyi kullanarak Mathcad [148] programında Bragg yasası yardımı ile açı ve CCD kamera konumları hesaplandı. Kristalin ve CCD kameranın hareketinin şematik gösterimi Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3: Kristal ve CCD kameranın θ - 2θ bağlantısı.

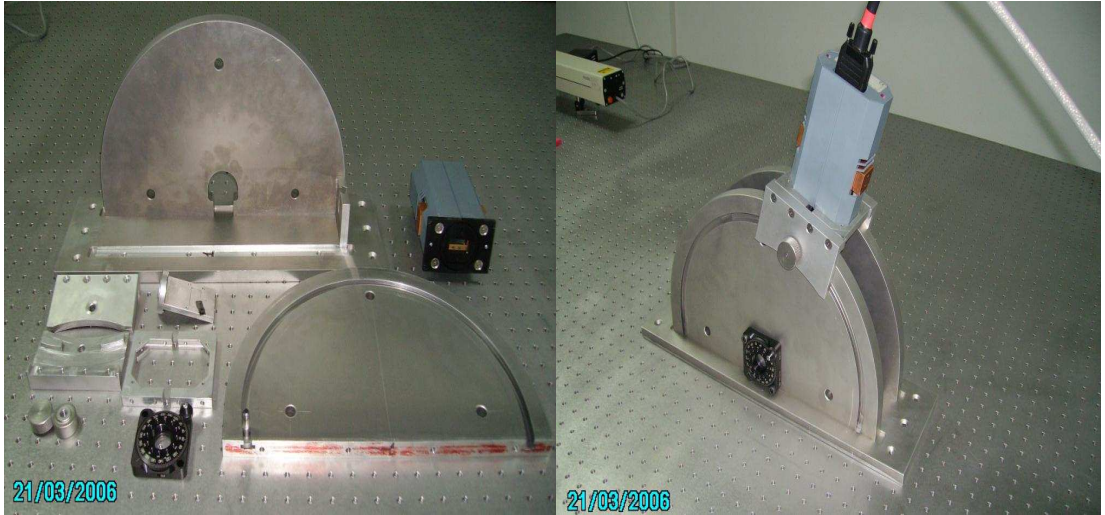
Kullanılan kristallerin hareket ettirilmesi ile dalga boyuna ve kristalin 2d örgü sabitine bağlı olarak Eşitlik (3.1)'i sağlayan açı değerleri tarandı, kristalin hareketinin yanı sıra CCD kameraya da hareket etme kabiliyeti kazandırılması sayesinde daha geniş dalga boyu aralığının taranması ve ışın toplama verimliliğinin artması sağlanmıştır. Tüm dalga boyu aralığını hesaplamak için kristalin döndürülmesi ve CCD kameranın Rowland çemberi üstünde hareket ettirilmesi yeterlidir.

Mathcad programındaki hesaplamalardan yararlanılarak, kristal spektrometrenin mekanik aksamı solidworks üç boyutlu tasarım programı kullanılarak tasarlandı. Tasarım sonucu elde edilen çizim Şekil 4.4’de görülmektedir.



Şekil 4.4: Kristal spektrometre mekanik aksamının solidworks ile gerçekleştirilen tasarımı.

Bilgisayar programı solidworks ile 3 boyutlu çizimi yapılan spektrometre parçalarının yapımı tamamlanarak, montajı Kocaeli Üniversitesi Lazer Teknolojileri Araştırma ve Uygulama Merkezi (LATARUM) laboratuvarında gerçekleştirildi.



Şekil 4.5: Kristal spektrometrenin parçaları ve montajı tamamlanmış görünümü [LATARUM].

Tasarladığımız spektrometrenin geometrisinde, RAP, PET ve LiF kristallerinin tarayabilecekleri dalga boyu aralıkları daha önce Tablo 4.2’de verildi. Seçtiğimiz kristallerin ve tasarladığımız geometrinin özellikleri göz önüne alındığında dalga

boyu 0.7-24.5 Å x-ışını bölgesini tarayabilmektedir. Kristaller ve seçtiğimiz geometriye bağlı olarak, spektrometrenin açısal dispersiyonu;

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{n}{2d} \frac{1}{\cos\theta} \quad (4.1)$$

eşitliği ile verilir. Açısal dispersiyon, Bragg yasasının türevi alınarak elde edilmektedir. $d\theta/d\lambda$ ifadesi λ ve $\lambda+d\lambda$ dalga boyulu ışınların kırınım ağından θ ve $\theta+d\theta$ açılarında ortaya çıktığını ifade etmektedir. Açısal dispersiyon rad nm^{-1} veya x-ışınları gibi daha kısa dalga boyulu ışınlar için rad Å^{-1} birimi ile ifade edilir. Kristal seçilirken $2d$ örgü sabitine dikkat edilmesi gerektiği ve daha yüksek dereceden kırınımların daha büyük dağılıma sebep olduğu sonucu çıkarılır.

Tasarlanan spektrometrenin özelliklerinin etkili olduğu bir diğer parametre de lineer dispersiyondur, bir boyut için $dx/d\lambda$ ifadesi kamera merceği odak düzlemindeki iki dalga boyunun lineer ayrılmasıdır. Lineer dağılım genelde bir birim ile verilmez, fakat ifade etmek gerekirse mm Å^{-1} ile ifade edilir.

Açısal ve lineer dispersiyon arasındaki ilişki;

$$dx = f d\theta \quad (4.2)$$

eşitliği ile verilir. Buradaki f kamera merceğinin odak uzunluğudur. Pratikte ters lineer dispersiyon kullanımı daha fazladır. Ters lineer dispersiyon ($d\lambda/dx$), spektrometrenin düzlem faktörü olarak adlandırılır ve

$$\frac{d\lambda}{dx} = \frac{d\lambda}{f d\theta} \quad (4.3)$$

ile ifade edilir, birimi nm mm^{-1} veya Å mm^{-1} , milimetredeki dalga boyu miktarıdır.

Kristal spektrometrenin çözünürlük gücü; plazma kaynağı boyutu, CCD kameranın piksel boyutu ve kristalin sallanma açısı (sallanma eğrisinin açısal genişliği) tarafından belirlenir ve

$$\frac{\lambda}{\delta\lambda} = \sqrt{\frac{\tan^2 \theta}{(\delta\theta_C)^2 + (\delta_K/L)^2 + (\delta_{\text{piksel}}/L)^2}} \quad (4.4)$$

eşitliği ile verilir [67]. Burada, $\delta\theta_C$; kristalin sallanma açısıdır, raydan olarak ifade edilir. L ; kaynak ve CCD kamera arasındaki toplam mesafe, δ_K ; plazmanın boyutu ve δ_{piksel} ; CCD kameranın bir pikselinin boyutudur. Teorik olarak hesaplanan $\lambda/\delta\lambda$ spektral çözünürlük gücü, R ile de ifade edilir. Kaynak boyutundan dolayı artan çizgi genişliği;

$$\delta\lambda_K = \frac{d\lambda}{dx} \frac{\delta_K}{L} \frac{1}{\sin(\theta + \theta_0)} \quad (4.5)$$

ile verilir. Burada daha önce verilen parametrelerin dışında yer alan θ_0 detektör düzlemini kristalin görüş açısıdır. Kristalin sallanma eğrisinin açısal genişliğinden kaynaklanan kristal spektrometrenin spektral çözünürlüğü;

$$\delta\lambda_\theta = \frac{L \delta\theta_C}{\sin(\theta + \theta_0)} \quad (4.6)$$

ile verilir. Nokta kaynaktan gelen monokromatik yayını Bragg seçim koşullarından dolayı kristal düzleminde konik bölümlere uzandır. Detektör düzlemine kaydedilen spektrum bu nedenle kavislidir.

Kullanılacak materyallerin özelliklerini ve geometrisini belirlediğimiz spektrometrenin parametrelerini kullanarak; dispersiyon, çözünürlük ve çizgi genişliğinin teorik olarak hesaplanabileceği eşitlikler verilmiştir. Bu eşitlikler kullanılarak spektrometre ile alınacak spektrum hakkında sayısal bilgi sahibi olunur. Böylece spektrometreden hangi hassaslıkta ölçüm alınabileceği hesaplanabilir.

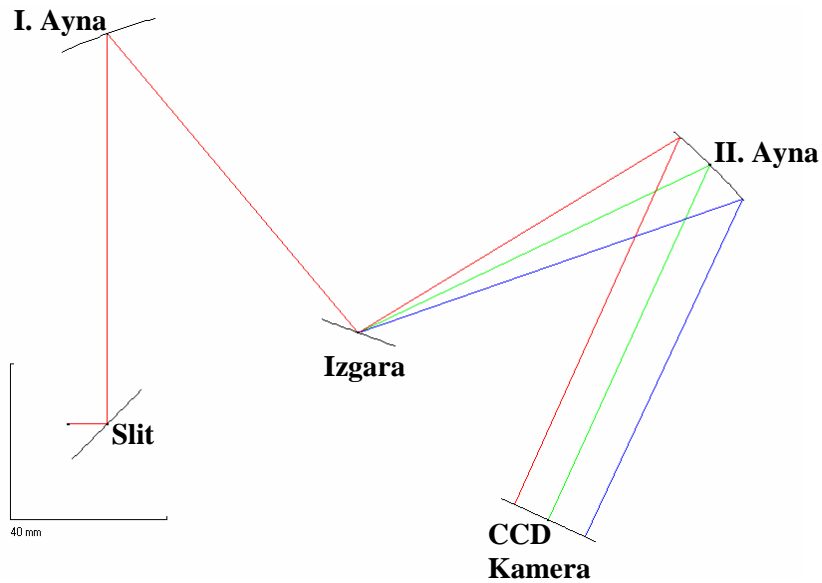
4.2 Görünür Bölge Spektrometresi Tasarım ve Yapımı

Görünür bölge spektrometresi, ışık kaynaklarının, yiyeceklerin ve kimyasalların spektroskopik analizinde kullanılır. Görünür bölge spektrometresi, üçüncü bölümde

incelenen tasarım yöntemlerinden biri olan düz bir kristalin kullanıldığı monokromatör tasarımı olan Czerny-Turner dizilimi temel alınarak tasarlandı. Geometrik olarak iyi ayarlanabilen Czerny-Turner dizilimi ile hemen hemen tüm odaklama problemleri çözülür.

4.2.1 Czerny-Turner dizilimi tasarımı

Görünür bölge spektrometresinin tasarım sisteminde kaynak, monokromatör ve CCD kamera vardır. Czerny-Turner dizilimine sahip monokromatör giriş sliti, iki kavisli ayna ve bir kırınım ağından oluşur. Çözünürlükte önemli rolü olan çıkış sliti yerine CCD piksellerinin çözünürlüğe getirdiği katkılardan yararlanılmaktadır. Görünür bölge spektrometresinde monokromatör olarak kullanılan Czerny-Turner dizilimi Optikwerks programı ile tasarlanmıştır. Optikwerks programı ile optik materyallerin özellikleri ve geometrik parametre özellikleri girilerek tasarlanır, sonucu optik bileşenlerin birbirine göre konumları, ışının izlediği yol ve görüntünün büyüme oranı yanında bir çok parametre hesaplanabilir. Spektrometrede kullanılacak olan ayna, ızgara ve slitin istenen sonuçlara uygun olabilmesi için sahip olması gereken özellikler belirlenir. Optikwerks programı, en uygun Czerny-Turner dizilimini bulmak için; ızgara tipi, slit genişliği, aynaların odak uzunluğu ve çapları gibi optik elementlerin seçiminde kullanıldı. Tasarlanan görünür bölge spektrometresinin şematik gösterimi Şekil 4.6 'da görülmektedir.



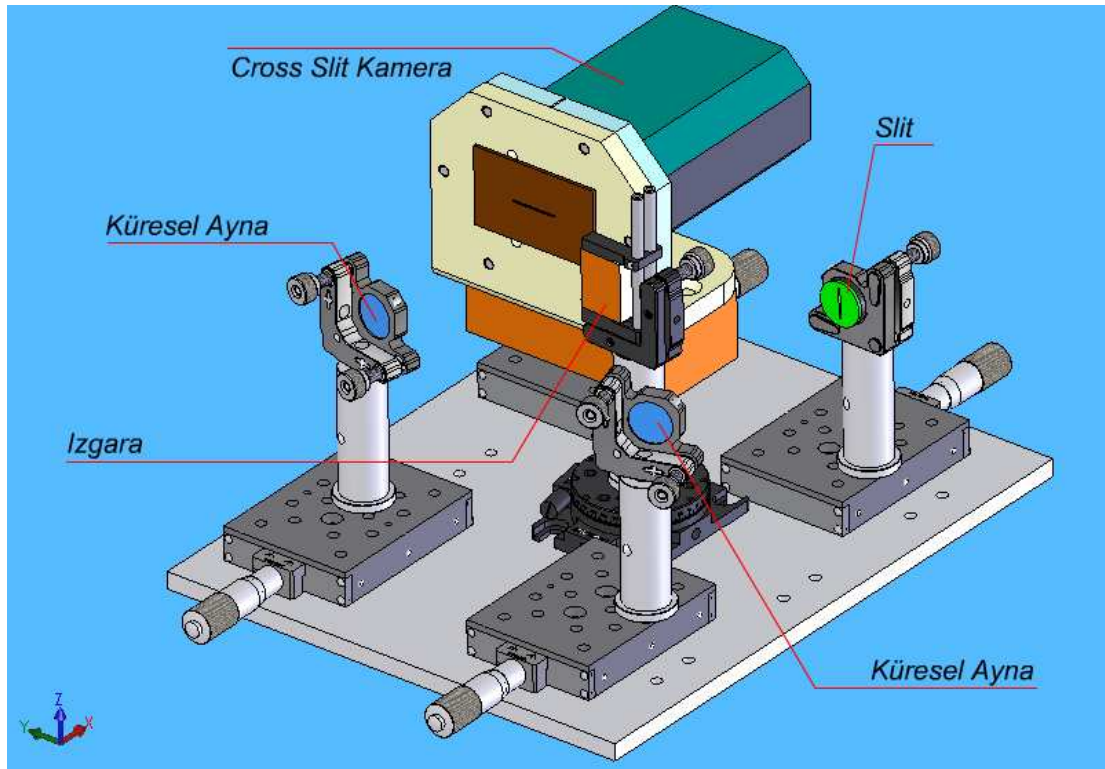
Şekil 4.6: Czerny-Turner diziliminin Optikwerks programı ile tasarımı.

Optikwerks programı ile slit, küresel ayna ve kırınım ağı olarak kullanılan ızgaranın ışınlar üstündeki etkileri, birbirine göre açısal konumları elde edilerek, ızgara tarafından dalga boylarına ayrıştırılan tüm ışınların CCD kamera piksel boyutuna düşürülmesini sağlayan dik eksenli slit kamera tasarımı oluşturuldu.

4.2.2 Görünür bölge spektrometresinin yapımı

Optikwerks programı kullanılarak tasarımı gerçekleştirilen görünür bölge spektrometresi, yapılmak üzere solidworks çizim programı ile tüm parçalar resimlendirilmiştir.

Tasarlanan görünür bölge spektrometresinin solidworks çizim programı ile hazırlanmış görünümü Şekil 4.7 yer almaktadır.



Şekil 4.7: Tasarımı yapılan spektrometrenin solidworks çiziminin görünümü.

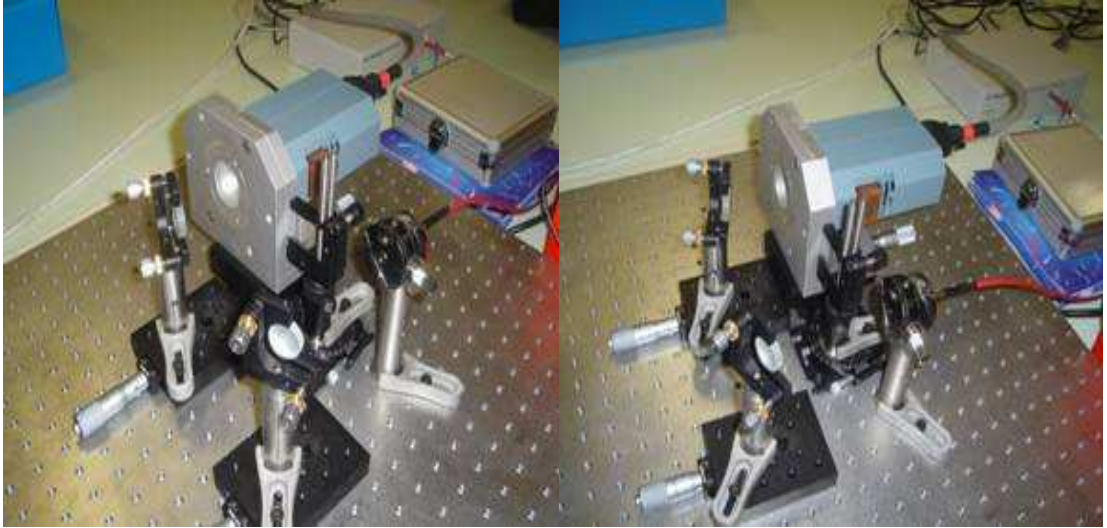
Kaynaktan gelen ışınlar fiber kablo ile giriş slitine taşınır ve slite odaklanır. Slitten geçen ışınlar birinci ayna tarafından paralelleştirilir ve ızgara tarafından dalga boylarına ayrıştırılır, ikinci ayna ışınları detektöre odaklar. CCD detektörde dik

eksenli yarıklı kullanılır. Böylece en iyi çözünürlüklü görüntü CCD kamera üzerinde oluşur. Optikwerks programı ile tasarlanan spektrometrede kullanılan optik materyal parametreleri Tablo 4.3’de yer almaktadır.

Tablo 4.3: Tasarlanan görünür bölge spektrometresi parametreleri.

Küresel aynalar	100 mm odaklı, 25.4 cm çapında aynalar
Izgara	300 çizgi / mm
Slit	Genişliği 18 μm
Dik eksenli slit kamera	Andor Dx 420 CCD kameranın önüne genişliği 50 μm olan slit yatay şekilde yerleştirilmiştir.

Görünür bölge spektrometresinin Czerny-Turner diziliminde yer alan küresel aynalar 100 mm odak uzunluğuna sahip ve çapı 25.4 mm’dir. Kullandığımız düz ızgara milimetresinde 300 çizgi bulunan holografik ızgaradır. Işınlardan spektrometreye girişi olan slit, 18 μm genişliğe ve 3 mm uzunluğa sahiptir. Spektrumun çözünürlüğünü arttırmak için kullanılan dik eksenli slit kameranın yapımı, görüntüleme sistemleri tasarım kısmında yer almaktadır. Görünür bölge spektrometresinin gerçekleştirilmiş tasarımının değişik açılardan çekilmiş fotoğrafları Şekil 4.8’de görülmektedir.



Şekil 4.8: Görünür bölge spektrometresinin değişik açılardan görünüşü.

Spektrometre ile alınan spektrumlarda çözünürlüğün ve görüntü parlaklığının iyi olması istenir. Görüntü parlaklığı detektörün saydığı foton sayısıdır ve spektrumdaki

piklerin şiddetini belirler. Spektrometre ve detektör sisteminin spektral çözünürlüğünün belirlenmesi bu sistemin etkileşiminin hesaplanmasını içerir. Spektral çözünürlük formülünün farklı tasarıma ve materyallere sahip olan x-ışını spektrometre tasarımının formülü ile karıştırılmaması açısından en iyi spektral çözünürlük anlamına gelen ESR ifadesi kullanıldı. Sistemin en iyi spektral çözünürlüğü;

$$ESR = TLD \omega' \quad (4.7)$$

eşitliği ile verilir. Burada TLD, tasarlanan görünür bölge spektrometresinin ters lineer dispersiyonu, ω' spektrometrenin çıkış sliti genişliğidir. Spektrometrenin spektral çözünürlüğü ilgilenilen herhangi bir spektral özelliği çözmek için kullanılır. Görünür bölge ışınları elektromanyetik spektrumun 400-700 nm dalga boyu bölgesinde yer almaktadır, elde edilen spektral çözünürlük nm mertebesindedir. Birimi nm mm^{-1} olan TLD;

$$TLD = \frac{10^6 d \cos \beta}{n f} \quad (4.8)$$

eşitliği ile verilir. Burada d; ızgaranın çizgi frekansı, n; kırınım derecesi, β ; ışının ızgara normali ile yaptığı kırınım açısıdır. Izgarada dalga boylarına ayrılan ışınları detektöre odaklayan aynanın f odak uzunluğu da ters lineer dispersiyonu etkileyen bir parametredir. Spektral çözünürlüğü belirlemede önemli rolü olan çıkış sliti genişliği;

$$\omega' = \frac{W_p}{N_{\text{piksel}}} \quad (4.9)$$

eşitliği ile verilir. Burada W_p piksel genişliğidir. Slitin görüntüsü verilen dalgaboyuna bağlı olarak detektörde bir kaç piksel kaplar. N_{piksel} ise iki veya daha çok piksel tarafından belirlenen piksel çözünürlüğü olarak adlandırılır. Monokromatik kaynağın optik çözünürlüğü, (FWHM; yarı maksimumdaki çizgi genişliği) cihazın çözünürlük gücüdür. Optik çözünürlük, spektrometrede kullanılan

ızgara ve detektör gibi materyallerin özelliklerine bağlıdır ve başka parametrelerden etkilenmez. Cihazın optik çözünürlüğü;

$$OR = CTLD N_{piksel} \quad (4.10)$$

eşitliği ile verilir. Buradaki *CTLD*;

$$CTLD = \frac{Izgaranın\ spektral\ aralığı}{Detektördeki\ piksel\ sayısı} \quad (4.11)$$

eşitliği ile verilir. *CTLD*; cihazın ters lineer dispersiyonudur, birimi nm/piksel, detektördeki piksel başına düşen dalga boyu miktarıdır.

Spektral çözünürlük, spektral slitlerin genişliği azaltılarak iyileştirilebilir, fakat parlaklık azalacaktır. Genellikle, mümkün olan en monokromatik ışığı üretmek için çok dar slit kullanımı tercih edilir, fakat slitleri daraltmak detektör için enerji kullanılabilirliğini azaltacaktır. En uygun slit genişliği spektral çözünürlük ve detektöre gelen ışın enerjisi miktarındaki sınırları belirler. Geniş bir çizgi geniş bir slitten elde edilir, fakat slitin daralması difraksiyon sınırının altında çizgi genişliğini azaltmaz. En uygun slit genişliği[8];

$$\omega_0 = \frac{f \lambda}{D} \quad (4.12)$$

eşitliği ile verilir. Burada λ görünür bölge ışınlarının dalga boyu, D aydınlanan ızgara genişliğidir. Eşitlik, sabit odak uzunluğu ve aydınlanan ızgara genişliği için dalga boyunun bir fonksiyonudur. En uygun çözünürlük ve çıkış belkide yalnızca bir dalga boyunda kazanılabilir, diğer dalga boylarının çözünürlüğü, ya slit-sınırlı, $\omega < \omega'$ ya da görüntü-sınırlı, $\omega > \omega'$ olur. Uygun çözünürlüğe ve çıkışa sahip olması için giriş ve çıkış sliti genişlikleri ($\omega = \omega'$) eşit olmalıdır, bunun için paralelleştirme aynası ve kamera aynasını eşit odak uzunluklarına sahip olması uygun olur.

4.3 Görüntüleme Sistemlerinin Tasarım ve Yapımı

Son zamanlarda spektrometrelerde yaygın olarak kullanılan CCD kameralar, görüntüleme sistemlerinin büyük bir kısmında detektör olarak en çok tercih edilen cihazlardır. Plazmanın uzunluk, genişlik gibi boyutlarını ve plazmanın düzenli bir yapısı olup olmadığını incelememizi sağlayan dik eksenli slit kamera ve pinhole kamera tasarımında da CCD kamera yer almaktadır.

4.3.1 CCD kamera seçimi

Önden aydınlatmalı CCD'lerin verimli olduğu dalga boyu bölgesi sınırlı iken, geri aydınlatmalı CCD kameralar geniş bir spektrumda verimli sonuçlar verebilmektedir. Görünür bölge spektrometresinde önden aydınlatmalı spektrometre yeterli olmasına rağmen, x-ışını bölgesinde ölçüm alacak spektrometre ve görüntüleme sistemlerinde geri aydınlatmalı ve kuantum verimliliği iyi olan bir CCD kamera tercih edilmelidir. Geri aydınlatmalı CCD kamera , hem x-ışını hem de görünür bölge spektrometreleri ve pinhole kamera ve dik eksenli yarık kamera gibi görüntüleme sistemlerinde kullanılabilir.

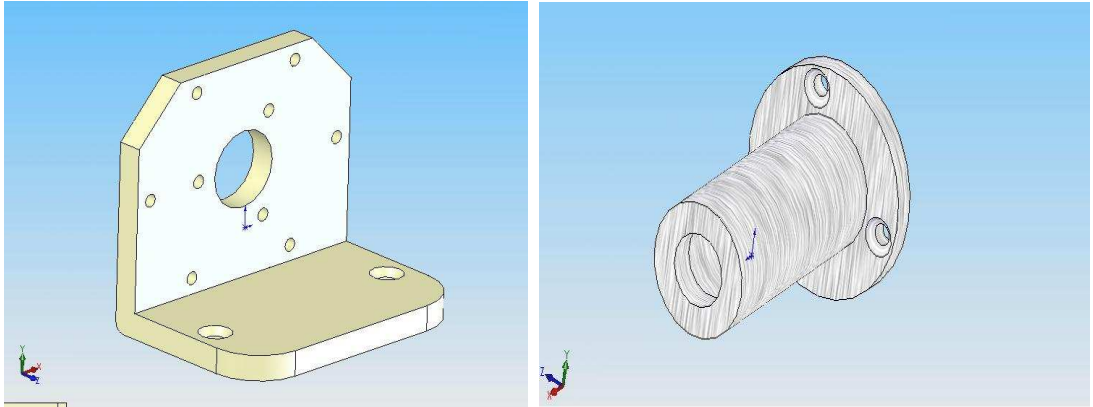
X-ışını ve görünür bölgeyi içine alan geniş bir aralığı kapsayan ışınların belirlenmesi için ticari model ANDOR geri aydınlatmalı CCD kamera kullanılmıştır. 1024x256 piksele sahip lineer dizi detektördür. Her bir piksel 26x26 µm olan genişlik ve yüksekliğe sahiptir. X-ışını spektrometrede ve görüntüleme isteminde kullanılırken CCD kameranın piksellerini x-ışınlarının zararlı etkilerinden ve farklı dalga boyuna sahip diğer bölgedeki ışınlardan korumak için Be ve Al filtreler kullanılmıştır. CCD'nin veri toplama zamanını (integrated time); uygulama alanı ve CCD özelliklerine göre değiştirme olanağına sahibiz. Bunu yapmak için CCD kamera için için yazılan Türkçe yazılım üstünde değişiklik yapmamız yeterli olacaktır. X-ışını bölgesinde lazer ile oluşturulan plazmanın oluşumu ve sona ermesi µs içinde olmakta, yapılan görünür bölge deneylerinde ise bu süre uzamaktadır. Örneğin lazer ile kaynak işlemi yapılırken malzeme üstünde oluşan plazmanın görüntülenmesi için ms veri toplama süresi kullanmak yeterli olacaktır.

4.3.2 Tasarlanan spektroskopik ölçüm aletlerinin yapım ve aksamı

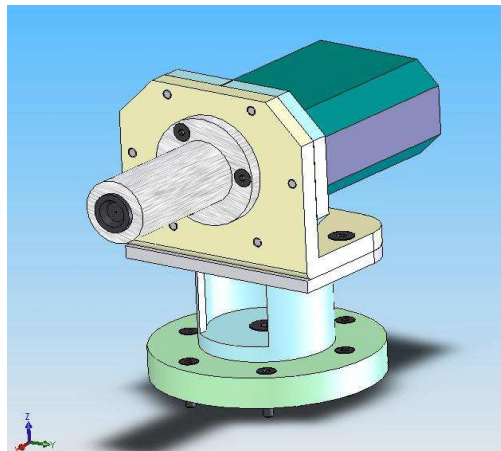
X-ışınlarının elde edileceği plazma ortamının görüntülemek için kullanılan kamera sistemlerinden biri de pinhole (iğne delikli) kameradır. Pinhole kameralar ile boyutları çok küçük olan plazmaların boyutları büyütülerek, iyi bir çözünürlük ile kaydedilmesi sağlanır.

Sisteminde silindirik uzantı tüpü, filtre yeri (wheel) ve CCD kamera yer almaktadır. Geliştirdiğimiz pinhole kamera sisteminde kullanılan kamera yük etkileşimli (CCD) bir cihazdır.

Pinhole kameranın mekanik aksamı solidworks üç boyutlu çizim programında tasarlandı, Şekil 4.9 ve 4.10'da tasarımları görülmektedir.

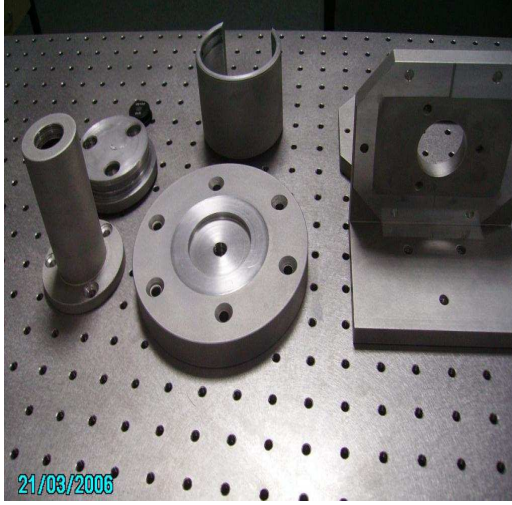


Şekil 4.9: Solidworks üç boyutlu çizim programında çizilen CCD yatağının ve silindirik uzantı tüpünün tasarımı.

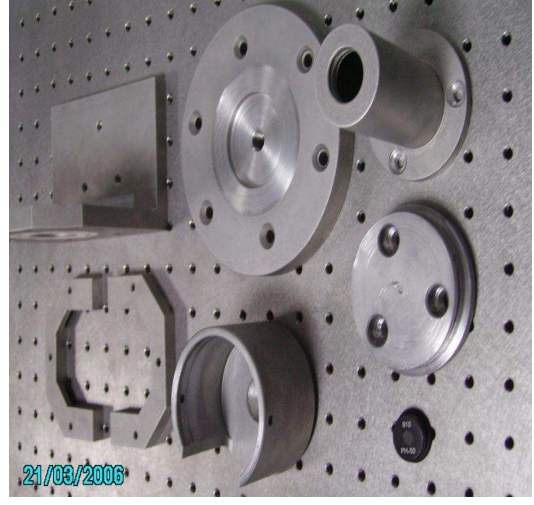


Şekil 4.10: Solidworks üç boyutlu çizim programında pinhole kameranın mekanik aksamının tasarımı.

Şekil 4.11'de solidworks'de yapılan tasarım çizimleri yardımı ile yapılan pinhole kameranın parçaları ve birleştirme aşamaları görülmektedir.



Şekil 4.11 (a) Pinhole kamera sistemi parçaları



Şekil 4.11 (b) Pinhole kamera sistemi parçaları



Şekil 4.11 (c) Pinhole kamera sistemi birleşimi.



Şekil 4.11 (d) Pinhole kameranın önden görünüşü.

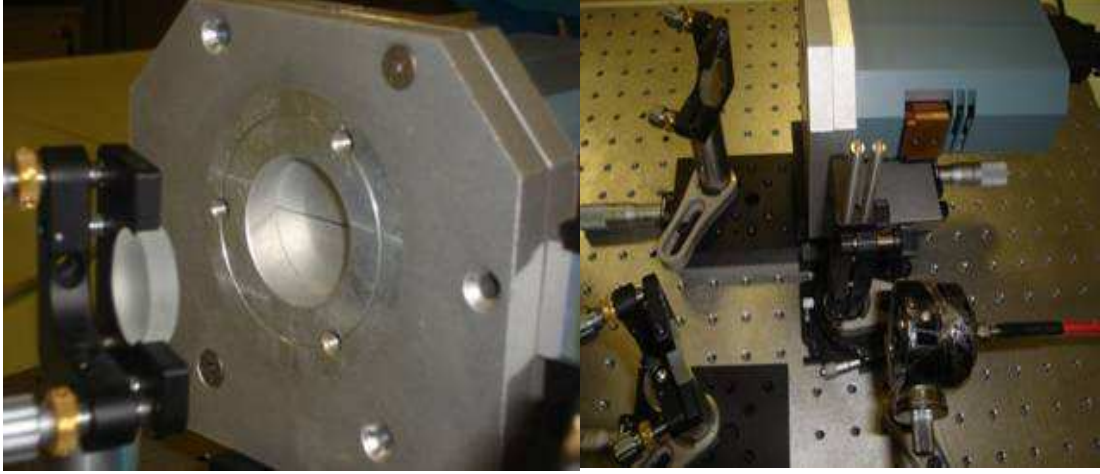


Şekil 4.11 (e) Pinhole kameranın arkadan görünüşü.



Şekil 4.11 (f) Pinhole kamera.

Dik eksenli slit kamera μm mertebesinde enine çözünürlükle plazmanın tüm uzunluğu boyunca görüntülenmesini sağlar. Bu sistem plazma çizgisinin tüm uzunluğu boyunca iki atımın üst üste binmesini kontrol etmeye yardımcı olur. Dik eksenli slit kameranın görüntüsündeki bozulma slit ve görüntü düzlemi arasındaki konumsal ilişkiye bağlıdır. Yapılan dik eksenli slit kamera Şekil 4.12’de görülmektedir.



Şekil 4.12: Dik eksenli slit kameranın önden ve yandan görünümü.

Dik eksenli slit kameranın x-ışını bölgesindeki kullanımı, μm uzaysal çözünürlüklü x-ışını lazer şiddetini ve çizgi odaklamalı plazma düzenliliğini görüntüler.

4.4 Sonuç

Kristal spektrometre; dalga boyu aralığı, spektral çözünürlük, görüntü parlaklığı, çözünürlük gücü, lineer ve açısız dispersiyon göz önüne alınarak materyallerin özellikleri belirlenerek, spektrometre geometrisi tasarlandı ve gerçekleştirildi. Czerny-Turner dizilimine uygun, görünür bölge spektrometresi Optikwerks programında tasarlandı ve materyallerin özelliklerini belirleyen teorik hesaplamalar göz önünde bulundurularak spektrometrenin yapımı gerçekleştirildi.

5. YAPILAN SPEKTROMETRE VE GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİ KULLANILARAK YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Katı, sıvı, gaz ve plazma ortamlarından yayılan ve bu ortamlar tarafından soğurulan elektromanyetik ışınlar spektrometreler ile incelenir ve ortamların özellikleri hakkında bilgi sahibi olunur. Bu tez kapsamında, elektromanyetik spektrumun x-ışını ve görünür bölgesindeki ışın yayınımlarını belirleme özelliğine sahip spektrometreler ve görüntüleme sistemleri tasarlanıp, gerçekleştirilmiştir. Daha hassas spektrum alınmasını sağlayan, dik eksenli slit kamera ve pinhole kamera tasarlanmış ve yapılmıştır.

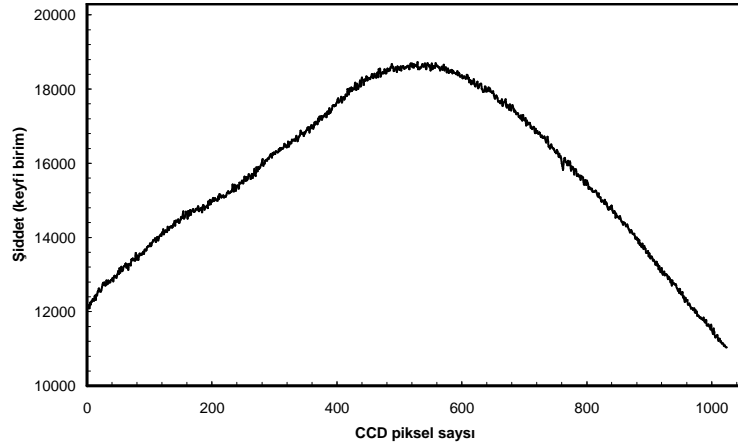
Bu bölümde yapılan spektrometrelerin ve görüntüleme sistemlerinin kalibrasyonları verilmiştir. Lazer ile kaynak işlemi sırasında görünür bölge spektrometresi sırasında kaydedilen spektrumlar ve x-ışını spektrometrenin tasarlanmasında önemli rol oynayan çarpışmalı ışıklı NeF kodu ile yapılan spektrum simülasyonları verilmiştir.

5.1 Görünür Bölge Spektrometresi

Tasarımı ve yapımı dördüncü bölümde anlatılan görünür bölge spektrometresinde yer alan materyallerin kalibrasyon eğrileri elde edilmiş, eğilim çizgilerinin fonksiyonları belirlenerek spektrometrenin Türkçe yazımı içine aktarılmıştır. Kalibrasyon amacıyla görünür bölge spektrometresi ile civa lambasından alınan spektrumlar laboratuvarımızda bulunan ticari bir spektrometrenin spektrumları ile karşılaştırılmıştır. LATARUM'da lazer ile malzeme işleme esnasında yayılan spektrumlar geliştirilen görünür bölge spektrometresi ile kaydedilmiştir. Magnezyum ve Titanyum metallerinin lazerle kaynak edilmesi sırasında alınan spektrumların analiz edilmiştir.

5.1.1 Görünür bölge spektrometresinin kalibrasyonu

Spektrometrede doğru materyal seçimi ve doğru geometrinin belirlenmesinin yanı sıra CCD kamera ve ızgaranın kalibrasyonunun yapılması gerekir. CCD kamera için elde edilen kalibrasyon eğrileri Şekil 5.1 ve 5.2’de görülmektedir.

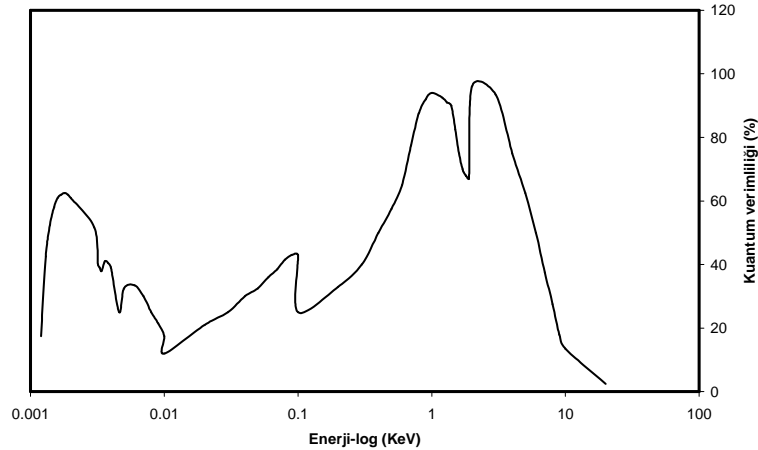


Şekil 5.1: Spektrometrede kullanılan Andor Dx 420 CCD'nin gürültü eğrisi.

CCD kameranın kalibrasyonunda kullanılan Andor Dx 420 CCD kameranın gürültü eğrisi 5.1’de yer almaktadır. Elde edilen eğilim çizgisi;

$$y = -4 \times 10^{-13} \lambda^6 + 1 \times 10^{-9} \lambda^5 - 2 \times 10^{-6} \lambda^4 + 0.0008 \lambda^3 - 0.2008 \lambda^2 + 32.163 \lambda + 11930 \quad (5.1)$$

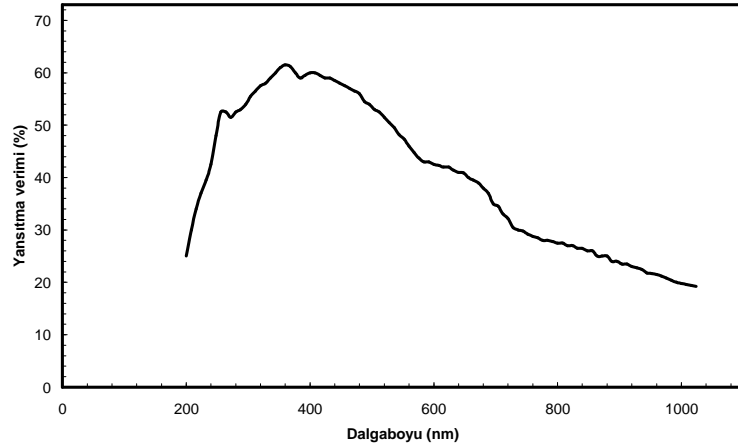
ile verilir. Gürültü seviyesi ve kuantum verimliliği kalibrasyonu iyi yapılan bir kamera gerçek spektrumun alınmasını sağlar. Kameranın kuantum verimliliği ise Şekil 5.2’de yer almaktadır.



Şekil 5.2: Spektrometrede kullanılan Andor Dx 420 CCD'nin kuantum verimliliği.

Kullanılan CCD kameranın kuantum verimliliği fonksiyonu göz önüne alınarak elde edilen eğilim eğrileri, dalga boylarına göre yazılıma eklenerek CCD kameranın kalibrasyon işlemi tamamlanmıştır.

Kalibrasyon aşamasında, ızgaranın yansıtma verimliliği de ele alınması gereken önemli bir parametredir. Şekil 5.3’de görünür bölge spektrometresinde kullanılan ızgaranın yansıtma verimliliğinin dalga boyuna göre değişimi görülmektedir.



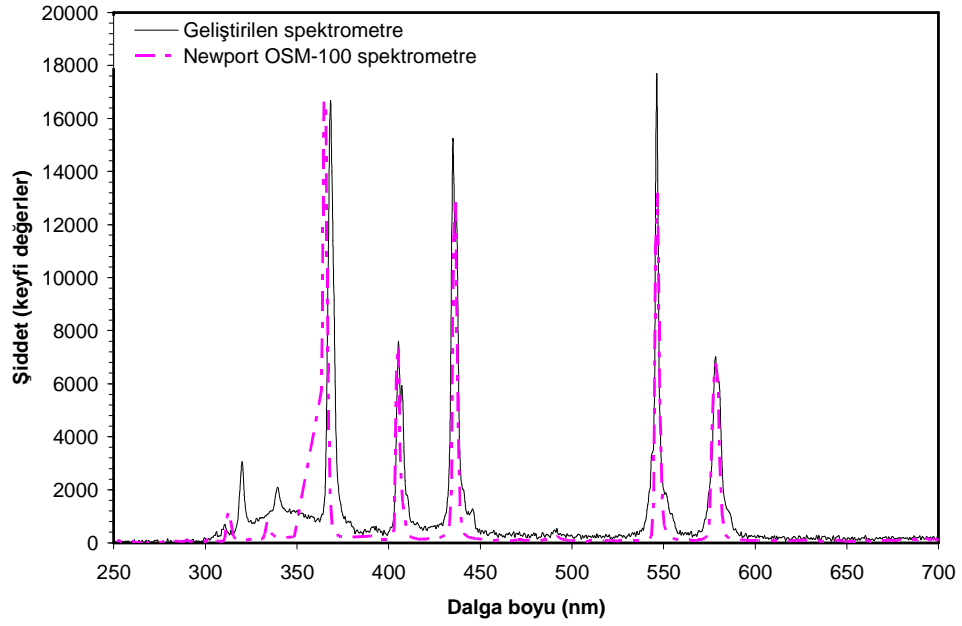
Şekil 5.3: Spektrometrede kullanılan ızgaranın yansıtma verimi.

Izgaranın verimlilik sınırları 200 nm ile 1100 nm aralığında değişmektedir. Grafikten elde edilen eğilim çizgisi;

$$y = -3 \times 10^{-15} \lambda^6 + 1 \times 10^{-11} \lambda^5 - 2 \times 10^{-8} \lambda^4 + 2 \times 10^{-5} \lambda^3 - 0.0102 \lambda^2 + 2.8982 \lambda - 267.45 \quad (5.2)$$

ile verilir.

Görünür bölge spektrometresini oluşturan CCD’nin gürültü eğrisi, kuantum verimliliği eğrisi ve ızgaranın yansıtma verimliliği eğrileri, bu spektrometrenin kullanımı için geliştirilen ve dili Türkçe olan yazılım içerisine yerleştirildi. Yazılıma eklenen bu kalibrasyon eğrileri ile beklenen spektrometrenin en doğru şekilde ölçüm almasıdır. Bu amaçla kaynak olarak civa lambasının kullanıldığı çalışmada, yayılan görünür bölge spektrumları hem geliştirilen görünür bölge spektrometresi ile hem de ticari OSM-100 görünür bölge spektrometresi ile kaydedilmiştir. Alınan her iki spektrumun karşılaştırıldığı grafik Şekil 5.4’de görülmektedir.



Şekil 5.4: Görünür bölge spektrometresi ile kaydedilen ve cıva lambası spektrumu.

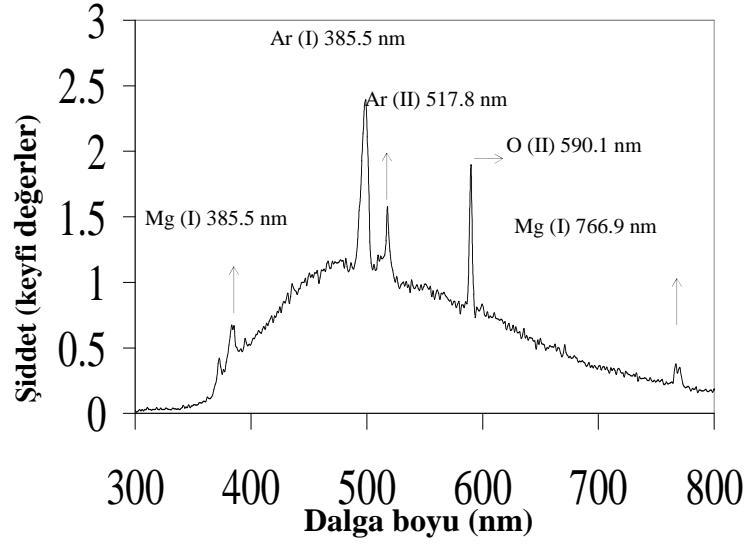
Noktalı çizgiler ile belirtilen spektrum çizgileri Newport OSM-100 spektrometre ile; sürekli çizgi ile belirtilen ise tasarımını yapıp gerçekleştirdiğimiz spektrometre ile kaydedilmiştir. Şekil 5.4'te görüldüğü gibi geliştirilen spektrometre ve ticari spektrometre ile kaydedilen spektrumlar çok büyük bir yaklaşıklık ile örtüşmektedir.

5.1.2 Lazer ile kaynak sırasında oluşan plazmadan yayılan görünür bölge spektrumunun kaydedilmesi

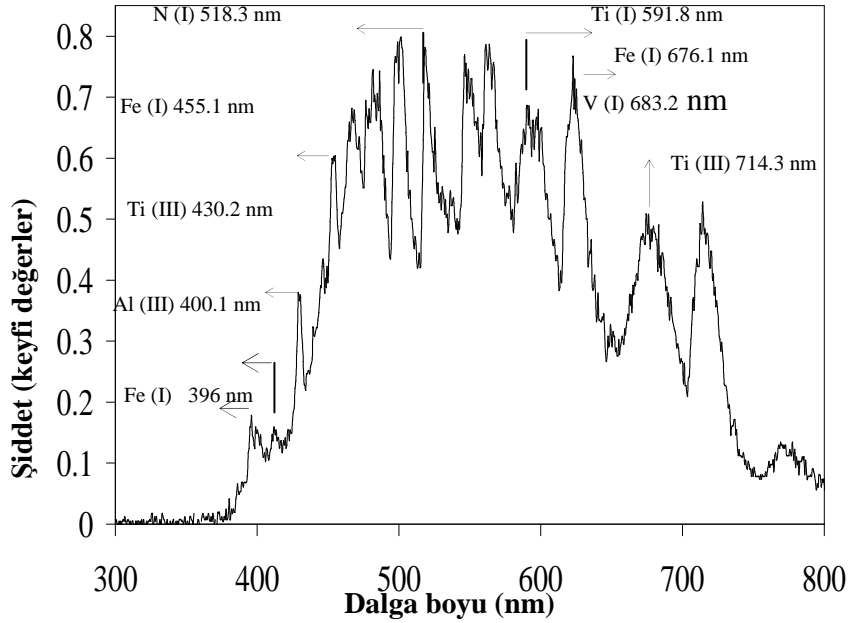
Lazer ile malzeme kaynağı işleminin spektroskopik karakterizasyonu; lazerlerin dalga boyu karakterizasyonu, gazların soğurumu ve atomik yayınım çizgilerinin belirlenmesi gibi uygulamalar için idealdir. Oluşan plazmadan yayılan yayınım piklerinin şekillerinin ve şiddet oranlarının elde edilmesi ile sıcaklık ve yoğunluk hesaplamaları yapılabilir [152].

Günümüz teknolojisinde düşük ağırlıkları, mükemmel korozyon dirençleri ve kolay işlenebilirlikleri nedeni ile titanyum (Ti) ve magnezyum (Mg) alaşımları geniş ölçüde kullanılmaktadır. Bu alaşımların kaynak işlemi sırasında spektrumları alınarak alaşımların bileşimleri hakkında bilgi sahibi olunur.

Magnezyum ve Titanyum alaşımlarının lazer ile kaynak işlemi [149] sırasında alınan spektrumlar Şekil 5.5 ve 5.6'da görülmektedir.

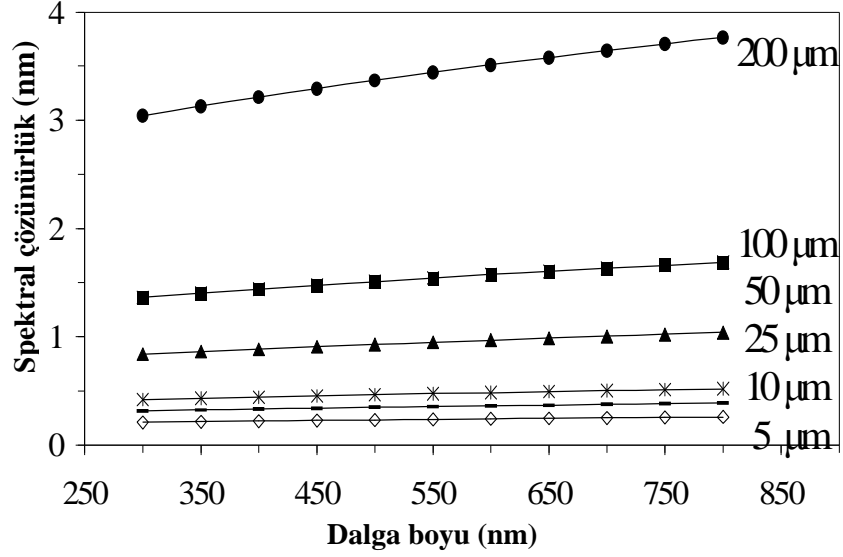


Şekil 5.5: Görünür bölge spektrometresi kullanılarak Mg plakanın lazer ile kaynak işlemi sırasında kaydedilmiş spektrumu.



Şekil 5.6: Görünür bölge spektrometresi kullanılarak Ti plakanın lazer ile kaynak işlemi sırasında kaydedilmiş spektrumu.

Optikwerks yazılımı kullanılarak; ızgara tipi, slit genişliği, aynaların odak uzunluğu ve çapları gibi optik elementlerin özellikleri belirlendi. Slit seçiminin spektral çözünürlükteki etkisini göstermek amacıyla Eşitlik 4.7 kullanılarak belirlenen, farklı slit genişlikleri için, dalga boyuna göre spektral çözünürlük değişimi Şekil 5.7’de görülmektedir.



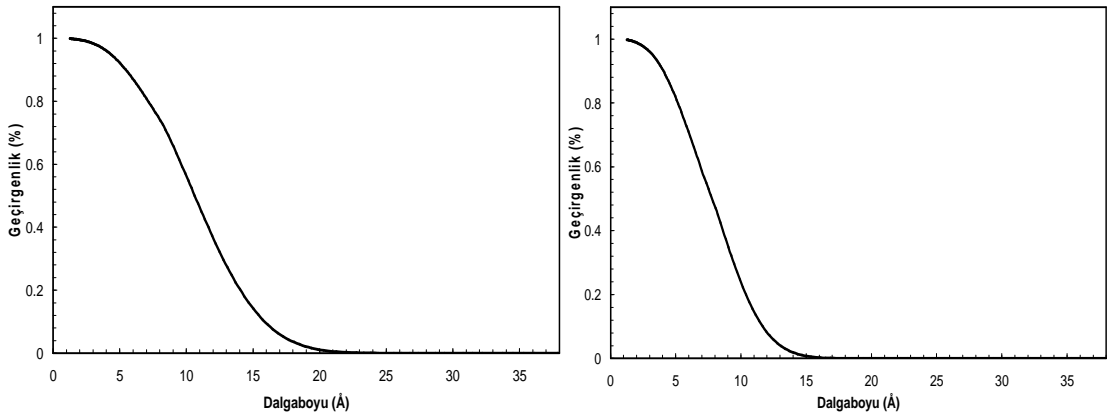
Şekil 5.7: Görünür bölge ve CCD sisteminin spektral çözünürlüğü.

5.2 X-Işını Kristal Spektrometre

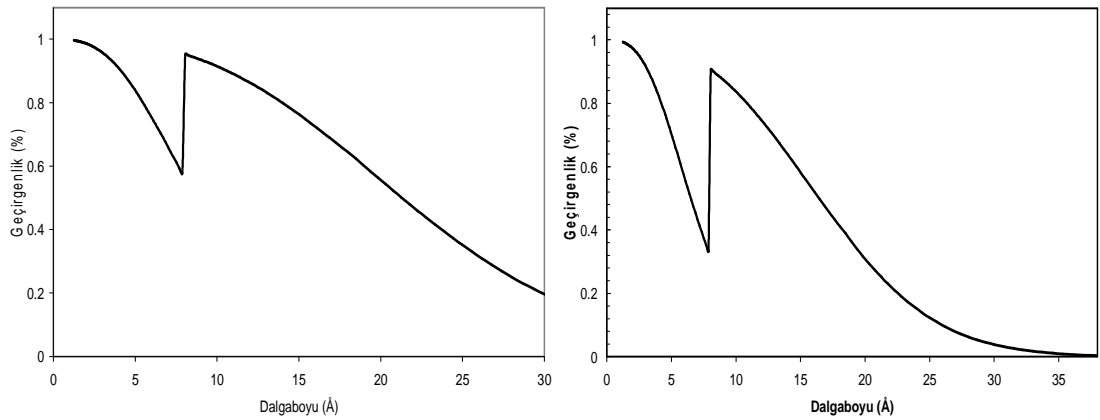
Lazer ile üretilen plazma ortamlarından yayılan, dalga boyu $\sim 30 \text{ \AA}$ 'dan küçük x-ışınları kristal spektrometreler kullanılarak belirlenmektedir. Kristal spektrometrenin tasarımı yapılırken materyal seçiminde dikkat etmemiz gereken noktalar üçüncü bölümde, tasarım ve yapım aşaması ise dördüncü bölümde verilmiştir. Spektrometre tasarımında dikkat edilen en önemli nokta, spektrometrenin tüm bileşenlerinin (ızgara, kamera, optik sistemler vb.) kullanılacak olan uygulama alanına uyum sağlayabilir olmalarıdır. X-ışını üretimi ve bunları kaydetmek için kullanılan sistemlerin tasarımı için, x-ışınının üretildiği ortamlardan alınması en olası spektrumların öncelikle modelleme programları ile simülasyonu yapılabilir. Ayrıca spektrometre tasarlanıp gerçekleştirildikten sonra, bu spektrometre ile kaydedilen spektrumlar, simülasyon sonuçları ile karşılaştırılabilir.

5.2.1 Kristal spektrometrenin kalibrasyonu

X-ışını bölgesinde kullanılacak olan kristal spektrometreler için filtreler çok önemli materyallerdir. Hem x-ışını oluşumunda kullanılan hedeften kopan parçaların zararlı etkilerinden hem de spektrumun farklı bölgesindeki ışınların, alınan spektrumu etkilememesi açısından kullanılan filtreler büyük öneme sahiptir. Filtrelerin dalga boyu geçirimi ve soğurumu da spektrum hassaslığını belirlemektedir. X-ışını bölgesinde en yaygın kullanılan Be ve Al filtrenin geçirim grafikleri Şekil 5.8 ve 5.9'da görülmektedir.



Şekil 5.8: Kalınlığı 10 µm ve 25 µm olan Berilyum filtrelerin geçirimlik yüzdeleri.



Şekil 5.9: Kalınlığı 0.5 µm ve 1 µm olan Alüminyum filtrelerin geçirimlik yüzdeleri.

Filtrelerin geçirimleri ve özellikleri ile ilgili ayrıntılı bilgi üçüncü bölümde ayrıntı olarak verilmiştir, Şekil 5.8'de yer alan Be ve 5.9'daki Al filtre grafiklerinden de görüldüğü gibi kullanılan kalınlığın ve elementin filtrenin geçirme yüzdesini etkilediği görülmektedir. Be filtreler daha kısa dalga boylu ışınlarda

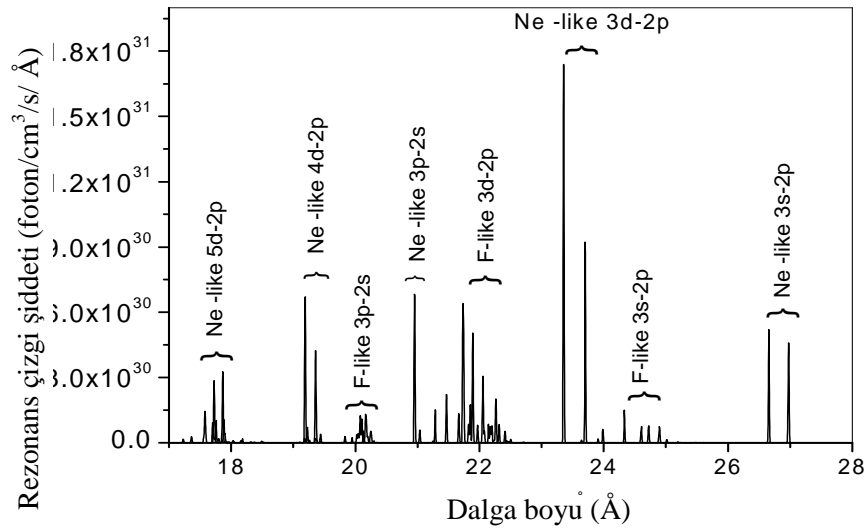
kullanılmaktayken, Al filtrelerin geçirme verimlilikleri daha uzun dalga boylu ışınlarda da iyidir.

5.2.2 Kristal spektrometre için tasarlanan deney sistemi ve tasarım parametreleri

Kristal spektrometrenin hassas ölçüm yapabilmesi için modelleme sonucunda elde ettiğimiz Ne-benzeri ve F-benzeri Ti spektrumunu kullanarak dalga boyu aralığımızı belirledik. İnceleyeceğimiz elementin dalga boyu aralığına uygun kristal seçimi yapılarak, taranacak açı değerleri belirlendi. Kristalin açı taraması yapmasının yanı sıra ışın toplama verimliliğini arttırmak amacı ile CCD kamera hareketinin de hesaplamaları yapılmıştır.

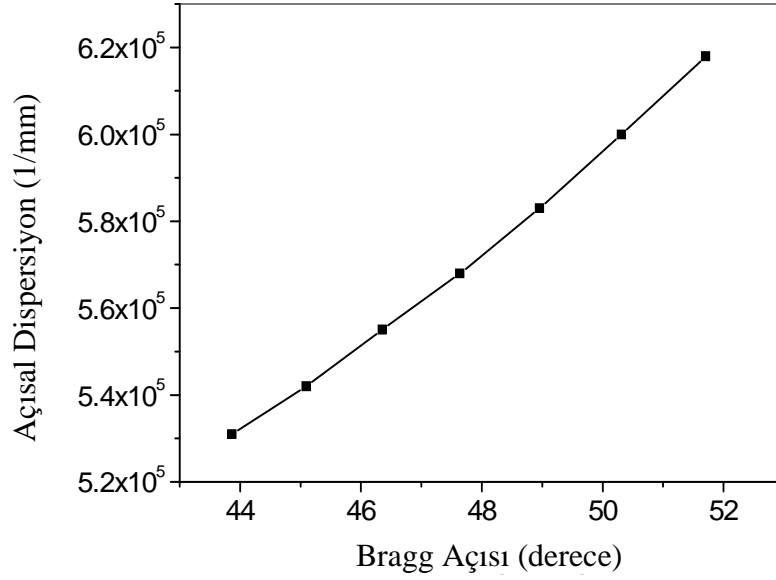
5.2.2.1 Dalga boyu seçimi için kullanılan çarpışmalı ışımali modelleme sonuçları

EHYBRID [150] ve NeF [151,152] gibi hidrodinamik ve çarpışmalı-ışımali kodlar, lazerle üretilen plazmalardan yayılan x-ışınlarının analizi için kullanılmaktadır. Zamandan bağımsız (steady state) koşullarda çarpışmalı ışımali NeF kodunu kullanarak Ti plazmadan yayılan Ne-benzeri ve F-benzeri rezonans çizgilerinin modelleme sonuçları [153], kristal spektrometrenin tasarım aşamasında dalga boyu aralığını belirlemek ve buna bağlı olarak kristal seçiminde kullanıldı. Titanyumun Ne-benzeri ve F-benzeri rezonans çizgileri Şekil 5.10'da görülmektedir [153].



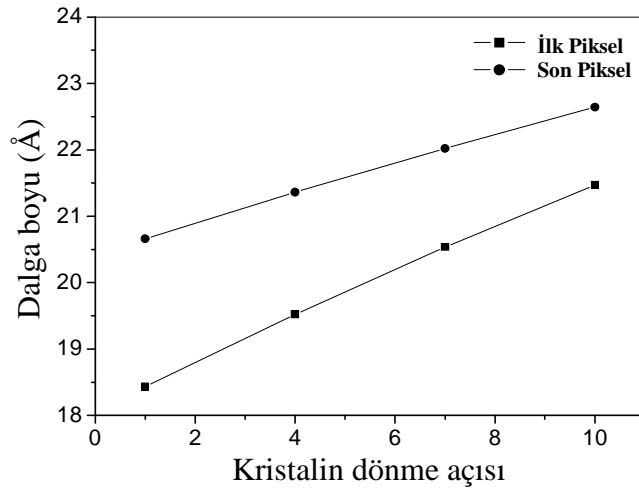
Şekil 5.10: NeF kodu kullanılarak hesaplanan Ne-benzeri ve F-benzeri Ti rezonans çizgi şiddetleri.

İlgilenilen dalga boyu aralığına (18-26 Å) uygun seçilen RAP kristali için açısal dispersiyon verimliliğinin, kristalde kullanılan Bragg açısının bir fonksiyonu olarak değişimi Şekil 5.11’de görülmektedir. Gelen açı derecelerinin artmasına bağlı olarak dispersiyonda artmaktadır. Çözünürlüğün yüksek olması isteniyorsa, şiddet kaybı olsa bile düşük θ açısı ve geniş 2d uzayından kaçınmak gerekir. İlgilenilen dalga boyu aralığına uygun 2d mesafesini seçmek yeterlidir, daha büyük 2d örgü sabiti olan kristallerin seçimi yüksek çözünürlüğü engeller.



Şekil 5.11: Kullanılan kristalin açısal dispersiyon verimliliği.

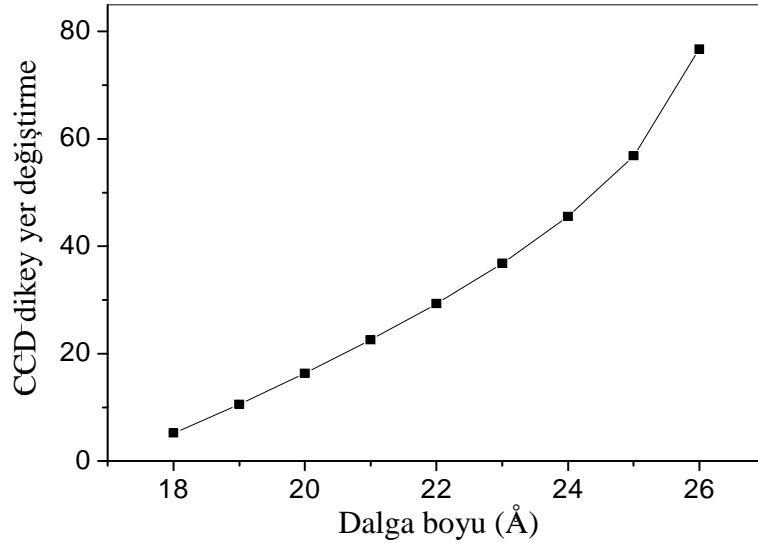
Kristalin dönme açısı ile CCD pikselleri üstünde değişen dalga boyu aralığı Şekil 5.12’de yer almaktadır.



Şekil 5.12: Kristalin döndürülmesine bağlı değişen CCD üstündeki dalga boyu aralığı.

Kristalin döndürülmesi ile istenen dalga boyu aralığı taranır, CCD kamera piksellerine düşen dalga boyu aralığı spektrumun çözünürlüğü hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlar. Başlangıçta kamera pozisyonunu sabit kabul edildiğinde ilk piksele düşen dalga boyu 18.1 \AA , son piksele düşen dalgaboyu ise 20.3 \AA 'dur. Şekil 5.12'den de görüldüğü gibi kristalin bir kaç derece döndürülmesi ile ilk piksele ve son piksele düşen dalga boyları artmış ve CCD piksel boyutuna düşen dalgaboyu aralığı azalmıştır. Kristalin döndürülmesi ile daha sınırlı dalgaboyu aralığı incelense de, piksel başına düşen dalga boyu aralığı azaldığı için çözünürlüğün artmasına neden olmuştur.

İncelenmesi planlanan dalga boyu bölgesi için seçilen RAP kristali ile açı taraması yaparken ışın toplama verimliliğini arttırmak amacı ile CCD kamera da hareket ettirilir. CCD kameranın gerekli taramayı yapabilmesi için dalga boyuna bağlı dikey konumdaki yer değiştirmesi Şekil 5.13'de görülmektedir.

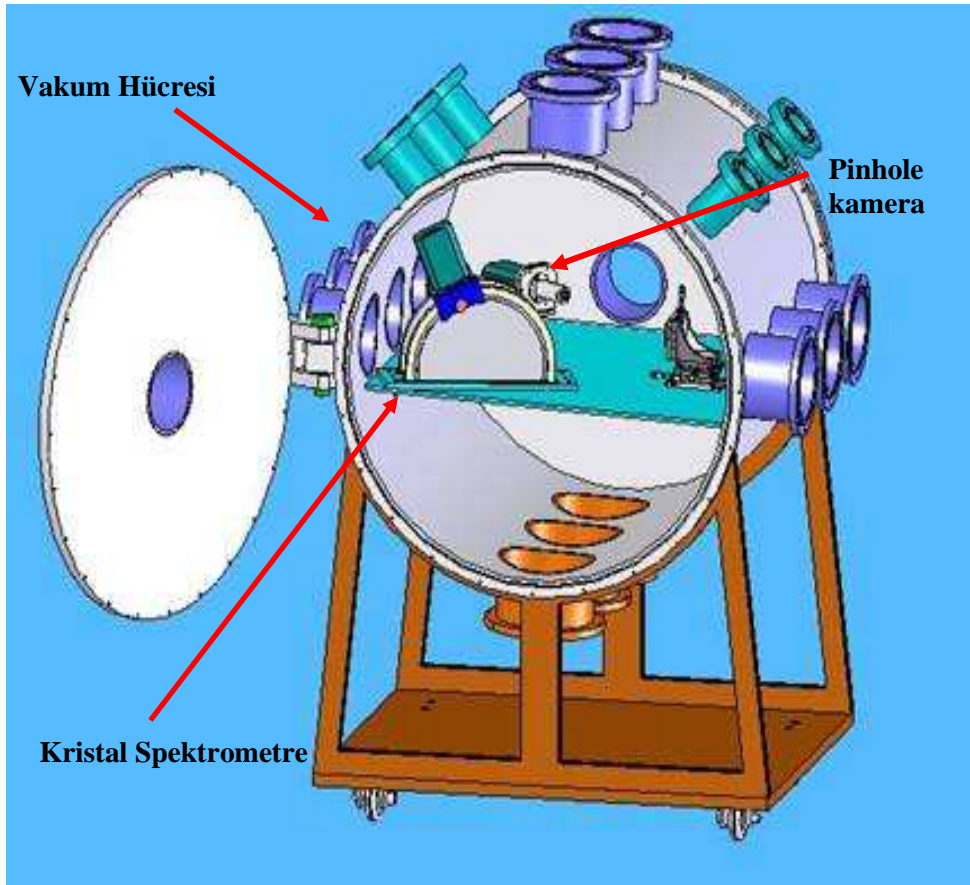


Şekil 5.13: CCD kameranın dikey eksende dalga boyuna göre yer değiştirmesi.

CCD'nin konumunu değiştirerek, sadece kristalin döndürülmesi ile elde edilemeyen dalga boylarını da kaydetme olanağı olur. CCD kameranın hareket edeceği eksen yarım Rowland çemberi olarak adlandırılabilir. Kristalin döndürülmesi ve CCD kameranın hareketi ile Ti plazmadan yayılan Ne-benzeri ve F-benzeri ($17-27 \text{ \AA}$) dalga boyu aralığındaki rezonans çizgilerini kaydetme olanağına sahip olunur.

5.2.3 Kristal spektrometre için tasarlanan deneysel sistem

Çarpışmalı ışımalı NeF kodu kullanılarak hesaplanan Titanyum plazmadan yayılan Ne-benzeri ve F-benzeri rezonans çizgilerini kaydedebilecek spektrometre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Vakum ortamında, Titanyum hedef üzerine lazer ışığı odaklanarak Ne-benzeri ve F-benzeri iyonların bol miktarda olduğu plazma ortamını oluşturmak amacıyla gereken deneysel çalışma düzeneği LATARUM'da kurulmuştur (Şekil 5.14).



Şekil 5.14: Vakum hücresi içerisine yerleştirilen pinhole kamera ve kristal spektrometrenin solidwork ile çizimi.

Lazer ile vurulacak Ti hedefe ve sistemin diğer parçalarına göre spektrometre ve görüntüleme sistemlerinin konumları öncelikle solidworks programı kullanılarak belirlendi ve bu çizime göre LATARUM'da bulunan vakum hücresi içine yerleşimi Şekil 5.15'de görülmektedir.



Şekil 5.15: Vakum hücresi içine yerleştirilen pinhole kamera ve kristal spektrometre (Kocaeli Üniversitesi - Lazer Teknolojileri Araştırma ve Uygulama Merkezi, 2006).

5.3 Sonuç

Bu tez kapsamında, elektromanyetik spektrumun x-ışını ve görünür bölgesindeki ışın yayınımlarını belirleme özelliğine sahip spektrometreler ve görüntüleme sistemleri tasarlanıp, gerçekleştirilmiştir. Daha hassas spektrum alınmasını sağlayan, dik eksenli slit kamera ve pinhole kamera tasarlanmış ve yapılmıştır. Spektrometrelerin ve görüntüleme sistemlerinin kalibrasyonları yapılmış ve kullanıma hazır hale getirilmiştir. Bundan sonraki aşamada LATARUM bünyesinde kurulan laboratuarda gerçekleştirilmesi planlanan, x-ışınlarının üretildiği deneyler ve lazerle kaynak parametrelerinin belirlenmesi deneylerinde, geliştirilen spektrometre ve görüntüleme sistemleri kullanılacaktır.

6. SONUÇ

Geçen yüzyılın ortasından itibaren lazer teknolojileri hızlı bir şekilde gelişmiştir. Bu teknolojinin gelişmesi beraberinde kullanılan cihazlarında geliştirilmesini gerektirmektedir.

Bu tezde, elektromanyetik spektrumun görünür ve x-ışını bölgesinde dalga boyuna sahip ışınların kaydedilmesinde kullanılan görünür bölge ve x-ışını spektrometreler tasarlanmış ve yapımı gerçekleştirilmiştir. Evrende katı, sıvı, gaz ve plazma halindeki maddelerin analizinde kullanılan spektrometrelerin yanı sıra, bu ortamların görüntülenmesinde kullanılan küçük delikli (pinhole) ve dik eksenli (cross slit) kameralar da geliştirilmiştir.

Geliştirilen spektrometre ve görüntüleme sistemleri ile x-ışını lazer ortamlarının büyüklüğü, elektron yoğunluğu ve sıcaklığı gibi parametreler spektroskopik yöntemle ölçülebilir. Lazerle oluşturulan plazma ortamlarının aktif ortam olarak kullanıldığı x-ışını lazerlerin şiddeti, yani yayılan fotonların sayısı da aynı zamanda ölçülebilir. Tasarlanıp, gerçekleştirilen görünür bölge spektrometresi ile lazer ile malzeme işleme uygulamaları sırasında oluşan plazmalardan yayılan ışımaların kaydedilmesinde kullanılabilir, bu sayede kullanılan malzemelerin bileşiminin ve özelliklerinin belirlenmesi sağlanabilir.

Bu tezin temel amacı geniş bir spektrumda kullanılabilir bir spektrometreyi, pinhole ve çapraz-slit (dik eksenli) kamerayı daha düşük maliyetle imal edilebilecek şekilde, daha hassas, daha kolay kullanılabilen Türkçe kullanıcı bilgisayar ara yüzü ile tasarlanmış program kullanmak ve üretmektir. X-ışını spektrometrenin, pinhole ve çapraz-slit kameraların deney yerinde son tasarımları yapılmıştır. Vakum hücresi (vacuum chamber) içine yerleştirilerek konumları ve testleri yapılmıştır. Kocaeli Üniversitesi Lazer Teknolojileri Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde (LATARUM) ve ODTÜ Fizik Bölümü Lazer Laboratuvarında oluşturulacak lazer ile plazma oluşturulacak plazma ortamlarının incelenmesi için kristal spektrometre, pinhole ve çapraz-slit kamera kullanıma hazır hale getirilmiştir. Görünür bölge spektrometresi tasarlanıp bitirilmiş ve merkezimizde yürütülen lazer ile malzeme işleme (titanyum,

magnezyum ve elik gibi malzemelerin kaynak yapılması ve kesme işlemlerinde) kullanılmaya başlanılmıştır. Görünür bölge spektrometresinin dalga boyu kalibrasyonu civa lambası ile algılanan ışınların şiddetleri ile ilgili kalibrasyon için kırınım ağı olarak kullanılan ızgara (grating) dalga boyuna göre değişen yansıtma değerleri, CCD kameranın kuantum verimlilik değerleri ve gürültü değerleri, kullanılacak filtrelerin geçirgenlikleri ve aynaların dalga boyuna göre yansıtmaları göz önüne alınarak, Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümünden Yrd. Doc. Dr. Oğuzhan Urhan ve Yüksek Lisans öğrencisi Halim Cem Kefeli tarafından tasarlanan yazılıma aktarılmıştır. Tez kapsamında yapılan araştırmaların sonuçları grup içi toplantılarda, 2005 yılında Muğla Üniversitesinde düzenlenen Uluslararası Türk Fizik Derneği Kongresinde, 2005 yılında Bilkent Üniversitesi'nde düzenlenen 7. Ulusal Optik, Elektro-Optik ve Fotonik Çalışma Toplantısında bir sözlü ve bir poster olarak sunulmuştur. 2006 yılında İstanbul Üniversitesinde düzenlenen "6th Balkan Physics Conference" ve Koç Üniversitesi'nde düzenlenen 8. Ulusal Fotonik çalıştayında sunulmuştur.

Bundan sonraki aşamada LATARUM bünyesinde kurulan laboratuarda gerçekleştirilmesi planlanan, x-ışınlarının üretildiği deneyler ve lazerle kaynak parametrelerinin belirlenmesi deneylerinde, geliştirilen spektrometre ve görüntüleme sistemleri kullanılabilir. Geliştirilen bu spektroskopik ölçüm sistemlerinin kullanılabilereği bir çok bilimsel deney tasarlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Maxwell, J. C. , “A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field”, *Phil. Trans.*, 166, 459-512, 1865.
- [2] Wackerroth, D., 2005, ElectromagneticWaves [online], Buffalo University, PHY102A, http://ubpheno.physics.buffalo.edu/~dow/lectures/phy102/ch24_print.pdf , (Ziyaret tarihi: 26 Ekim 2005)
- [3] Sengupta D. L. and Sarka T. K., “Maxwell, Hertz, the Maxwellians, and the Early History of Electromagnetic Waves”, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 45 (No. 2), 13-19, 2003.
- [4] Webb, L., and Dover, L., Catch, 1996, *Catch the Waves* [online], <http://amazing-space.stsci.edu/resources/explorations/light/ems-frames.html>, (Ziyaret tarihi: 14 Mayıs 2004).
- [5] Barstow, M., 2005, *Cosmic Fingerprinting: The Key to Understanding the Universe* [online], Leicester University, www.star.le.ac.uk/~mab/lit/cosmic_fing_lp.pdf, (Ziyaret tarihi: 26 Ekim 2005).
- [6] Hunt, T., 2000, *Was Newton the first to show that visible light is polychromatic?* [online], ENGINEERING SCIENCE AND EDUCATION JOURNAL, ieeexplore.ieee.org/iel5/2222/18763/00866903.pdf?arnumber=866903, (Ziyaret tarihi: 26 Ekim 2005).
- [7] Trombka, J. I., Schweitzer, J. S., 2004, *Dual Technology Programs in the Development of Technologies for Unattended and Remote Systems* [online], IEEE, ieeexplore.ieee.org/iel5/9356/29717/01352679.pdf, (Ziyaret tarihi: 26 Ekim 2005).
- [8] Thorne, A., Litzen, U., Johansson, S., “Spectrophysics Principles and Applications”, *Springer*, 187-194, 277-283 (1999).
- [9] Lochner, J., Regions of the Electromagnetic Spectrum [online], http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/science/know_11/spectrum_chart.html, (Ziyaret tarihi: 14 Mayıs 2005)
- [10] Taylor, J. R., Zafaritos, C., “Fizik ve Mühendislikte Modern Fizik”, Karaoğlu B., *ARTE GÜVEN*, 93-98, (1996).
- [11] Gaffney, K. J., Lindenberg, A. M., Larsson, J., Sokolowski-Tinten, K., Blome, C., Synnergren, O., Sheppard, J., Reis, D. A., Hastings, J. B., “Ultrafast x-ray studies of structural dynamics at SLAC”, *Proc. SPIE*, SLAC-PUB-11509, 1-8, 2005.

- [12] Butcher, G., Radio Waves [online], <http://imagers.gsfc.nasa.gov/ems/radio.htm>, (Ziyaret tarihi: 14 mayıs 2005).
- [13] Kuzsa, K. “Using radio waves to study planetary atmospheres”, *IEEE Potentials*, 4, 39-40, 2004.
- [14] Jagadeesh, G., Takayama, K., “Novel applications of micro-shock waves in biological sciences”, *Indian Institute of Science*, 82, 1-10, 2002.
- [15] Fisher, R. E., “Gray-code analog-to-digital converter”, *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, 16 (No:8), 541-547, 1968.
- [16] Mandai, K., Miyauchi, K., Sugimoto, M., “An Advanced Infrared Remote Control Sensor”, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 36 (No. 3), 669-677, 1990.
- [17] Cope, R. B., Loehr, C., Dashwood, R., Kerkvliet, N. I., “Ultraviolet radiation-induced non-melanoma skin cancer in the Crl:SKH1:hr-BR hairless mouse: augmentation of tumor multiplicity by chlorophyllin and protection by indole-3-carbinol”, *Photochem. Photobiol. Sci.*, 5, 599-507, 2006.
- [18] Longstreth, J., De Grujil, F., Kripke, M., Takizawa, Y., van der Leun, J., “Effects of increased solar ultraviolet radiation on human health,” *Ambio*, 24, 153–165, 1995.
- [19] Wahlgren, G. M., Dolk, L., “Hot-Am stars as intermediary objects to the HgMn and Am stars”, *Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso*, 23, 7– 11, 1993.
- [20] Thompson, A., Early, E. A., O’Brian, T. R., “Ultraviolet Spectral Irradiance Scale Comparison: 210 nm to 300”, *J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol.* 103, 1-13, 1998.
- [21] Klimov, V. I., Mkheidze, G. P., Savin, A. A., “An ultraviolet non-coherent radiation source using noble gas dimers excited by an electron beam”, *Plasma Sources Sci. Technol.*, 2, 123-126, 1993.
- [22] Bhar, G. C., Kumbhakar, P., Chatterjee, U., Chaudhary, A. K., Kokh, A., “Highly efficient deep ultraviolet generation by sum-frequency mixing in a BBO crystal pair”, *Pramana – J. Phys.*, 59 (No. 1), 69-74, 2002.
- [23] Leslie, M., 2004, *New Zealand’s Atomic Hero* [online], SCIENCE, <http://www.sciencemag.org/cgi/reprint/304/5676/1421c.pdf>, (17 Şubat 2005).
- [24] Aysto, J., Rubchenya, V., “Neutron-rich nuclei and fission; recent developments and future aspects”, *Eur. Phys. J. A.*, 13, 109-115, 2002.
- [25] Riz, D., Garaude, F., Houry M., Canaud, B., “Neutron and photon emission of a high-gain direct-drive target for laser fusion”, *Nucl. Fusion* 46,864–867, 2006.

- [26] Smith, F. G., King, T. A., “Optics and Photonics An Introduction”, John Wiley&Sons, **WILEY**, 202-204, 236-248, (2004).
- [27] Wheeler, A., 2006, Nobel Laureates in Physics 1901-Present, www.slac.stanford.edu/library/nobel/ - 47k, (**Ziyaret tarihi: 25 Ekim 2006**).
- [28] Pandel, D., Cordova, F. A., Howell, S. B., “X-ray and ultraviolet observations of the dwarf nova VW Hyi in quiescence”, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 346, 1231–1241, 2003.
- [29] Lehnert, B., “Photon Wave and Particle Concepts of an Extended Electromagnetic Theory”, *Phys. Scr.*, 66, 105-113, 2002.
- [30] Kato, Y., “X-ray laser research: Perspective and Physic Issues”, *Inst. Phys. Conf. Ser. No:186*, 9th Int. Conf. X-ray Lasers, Beijing (China), 24-28, 2004.
- [31] Renner, O., Uschmann, I., Förster, E., “Diagnostic potential of advanced X-ray spectroscopy for investigation of hot dense plasmas”, *Laser and Particle Beams*, 22, 25-28, 2004.
- [32] Pieruccin, M., Ferrante, G., Nuzzo, S., Zarcone, M., “Non-perturbative direct and inverse bremsstrahlung in a static magnetic field: classical theory”, *J. Phys. B: At Mol. Opt. Phys.*, 26, 3123-3136, 1993.
- [33] Kaye, G. W. C. , Bell G. E., Binks W., Perry, W. E., The production and measurement of short-wave radiations [online], gita.grainger.uiuc.edu/IOPText/0034-4885/6/1/305/rpv6i1p95.pdf, 95-124. (**Ziyaret tarihi: 4 Kasım 2006**).
- [34] Platz, P., Ramette, J., Belin, E., Bonnelle, C., Gabriel, A., “High-throughput, high-resolution soft X-ray crystal spectrometer for Tokamak-plasma studies”, *Phys. E: Sci. Instrum*, 14, 448-452, 1981.
- [35] Konoplev, O. A., Meyerhofer, D. D., “Cancellation of *B*-Integral Accumulation for CPA Lasers”, *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron*, 4 (No:2), 459–469,1998.
- [36] Chan, F., “Introduction to plasma physics and controlled fusion”, PlenumPress, New York, 1984.
- [37] Kado, M., Daido, H., Yamamoto, Y., Shinohara, K., Richardson, M. C., “Development of a Laser Plasma X-ray Microscope to Observe Live Hydrated Biological Specimens”, *Proc. 8th Int. Conf. X-ray Microscopy*, IPAP Conf. Series 7, 41-43, 2004.
- [38] Hutchinson, I. H., “Principles of plasma diagnostics”, Third Edition, *Cambridge University Press*, 216-222, 1987.

- [39] Pearce, J., Alpha, L. C., 2006, X-ray Spectroscopy [online], The science of spectroscopy, http://www.scienceofspectroscopy.info/edit/index.php?title=X-ray_Spectroscopy, (Ziyaret tarihi: 7 Ağustos 2006).
- [40] Soares, Jr., P. C., Zanotto E. D., Fokin V. M., Jain, H., “TEM and XRD study of early crystallization of lithium disilicate glasses” *Journal of Non-Crystalline Solids*, 331 (No:1-3), 217-227, 2003.
- [41] P. Verhoeve, S. Kraft, N. Rando, A. Peacock, A. van Dordrecht and R. den Hartog, D.J. Goldie, R. Hart and D. Glowacka, “Soft X-Ray Performance of Superconducting Tunnel Junction Arrays”, *IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY*, 9, (No. 2), 3342-3345, 1999.
- [42] Verdozzi, C., Cini, M., Marini, A., “Auger spectroscopy of strongly correlated systems: present status and future trends”, *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena* 117–118, 41–55, 2001.
- [43] Hauer, A. A., Baldis, H. A., “Introduction to Laser Plasma Diagnostics”, *Los Alamos National Laboratory*, LA-11178, UC-21, 1988.
- [44] Griem, H. R., “Principles of plasma Spectroscopy”, Cambridge University Press, 54-122, 1997.
- [45] Riley, D., Woolsey, N. C., McSherry, D., Khattak, F. Y., Weaver, I., “He-like x-ray line emission from laser irradiated sources”, *Plasma Sources Sci. Technol.* 11, 484-491, 2002.
- [46] Abou-Ali, Y., Tallents, G. J., Edwards, M., Pert, G. J., “Measurement of the duration of X-ray lasing pumped by an optical laser pulse of picosecond duration” *Optics Comm.* 215, 397-406, 2003.
- [47] Chen, X., Wang, H. X., “Prediction of the laser-induced plasma characteristics in laser welding: a new modelling approach including a simplified keyhole model”, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 36,1634–1643, 2003.
- [48] SHIELDS, H., FORNACA, S. W., PETACH, M. B., ORSINI, R. A., MOYER, R. H., PIERRE, R. J. ST., “Laser-Produced Plasma Light Source for Extreme Ultraviolet Lithography”, *PROCEEDINGS OF THE IEEE*, 90 (No: 10), 1689-1695, 2002.
- [49] Gouveia, A., Hawreliak, J., Al'miev, I. R., Sondhauss, P., Wark, J. S., Renner, O., Chambers, D. M., Pinto, P. A., Marjoribanks, R. S., Liang, T., “Absorption spectroscopy of Al XIII Ly- α Radiation by a Fe XXIV plasma”, CLF Annual Report 2001/2002, <http://www.clf.rl.ac.uk/Reports/2001-2002/pdf/22.pdf>, 43-44, 2002.
- [50] Weaver, J. L., Feldman, U., Mostovych, A. N., Seely, J. F., Colombant, D., Holland, G., “Soft x-ray emission from postpulse expanding laser-produced plasmas”, *Rev. Sci. Instrum.*, 74 (No:12), 5076-5083, 2003.

- [51] Seely, J., Back, C., Deslattes, R., Hudson, L., Holland, G., Bell, P., Miller, M., "Hard X-Ray Spectrometers for NIF", *Conference on High Temperature Plasma Diagnostics*, Tucson, 19-22, 2000.
- [52] Abe, H., Saitoh, H., Nakao, H., Ito, K., Ohshima, K. I., "Energy spectrometer on diffractometer using a charge-coupled device X-ray detector", *Applied Crystallography*, 39, 767-770, 2006.
- [53] Jistchin, W., Wisotzki, B., Werner, U., Lutz, H. O., "A compact plane-crystal x-ray spectrometer for ion-atom collision studies", *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, 17, 137-140, 1984.
- [54] Hauer, A. A., Delamater, N. D., and Koenig, Z. M., "High-resolution x-ray spectroscopic diagnostics of laser-heated and ICF plasmas," *Laser Part. Beams* 9, 3-7 (1991).
- [55] Nakono, N., Kuroda, H., Kita, T., Harada, T., "Development of a flat-field grazing-incidence XUV spectrometer and its application in picosecond XUV spectroscopy" , *Applied Optics*, 23 (No:14), 2386, 1984.
- [56] Band, Y. B., "Light and Matter", John Wiley&Sons, **WILEY**, 113-114, 2006.
- [57] Pak. A., Gregori, G., Knight, J., Campbell, K., Price, D., Hamel, B, Landen, O. L., Glenzer, S. H., "X-ray line measurements with high efficiency Bragg crystals", *Rev. Sci. Instrum.* 75 (No:10), 3747-3749, 2004.
- [58] Deslattes, R. D., "High resolution γ -ray spectroscopy: the first 85 years", *J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol.*, 105 (No:1), 1-9, 2000.
- [59] Hirano, K., Hisatome, N., Yamamoto, T., Shimoda, K., "Imaging Bragg spectrometer for pinched plasma experiments", *Rev. Sci. Instrum.*, 65 (12), 3761-3765, 1994.
- [60] Turcu, I. C. E., Dance, J. B., "X-rays from Laser Plasmas", **WILEY**, 69-81, 1998.
- [61] Kittel, C., "Katıhal Fiziğine Giriş", 6. Basım, Karaoğlu, B., BilgiTek, 21-31, 1996.
- [62] Bombarda, F., "The Curved Crystal Spectrometer for Ignitor", MIT-RLE Report PTP 02/02, ENEA-Fusione, Frascati (Italy), 1-13, 2002.
- [63] Taylor, R. J., Dahlburg, J. P., Iwase, A., Gardner, J. H., Fyfe, D. E., Willi, O., "Measurement and Simulation of Laser Imprinting and Consequent Rayleigh-Taylor Growth", *Phys. Rev. Lett.*, 76 (No:10), 1643 - 1646 1996.
- [64] Braun, J., Bruhns, H., Trinczek, M., Crespo Lopez-Urrutia, J. R., Ullrich, J., "Novel technique for high-precision Bragg-angle determination in crystal x-ray spectroscopy", *Rev. Sci. Instrum*, 76, 73105 (1-6), (2005).

- [65] Blasco, F., Stenz, C., Salin, F., Faenov, A. Y., Magunov, A. I., Pikuz, T. A., Skobelev, I. Y., “Portable, tunable, high-luminosity spherical crystal spectrometer with an x-ray charge coupled device, for high-resolution x-ray spectromicroscopy of clusters heated by femtosecond laser pulses”, *Rev. Sci. Instrum.* 72 (No:4), 1956-1962, 2001.
- [66] Nottola, A., Tallents, G. J., Goodhead, D. T., Hill, M. A., Stevens, D. L., Turcu, I. C. E., Hirst, G. J., Shaikh, W., Westhall, J., “Spectra in the Range 5 to 50 Å from the X-ray Source”, CLF Annual Report 1998/99, <http://www.clf.rl.ac.uk/Reports/1998-1999/pdf/68.pdf>, 156-159, 1999.
- [67] Gizzi, L. A., Labate, L., Galimberti, M., Savletti, A., “Space resolved x-ray spectroscopy of laser-produced plasmas”, CNR-Area della Ricerca di Pisa, N.3, 2000.
- [68] Wark, J. S., Whitlock, R. R., “The effect of high x-ray fluxes on laser-plasma x-ray spectrometers”, *Rev. Sci. Instrum.*, 64 (No:7), 1718-1722, 1993.
- [69] Birks, L. S., Herglotz, H. K., “Wavelength dispersion X-ray spectrometry”, *Dekker*, Newyork, 1-16, 1978.
- [70] Bennet, G. R., Wark, J. S., Heading, D. J., Woolsey, N. C., He, H., Cauble, R., Lee, R. W., Young, P., “Soft **x-ray heating** of this foil forms the scattering sample”, *Phys. Rev. E* 50, 3935, 1994.
- [71] Lewis, C.L.S., Neely, D., Damerell, A. R., “Reflection filtered optics designed to eliminate higher orders on the R.A.L. flat-field soft X-ray spectrometers”, www.clf.rl.ac.uk/reports/1989-1990/contents.htm - 30k, CLF Annual Report 1989/1990, 73-76, 1990.
- [72] Wark, J., Djaoui, A., Rose, S. J., He, H., Renner, O., Missall, T., Foerster, E.,
- [73] He, H., Wark, J. S., Foerster E., Uschmann, I., Renner, O., Kopecky, M., Blyth, W., “Double-crystal high-resolution x-ray spectroscopy of laser-produced plasmas”, *Rev. Sci Instrum.*, 64 (No:1), 26-30,1993.
- [74] Fenter, P., Catalano, J. G., Park, C., Zhang, Z., “On the use of CCD area detectors for high-resolution specular X-ray reflectivity”, *J. Synchrotron Rad.*, 13, 293–303, 2006.
- [75] Notley, M., Damerell, A., Leach, J., Neely, D., Tallents, G., Lin, J., Smith, R., Pestehe, S. J., “The Von Hamos Spectrometer a hard X-ray diagnostic”, CLF Annual Report 1997/1998.
- [76] Kurutlu, Yılmaz, E.,” Metalik malzemelerde X-ışını difraksiyonu (XRD) ve enerji dağılım spektrometresi (EDS) yöntemleriyle karakterizasyon”, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü”, 20-40, (2006).

- [77] Topping, S. J., Lewis, C. L. S., Keenan, R., McEvoy, A. M., Notley, M., Neely, D., “Soft X-ray interferometry with a transmission grating”, CLF Annual Report 2001/2002, <http://www.clf.rl.ac.uk/Reports/2001-2002/pdf/26.pdf>, 53-54, 2002.
- [78] Michette, A. G., Pfauntsch, S. J., Graf T., “Calibrated Diffraction Gratings for the Analysis of Laser-Plasma X-Ray Spectra”, CLF Annual Reports 2000-2001, www.clf.rl.ac.uk/Reports/2000-2001/pdf/54.pdf, 123-124, 2001.
- [79] Donaldson, T. P., Hutcheon, R. J., Key, M. H., Urquhart, R. J., “Soft x-ray spectroscopy of laser-produced plasmas with a convex mica crystal spectrometer”, *J. Phys. B: Atom. Molec. Phys.* 9 (No:10), 1645-1655, 1976.
- [80] Shen, M.Y., Chu, H. H., Wang, C. C., Chen, S. Y., Lee, C. H., Wang, J., Lin, J. Y., 2001, Development of a flat-field grazing-incidence spectrometer and its application in the characterization of XUV laser-plasma emission, lil.iams.sinica.edu.tw/document/talks/OPT2001_FD3-7_FlatField.pdf (Ziyaret tarihi: 20 Eylül 2005).
- [81] Hatsui, T., Setoyama, H., Shigemasa, E., Kosugi, N., “Design of a novel transmission-grating spectrometer for soft x-ray emission studies”, *Journal of Electron Spectroscopy*, 144-147, 1059-1062, 2005.
- [82] BONA, S., University of Cape Town Physics PHYLAB3 Laboratory Notes on Optical Spectrometers [online], www.phy.uct.ac.za/courses/phylab3/nose.pdf, (Ziyaret tarihi: 18 Mayıs 2005).
- [83] Saemann, A., Eidmann, K., “Absolute calibration of a flat field spectrometer in the wavelength range 10–70 Å” *Rev. Sci. Instrum.*, 69, 1949-1954, 1998.
- [84] Hague, C. F., Underwood, J. H., Avila, A., Delaunay, R., Ringuenet, H., Marsi, M., Sacchi, M., “Plane-grating flat-field soft x-ray spectrometer”, *Rev. of Sci. Inst.*, 76, 023110, 2005.
- [85] Jark, W., Melpignano, P., “Nuclear Instruments and Methods” *Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 349, 263-268, 1994.
- [86] Yvon J., Gratings & Spectroscopic Solutions [online], <http://www.jobinyvon.com/Grating/> (Ziyaret tarihi: 24 Mart 2005).
- [87] Heimann, P. A., Koike, M., “Dispersive x-ray absorption spectroscopy with gratings above 2 keV”, *Rev. Sci. Instrum.*, 76, 063102 (1-3), 2005.
- [88] Rasmussen, A., <http://www.mcphersoninc.com/howtoselectagrating.htm>, Columbia Astrophysics Laboratory, Lawrence Berkeley Laboratory, Smithsonian Astrophysical Observatory, Space Nanostructures Laboratory, Stanford University.
- [89] Lefebvre, J. C., Jobin-Yvon, Spectral Resolution [online], www.thespectroscopy.net (Ziyaret tarihi: 17 Nisan 2006).

- [90] Harada, T., Kita, T., “Mechanically ruled aberration-corrected concave gratings”, *Applied Optics*, 19 (No:23), 3987-3993, 1980.
- [91] Utter, S. B., Lopez,Urrutia, J. R. C., Beiersdorfer, P., Trabert, E., “Design implementation of a high-resolution, high-efficiency optical spectrometer”, *Rev. Sci. Instrum.*, 73 (No:11), 3737-3741, 2002.
- [92] Lerner, J. M., “Imaging spectrometer fundamentals for researchers in the biosciences - a tutorial” *J. Cytometry*, 1-36, 2005.
- [93] Masato, K., Takeshi, N., “Grazing-incidence Monk-Gillieson monochromator based on surface normal rotation of a varied-line-spacing grating”, 41 (No:1), 245-257, 2002.
- [94] Sigernes, F., “The Ebert Fastie Spectrometer Control Hardware and Software”, *UNIS Spec4XP*, university Centre on Svalbard, 1-23, 2000.
- [95] James, J. F., “On the Design of Czerny-Turner Charge-coupled Device Spectrographs”, *Taylor & Francis*, 41 (No:10), 2033-2042, 1994.
- [96] Butler, L. R. P., Laqua, K., “Instrumentation for the spectral dispersion and isolation of optical radiation”, *Pure&Appl. Chem.*, 67(No:10), 1725-1744, 1995.
- [97] SHN5, 2005, Optical spectrometer design [online],www.clt.astate.edu/wburns/PDF%20files/Instrumentation/pdf%20student%20version%20notes%208-29-05, (Ziyaret tarihi: 15 Mart 2006).
- [98] Boivin, R. F., “Spectroscopy system and basic spectroscopy diagnostics for the HELIX and LEIA plasma devices”, *West Virginia University plasma physics group internal report pl-046*, 3-27, 2000.
- [99] F. Sauli, “GEM: A new concept for electron amplification in gas detectors”, *Nucl. Instrum. Methods Phys., Res. A*, A386, 531–534, 1997.
- [100] Adlam, J. H., Burcham, J. N “The variation of the conversion efficiency of an NE 102A plastic scintillator with x-ray energy in the range 1.8-4.5 keV”, *J. Sci. Instrum.*,43, 93-96, 1966.
- [101] Farnikova, M., Krasa, J., Juha, L., Ryc, L., “Thermoluminescent dosimetry of x-ray radiation emitted from a laser-produced plasma”, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 29, 2119-2123, 1996.
- [102] Tallents, G. J., Shorrock, L. D., “A technique for determining characteristic curves for photographic emulsions in the extreme ultra-violet”, *J. Phys. E: Sci. Instrum.* 14 20-23, 1981.
- [103] Bitter, M., Hill, K. W., Roquemore, A. L., Beiersdorfer, P., Kahn, S. M., Elliott, S. R., Fraenkel, B., “Imaging x-ray crystal spectrometers for the National Spherical Torus Experiment”, *Rev Sci. Instrum.*, 70 (No:1), 292-295, 1999.

- [104] Liang, Y., Ida, K., Kado, S., Watanabe, K. Y., Sakakibara, S., Yokoyama, M., Yamada, H., Komori, A., Narihara, K., Tanaka, K., Tokuzawa, T., Nagayama, Y., Nakamura, Y., Ohyabu, N., Kawahata, K., Sudo, S., LHD experimental group, "Measurement of Shafranov shift with soft x-ray CCD camera on large helical device", *Plasma Phys. Control. Fusion*, 44, 1383-1392, 2002.
- [105] Hecht, E., Zajac, A., "Optics", *Addison-Wesley Longman*, 121-143, 1987.
- [106] Gizzi, L. A., "Characterization of plasmas produced by picosecond and nanosecond laser pulses", Doktora Tezi, *University of London and for the diploma of Imperial college*, Blckett Laboratory, 109-117, 1994.
- [107] Dunn, J., Young, B. K. F., Shiromizu, J., "X-ray sensitive charge-coupled device instrumentation for short and ultrashort pulse laser-produced plasma experiments", *Rev. Sci. Instrum.*, 66 (No:1), 707-708, 1995.
- [108] Izumi, N., Barbee, T. W., Koch, J. A., Mancini, R. C., Welsler, L. A., "Reconstruction of quasimonochromatic images for multispectral x-ray imaging with a pinhole array and a flat Bragg mirror", *Rev. Sci. Instrum.* 77, 083504 (1-4), 2006.
- [109] Free Encyclopedia, Pinhole camera[online], en.wikipedia.org/wiki/Pinhole_camera - 29k, wikipedia (Ziyaret tarihi: 26 Ekim 2005).
- [110] Pestehe, S. J., Tallents, G. J., Smith, R., "A cheap CCD for measuring hot electron temperatures", CLF Annual Report 1998/99, <http://www.clf.rl.ac.uk/reports/1998-1999/pdf/85.pdf>, 197-198, 1999.
- [111] Turcu, I. C. E., O'Neil, F., Tallents, G. J., Hannon, T., Batani, D., Giulietti, A., "Atmospheric pressure operation of a repetitive KrF laser-plasma x-ray source at $h\nu=1.1$ keV", Excimer Lasers and Applications II, *Proc SPIE*, 1278, 32-42, 1990.
- [112] Michette, A. G., Buckley, C. J. Pfauntsch, S. J., Khaleque, N. I., Edmundson, P., Dermody, G. S., Turcu, I. C. E., Shaikh, W., "Characterisation of the lsf x-ray source for Microscopy", CLF Annual Report 1997/1998, www.clf.rl.ac.uk/Reports/1997-1998/pdf/53.pdf, , 119-120, 1998.
- [113] Attwood, D. T., Sweeney, D. W., Auerbach, J. M., Lee, P. H. Y., "Interferometric Confirmation of Radiation-Pressure Effects in Laser-Plasma Interactions", *Phys. Rev. Lett.* 40, 184 - 187 1978.
- [114] Newhall, B., "The History of Photography, from 1839 to the Present Day" , *The Museum and Modern Art*, 162-189, 1964.
- [115] Zhang, J., Gu, Y. Q., Li, Y. T., Chungu, S. T., You, Y. L., Huang, W. Z., He, S. T., He, Y. L., Huang, W. Z., He, S. T., He, Y. L., Lu, L. Z., Yuan, X. D., Wei, X. F., Zhang, c. F., "Research on Efficient Efficient X-Ray Lasing at XingGuang II Laser Facility", *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 5 (no:6), 1469-1473, 1999.

[116] Abou-Ali, Y., Edwards, M., Tallents, G. J., Kenan, R., Lewis, C.L.S., Topping, S., Guilbaud, O., Klisnick, A., Ros, D., Clarke, R., Neely, D., Notley, M., "Measurement of the duration of X-ray lasing pumped by Vulcan CPA", High Power Laser Programme, *Central Laser Facility Annual Report*, 47-49, 2001/2002.

[117] Characteristics and use of FFT-CCD area image sensor, Technical Information SD-25, Hamamatsu, 2000, www.hamamatsu.de/assets/applications/SSD/Characteristics_and_use_of__FFT-CCD.pdf, (**Ziyaret tarihi: 16 Ocak 2005**).

[118] CCD Detectors for Spectroscopy, Jobin Yvon, WEB: www.jobinyvon.com/usadivisions/OSD/product/ccd.pdf, (**Ziyaret tarihi: 16 Ocak 2005**).

[119] Soft X-Ray Detection Tutorial, PixelVision Inc., WEB: <http://www.pvinc.com/tutorial/tutorial-soft%20X-ray.htm>, (**Ziyaret tarihi: 16 Ocak 2005**).

[120] Morita, S., Goto, M., "X-ray crystal spectrometer with a charge-coupled-device detector for ion temperature measurements in the Large Helical Device", *Rev. Sci. Instrum.*, 74 (No:4), 2003.

[121] Ditmire, T., Smith, R. A., Maroribanks, R. S., Kulcsar, G., Hutchinson, H. R., "X-ray yields from Xe clusters heated by short pulse high intensity lasers", *Appl. Phys. Lett.*, 71 (No:2), 166-168, 1997.

[122] Yanagidaira, T., Shimoda, K., Ono, Y., Hirano, K., "An imaging spectrometer with a convex crystal for pulsed x rays in plasma experiments", *Rev. Sci. Instrum.*, 71 (No:1), 88-92, 2000.

[123] Weaver, J. L., Feldman, U., Mostovych, A. N., Seely, J. F., Colombant, D., Holland, G., "Soft x-ray emission from postpulse expanding laser-produced plasmas", *Rev. Sci. Instrum.*, 74 (No:12), 5076-5083, 2003.

[124] Pestehe, S. J., Tallents, G. J., Abou-Ali, Y., Turcu, E., Powers, M., Shaikh, W., "Calibration of a charge coupled device (CCD) using single photon counting", CLF Annual Report 1999/2000, <http://www.clf.rl.ac.uk/Reports/1999-2000/pdf/95.pdf>, 217-218, 2000.

[125] MacPhee, A. G., Lewis, C. L. S., Scott, J. E., Warwick, J., "CCD imaging from 20 eV to 8 keV", CLF Annual Report 1993/1994, www.clf.rl.ac.uk/Reports/1993-1994/contents.htm - 27k, 161-162, 1994.

[126] Shevelko, A. P., Kasyanov, Y. S., Yakushev, O. F., Knight, L. V., "Compact focusing von Hamos spectrometer for quantitative x-ray spectroscopy", *Rev. Sci. Instrum.*, 73 (No:10), 3458-3463, 2002.

- [127] Blagojevic, B., Bigot, E-O. L., Fahy, K., Aguilar, A., Makonyi, efficiency ultrahigh vacuum compatible flat field spectrometer for extreme ultraviolet wavelengths”, *Rev. Sci. Instrum.*, 76, 083102:1-6, 2005.
- [128] Janesick, J. R., "Scientific Charge-Coupled Devices”, *SPIE Press*, 567-589, (2001).
- [129] D.A. Skoog, Analytical Chemistry, Soundeers Collage Publishing, Kılıç, E., 24-37, 1996.
- [130] Ridgeley, A., “Proposed Use of an LSM Coated Grating to Produce a High Dispersion Spectrometer in the EUV Region”, www.clf.rl.ac.uk/reports/1989-1990/contents.htm - 30k, CLF Annual Report 1989-1990, 70, 1990.
- [131] Wikipedia Free Encyclopedia, Filter (optical) [online], http://en.wikipedia.org/wiki/optical_filter, Wikipedia, (**Ziyaret tarihi: 6 Ekim 2005.**)
- [132] Optical filters [online], <http://www.spectrogon.com>, SPECTROGON, (**Ziyaret tarihi: 8 Ekim 2005**).
- [133] Turcu, I. C. E., Gower, M. C., Reason, C. J., Huntington, P., Schulz, M., Michette, A. G., Bijkerk, F., Louis, E., Tallents, G. J., Al-Hadithi, Y., Batani, D., “100-Hz KrF laser plasma x-ray source “, *Proc. SPIE*, 1503, 391-405, 1991.
- [134] Kurkcuoglu, M. E., Neely, D., Tallents, G. J., Behjat, A., Lewis, C. L. S., McCabew, S. P., MacPhee, A. G., Warwick, P. J., Wolfrum, E., “Linearty of a new inexpensive CMOS x-ray detector”, CLF Annual Report 1995/1996, <http://www.clf.rl.ac.uk/reports/1995-1996/pdf/CCLRC0700.pdf>, 116, 1996.
- [135] Pestehe, S. J., Tallents, G. J., Abou-Ali, Y., Turcu, E., Powers, M., Shaikh, W., “Calibration of a charge coupled device (CCD) using single photon counting”, CLF Annual Report 1999/2000, <http://www.clf.rl.ac.uk/Reports/1999-2000/pdf/95.pdf>, 217-218, 2000.K., Takacs, E., Tan, J. N., Pomeroy, J. M., Burnett, J. H., Gillaspay, J. D., Roberts, J. R., “A high
- [136] NIST Data Book, physics.nist.gov/PhysRefData/Handbook/index.html - 30k.
- [137] Hirano, K., Hisatome, N., Yamamoto, T., Shimoda K., “Imaging Bragg spectrometer for pinched plasma experiments”, *Rev. Sci. Instrum.*, 65 (No:12), 3761-3765, 1994.
- [138] Lake, P.W., Bailey, J. E., Rochau, G. A., Moore, T. C., Petmecky, D., Gard, P.,” Time- and space-resolved elliptical crystal spectrometers for high energy density physics research”, *Rev. Sci. Instrum.*, 75 (No:10), 3690-3692, 2004.
- [139] Goodman, D. A., Ridgeley, A., MacPhee, A. and Hall, T. A., *Rutherford Appleton Laboratory*. Annual. Report, RAL-91-025, 27,1991.

- [140] Price, D., Shepherd, R., Guethlein, G., Young, B., Dunn, J., Reitze, D., White, W. Stewart, R., "Light Absorption and X-Ray Emission Measurements from 100 Femtosecond Laser Produced Plasmas, 4P14, *Conference on Anomalous Absorption*, Wintergreen, 1993.
- [141] Basov, N. G., Goetz, I. C., Maksimchuk, A. M., "Annual Report to the Laser Facility Committee 1988", *Rutherford Lab.*, RAL-88-42, 1988.
- [142] Volonte, S., "Polarisation shift effect in high-density plasmas", *J. Phys. D*, 11, 1615-1638, 1978.
- [143] Gorshkov, A. S., Marchenko, V. F., Tselykovskii, A. F., *Sov. Phys.-Tech. Phys.*, 13, 278, 1968.
- [144] Irons, F. E., McWhirter, R. W. P., Peacock, N. J., *J. Phys. B*5, 1975, 1972.
- [145] Nicolosi, P., Tondello, G., Jannitti, E., *Phys. Rev. A*, 20, 2574-81, 1979.
- [146] Davidson, S. J., Neely, D., Lewis, C. L. S., O'Neil, D., "Sub-keV X-ray point projection absorption measurements", CLF Annual Report 1990-1991, www.clf.rl.ac.uk/Reports/1990-1991/contents.htm - 28k, 1991.
- [147] Kieffer, J.C., Matte, J. P., Chaker, M., Beaudoin, Y., Chien, C. Y., Coe, S., Mourou, G., Dubau, J., Inal, M. K., "X-ray line polarization spectroscopy in laser-produced plasmas", *Physical Review E*, 48, 4648-4658, 1993.
- [148] Uysal, M., Karahoca, A., "MATHCAD: Matchcad 6.0 ve Matchcad 6.0 KULLANICI REHBERİ", *Beta*, 113-127, 1997.
- [149] Akman, E., "Ti6Al4V Titanyum Alaşımlarının Atımlı Nd:YAG Lazeri Kullanılarak Kaynak Edilmesi ve Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmit, 63-75, (2006).
- [150] Pert, G.J., "The hybrid model and its application for studying free expansion", *J. Fluid. Mech.*, 131, 401-426, 1983.
- [151] Hajiyev, E., Demir, A., "A collisional-radiative model for simulation of Ne-like and F-like resonance lines emitted from laser produced plasmas", *J. Comp. Phys. Commun.* 164, 86-90, 2004.
- [152] Kaçar, E., "Ne- ve F- Benzeri İyonlardan Yayılan Rezonans Çizgi Spektrumlarının Hesaplanması", Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmit, (2004).
- [153] Genç, B., Kaçar, Urhan, O., Demir, A. 'Design of crystal spectrometer for kev x-ray emission studies', Uluslararası Türk Fizik Derneği Kongresi, Muğla, (2005).

KİŞİSEL YAYINLAR

1. GENC, B., KACAR, E., URHAN, O., DEMİR, A., “Design of crystal spectrometer for kev x-ray emission studies”, *Uluslararası Türk Fizik Derneği Kongresi*, Muğla-Türkiye (2005).
2. GENC, B., KACAR, E., URHAN, O., DEMİR, A., “X-Işını Işıma Çalışmaları İçin Grating Spektrometre Tasarımı”, *7. Ulusal Optik, Elektro-Optik ve Fotonik Çalışma Toplantısı Bilkent Üniversitesi*, Ankara, 12 Aralık 2005.
3. GENC, B., KACAR, E., AKMAN, E., DEMİR, A., “Monitoring of Laser Material Welding Process Using UV-Visible Spectrometer”, *Balkan Physics Conference Preceeding AIP*, (2006) in press.
4. GENC, B., KACAR, E., AKMAN, E., DEMİR, A., ‘Lazer ile malzeme kaynak işleminin UV-NIR spektrometre kullanılarak görüntülenmesi’, *8. Ulusal Fotonik Çalıştayı*, İstanbul -TÜRKİYE (Eylül-2006).

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Sakarya'da doğdu. 1988 yılında Manisa Edip Bayat İlkokulu'nda başladığı öğrenimine Sakarya Ali Dilmen İlkokulu'nda devam edip, 21 Haziran İlköğretim Okulu'nda tamamladı. 1996 yılında başladığı lise öğrenimini Sakarya Ali Dilmen Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi'nde tamamladı. 2000 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nden 2004 yılında Fizikçi olarak mezun oldu.