



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



DOKTORA TEZİ

**H_o I VE H_o II' NİN MOR ÖTESİ BÖLGEDE SPEKTRAL
ÇİZGİLERİNİN SINIFLANDIRILMASI VE AŞIRI İNCE
YAPILARININ İNCELENMESİ**

Nadia Jaber Mohammed AL-LABADY

Fizik Anabilim Dalı

Atom ve Molekül Fiziği Programı

Danışman

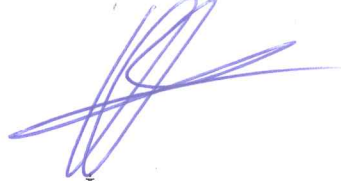
Prof. Dr. Gönül BAŞAR

Ekim, 2016

İSTANBUL

Bu çalışma 03/10/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı Atom ve Molekül Fiziği programında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi:



İmza

Prof. Dr. Gönül BAŞAR (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



İmza

Prof. Dr. Ekrem AYDINER
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



İmza

Doç. Dr. F. Gülay ACAR
İstanbul Teknik Üniversitesi
Fen Edebiyat Fakültesi



İmza

Doç. Dr. Zehra CAN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen Edebiyat Fakültesi



İmza

Doç. Dr. İpek KANAT ÖZTÜRK
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



20.04.2016 tarihli resmi gazetede yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi'nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Atom ve Molekül Fiziği Programı'na doktora tezi olarak sunduğum “Ho I Ve Ho II’ nin Mor Ötesi Bölgede Spektral Çizgilerinin Sınıflandırılması ve Aşırı İnce Yapılarının İncelenmesi” başlıklı çalışma süresince, her aşamasında yüksek ilgisini, desteğini ve tavsiyelerini esirgemeyen, her an bilgi aktarımında bulunan, tez çalışmamın oluşturulması için her türlü yardımı gösteren çok değerli hocam Sayın Prof.Dr. Gönül BAŞAR’a en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez çalışmam boyunca bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Doç.Dr. İpek Kanat ÖZTÜRK’e, Doç.Dr. Feyza GÜZELÇİMEN’e, Yrd. Doç. Dr. Alev ER’e en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde bilimsel desteklerini esirgemeyen değerli hocam University of Applied sciences öğretim üyelerinden Prof.Dr. Sophie KRÖGER’e en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın Türkiye’de gerçekleştirilmesinde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen Ürdün Milli Eğitim Bakanlığı’ na, Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı’na (YTB), T.C. Gençlik ve Spor Bakanlığı Yüksek Öğrenim Kredi ve Yurtlar Kurumu Genel Müdürlüğü’ne de teşekkürü borç bilirim.

Çalışmanın Türkiye’de gerçekleştirilmesinde manevi desteklerini esirgemeyen bütün uluslararası öğrenciler ve Türk arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

Ayrıca bana her zaman destek olup, bugünlere gelmemde çok büyük emek gösteren aileme sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Ekim, 2016

Nadia AL-LABADY

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ	iv
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR	4
3. MALZEME VE YÖNTEM	8
3.1. ÇOK ELEKTRONLU SİSTEMLER.....	8
3.1.1. Merkezi Alan Yaklaşıklığı.....	8
3.1.2. Hartree-Fock Yöntemi.....	9
3.1.3. Parite.....	11
3.2. ATOMLARDA İNCE YAPI.....	11
3.3. ATOMLARDA AŞIRI İNCE YAPI.....	16
3.3.1. Manyetik Dipol Etkileşmesi.....	17
3.3.2. Elektrik Kuadrapol Etkileşmesi.....	18
3.4. SPEKTRAL ÇİZGİ GENİŞLİKLERİ	21
3.4.1. Doğal Çizgi Genişlemesi.....	23
3.4.2. Doppler Çizgi Genişlemesi.....	24
3.4.3. Çarpışma, Basınç Çizgi Genişlemesi	25
3.4.4. Doyma (Saturasyon), Güç Çizgi Genişlemesi	25
3.4.5. Voigt Profili (Birleşik Çizgi Genişlemeleri).....	26
3.5. HOLMİYUM ELEMENTİ.....	28
3.5.1 İyonik Holmiyumun Astrofizik Açısından Önemi.....	30

3.6. DENEYSEL METOD.....	32
3.6.1. Fourier Transform Spektroskopisi (FTS).....	32
3.6.2. Spektral Çizgilerin Dalgasayılarının ve Dalgaboylarının Kalibrasyonu	34
3.6.3. Silindir Katot.....	39
3.7. SPEKTRAL DATA ANALİZİ.....	41
3.7.1. Klasifikasyon Programı.....	41
3.7.2. Simülasyon Programı.....	45
3.7.3. Fitter Programı.....	46
4. BULGULAR.....	56
4.1. ATOMİK HOLMİYUM (Ho I) ile BİRİNCİ ve İKİNCİ HOLMİYUM İYON (Ho II VE Ho III) ÇİZGİLERİNİN ANALİZİ.....	56
4.2. SİNYAL-GÜRÜLTÜ ORANI.....	61
4.3. İKİNCİ DERECEDEN ETKİ (SECOND ORDER EFFECT).....	64
4.4. Ho I'İN AŞIRI İNCE YAPISI.....	81
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	97
KAYNAKLAR	99
EKLER.....	104
EK 1. Holmiyum'un, alt ve üst enerji seviyeleri belirlenemediğinden tanımlanamayan spektral çizgilerinin tablosu.....	104
EK.2. Aşırı ince yapı analizi yapılan çizgilerin fit yapılan şekilleri.....	136
ÖZGEÇMİŞ.....	143

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1: Hartree-Fock yönteminin şematik olarak gösterimi.....	10
Şekil 3.2: LS çiftleniminin şematik gösterimi.....	14
Şekil 3.3: JJ çiftleniminin şematik gösterimi.....	15
Şekil 3.4: $I = \frac{3}{2}$, $J=1$ değerine sahip W_J enerjisinin aşırı ince yapı yarılımları ve aralık kuralına göre manyetik ve elektrik etkileşimden oluşan enerji farkları [35].....	20
Şekil 3.5: Bir spektral çizginin çizgi profili.....	21
Şekil 3.6: İki seviye arasında oluşan kendiliğinden emisyon olayının şematik gösterimi.....	23
Şekil 3.7: Aynı yarı genişlikli Gauss çizgi profili ile Lorentz çizgi profilinin gösterimi[33]....	27
Şekil 3.8: Holmiyum elementinin periyodik cetveldeki yeri.....	30
Şekil 3.9: Fourier Transform Spektroskopisi deney sistemi.....	33
Şekil 3.10: Holmiyum'un Argon ve Neon asal gazları ile alınmış Fourier Transform Spektrumundan bir kesit Mavi spektrum Ar-Ho plazma, kırmızı spektrum Ne-Ho plazmadan alınan spektrumdur.....	33
Şekil 3.11: Spektrumu kalibre etmek için oluşturulan kalibrasyon eğrisi. X eksenindeki σ değeri bu çalışmada bu kaydedilen Fourier Transform Spektrumunda bulunan şiddetli Argon çizgilerinin dalga sayılarıdır.....	36
Şekil 3.12: Silindir katot lambası.....	39
Şekil 3.13: 339.8942nm dalgaboyuna sahip spektral geçiş için Klasifikasyon programının ana menüsü.....	44
Şekil 3.14: Deneysel spektrum ile teorik spektrumun karşılaştırılması.....	45
Şekil 3.15: $\lambda=389.99675$ nm dalgaboyundaki spektral çizgisi için($E_{üst} = 34013.03\text{cm}^{-1} \rightarrow E_{alt} = 8378.91\text{cm}^{-1}$) fitter programının giriş dosyası.....	49
Şekil 3.16: $\lambda=389.99675$ nm dalgaboyundaki ($E_{üst} = 34013.03\text{cm}^{-1} \rightarrow E_{alt} = 8378.91\text{cm}^{-1}$) spektral geçisi için Fitter programında çıkış dosyasının bir kısmı.....	51

- Şekil 3.17:** a) $25500\text{ cm}^{-1} \rightarrow 25900\text{ cm}^{-1}$ dalga sayısı aralığındaki holmiyum spektrumundan bir kesit, b) $25625\text{ cm}^{-1} \rightarrow 25640\text{ cm}^{-1}$ aralığında bir kesit, c) $\lambda = 389.99675\text{ nm}$, $E_{\text{üst}} = 34013.03\text{ cm}^{-1}$, $J = 19/2$, $E_{\text{alt}} = 8378.91\text{ cm}^{-1}$, $J = 17/2$ 53
- Şekil 3.18:** $\lambda = 389.9968\text{ nm}$; $\sigma = 25633.7961\text{ cm}^{-1}$, $E_{\text{alt}} = 8378.91\text{ cm}^{-1}$, $J = 17/2 \rightarrow E_{\text{üst}} = 34013.03\text{ cm}^{-1}$, $J = 19/2$ olan spektral geçişinin lineerize edilen spektrumu.....54
- Şekil 3.19:** $\lambda = 389.9968\text{ nm}$; $\sigma = 25633.7961\text{ cm}^{-1}$, $E_{\text{alt}} = 8378.91\text{ cm}^{-1}$, $J = 17/2 \rightarrow E_{\text{üst}} = 34013.03\text{ cm}^{-1}$, $J = 19/2$ olan spektral geçişinin lineerize edilen spektrumu.....55
- Şekil 4.1:** Ho-Ar ve Ho-Ne spektrumunda Holmiyum çizgilerinin aşırı ince yapıları parmak izi gibi görülmektedir.....57
- Şekil 4.2:** Birden fazla çizginin üst üste bindiği karışık bir spektrum kesiti.....58
- Şekil 4.3:** a) Kolaylıkla birbirinden ayırt edilebilen üst üste çakışmış iki çizgiye örnek. b) Üst üste çakıştığı kolaylıkla ayırt edilemeyen üst üste çakışmış iki çizgiye bir örnek. Bu iki çizgi ancak iki ayrı plazma ortamında ölçüldüğünde çakışma anlaşılabildi.....60
- Şekil 4.4:** Şeklin sol tarafında iki adet sınıflandırılmış çizgi ile birlikte oldukça iyi ayrılmış ve S/N oranı yüksek, alt ve üst enerji seviyesi bilinmediği için sınıflandırılmamış bir çizgi.....63
- Şekil 4.5:** İki seviyeye geçiş için örnek 33983.4 cm^{-1} , $J = 17/2$ ve 33983.68 cm^{-1} , $J = 15/2$, ikinci derece etkisini gösteren aşırı ince yapı. Her iki geçiş aynı alt seviyeye sahip 8427.11 cm^{-1} , $J = 15/2$ 65
- Şekil 4.6:** Fourier transform spektroskopi metodu ile Argon ve Neon gazı ile alınan spektrumdan Ho III çizgisi içeren bir kesit.....68
- Şekil 4.7:** a) Dar bir Ne II çizgisi ile çok küçük aşırı ince yapı gösteren bir Ho III çizgisi. b) Ho-Ar spektrumunda gözlenmeyip Ho-Ne spektrumunda gözlenen Ho III çizgisi.....70
- Şekil 4.8:** $\lambda = 389.9968\text{ nm}$; dalgaboyundaki fit edilen oldukça iyi ayrılmış spektruma bir örnek. $\sigma = 25633.7961\text{ cm}^{-1}$, $E_{\text{alt}} = 8378.91\text{ cm}^{-1}$, $J = 17/2 \rightarrow E_{\text{üst}} = 34013.03\text{ cm}^{-1}$, $J = 19/2$ 82
- Şekil 4.9:** $\lambda = 367.9177\text{ nm}$ dalgaboyundaki fit edilen hemen hemen ayrılmamış spektruma bir örnek. $\sigma = 27172.2576\text{ cm}^{-1}$, $E_{\text{alt}} = 8427.1\text{ cm}^{-1}$, $J = 15/2 \rightarrow E_{\text{üst}} = 35599.5\text{ cm}^{-1}$, $J = 19/2$ 83
- Şekil 4.10:** a) Oldukça iyi ayrılmış Ho II çizgisi ile birlikte fit edilen $\lambda = 399.2698\text{ nm}$ dalgaboyundaki Holmiyum atom çizgisi ($\sigma = 25038.6395\text{ cm}^{-1}$, $E_{\text{alt}} = 9147.08\text{ cm}^{-1}$, $J = 13/2 \rightarrow E_{\text{üst}} = 34185.820\text{ cm}^{-1}$, $J = 13/2$). b) Bir başka Ho çizgisi ile karışmış birlikte fit edilen $\lambda = 390.4418\text{ nm}$; dalgaboyundaki Holmiyum atom çizgisi $\sigma = 25604.7575\text{ cm}^{-1}$, $E_{\text{alt}} = 8378.91\text{ cm}^{-1}$, $J = 17/2 \rightarrow E_{\text{üst}} = 33983.68\text{ cm}^{-1}$, $J = 15/2$ 85

Şekil 4.11: $\lambda=391.0303$ nm; fit edilen aşırı ince yapı yarılması gösteren Holmiyum atom çizgisi. ($\sigma = 25566.2265 \text{ cm}^{-1}$, $E_{\text{alt}} = 11322.31 \text{ cm}^{-1}$, $J = 21/2 \rightarrow E_{\text{üst}} = 36888.64 \text{ cm}^{-1}$, $J = 19/2$).....86

Şekil 4.12: $\lambda=394.9024$ nm; yanında bilinmeyen bir çizgi ile fit edilen bir çizgi. ($\sigma = 25315.5499 \text{ cm}^{-1}$, $E_{\text{alt}} = 10695.75 \text{ cm}^{-1}$, $J = 9/2 \rightarrow E_{\text{üst}} = 36011.48 \text{ cm}^{-1}$, $J = 11/2$).....87

Şekil 4.13: $\lambda = 395.5708$ nm; fit edilen karışmış çizgi içinde bir asal gaz çizgi olabilir ($\sigma=25272.7717 \text{ cm}^{-1}$, $E_{\text{alt}} = 0.00 \text{ cm}^{-1}$, $J = 15/2 \rightarrow E_{\text{üst}} = 25272.630 \text{ cm}^{-1}$, $J = 15/2$).
a) karışmış çizgi (blend) dikkate alınmadığından b) karışmış çizgi (blend) dikkate alındığında.....88

Şekil 4.14: $\lambda = 386.0096$ nm; fit edilen asal gaz çizgi olabilir ($\sigma = 25898.7471 \text{ cm}^{-1}$, $E_{\text{alt}} = 8378.91 \text{ cm}^{-1}$, $J = 16/2 \rightarrow E_{\text{üst}} = 34277.910 \text{ cm}^{-1}$, $J = 19/2$). 89



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: Çizgi genişlemelerinin matematiksel fonksiyonlara göre dağılımı.....	22
Tablo 3.2: ¹⁶⁵ Ho elementinin periyodik cetveldeki yeri ve temel özellikleri.....	29
Tablo 3.3: Kalibrasyon için kullanılan Learner'dan (56) ve NIST'ten (57) alınan Ar spektral çizgileri. σ ; Learner'dan alınan spektral çizgilerin dalga sayıları, $\lambda_{\text{Learner-hesap}}$; Learner'dan alınan spektral çizgilerin hesaplanan dalgaboyları; $\sigma_{\text{deneysel-FT}}$ ölçtüğümüz spektrumlardaki Ar çizgilerinin dalga sayıları, σ kalibre edilmiş dalga sayısı, λ deneysel FT;spektrumdaki dalgaboyları, λ kalibre edilmiş dalgaboyları, $\Delta\sigma$ Learner-deneysel; dalga boyları arasındaki fark, $\Delta\sigma_{\text{Learner-deneysel}} = \sigma_{\text{Learner}} - \sigma_{\text{deneysel-FT}}$, σ NIST seviyeler dalga sayısı, $\Delta\sigma_{\text{Learner-NIST}} = \sigma_{\text{Learner}} - \sigma_{\text{NIST}}$, $\Delta\sigma_{\text{NIST-deneysel}} = \sigma_{\text{NIST}} - \sigma_{\text{deneysel}}$	37
Tablo 4.1: Atomik ve iyonik Ho çizgileri; Ho-Ar spektumdaki S/N ve Ho-Ne spektumdaki S/N arasındaki R ilişkisi.....	62
Tablo 4.2: İkinci derece etkisiyle etkilenmiş olabilecek, Ho I seviyeleri listesi.....	65
Tablo 4.3: Ho I olarak tanımlanan bütün çizgilerin listesi, W; çizgi desen genişliği, nl; yeni spektral çizgi, nc ; yeni sınıflandırma, nlc; yeni spektral çizgi ve yeni sınıflandırma, SNR; spektral geçişin FT'de gözlenen şiddet/gürültü oranı, R; S/N Ar/ S/N Ne, λ_{hava} ; havadaki ağırlık merkezi dalgaboyları, σ ; vakumdaki dalga sayısı, $\Delta\sigma$; $\Delta\sigma = \sigma_{\text{vak}} - E_{\text{ü}} - E_{\text{a}} $, enerji seviyesinin J değeri, npt; mümkün çizgi sayısı.....	71
Tablo 4.4: Ho II olarak tanımlanan bütün çizgilerin listesi, W ; çizgi desen genişliği, nl; yeni spektral çizgi, nc ; yeni sınıflandırma, nlc; yeni spektral çizgi ve yeni sınıflandırma, SNR; spektral geçişin FT'de gözlenen şiddet/gürültü oranı, R; S/N Ne/ S/N Ar, λ_{hava} ; havadaki ağırlık merkezi dalgaboyları, σ ; vakumdaki dalga sayısı, $\Delta\sigma$; $\Delta\sigma = \sigma_{\text{vak}} - E_{\text{ü}} - E_{\text{a}} $, enerji seviyesinin J değeri, npt; mümkün çizgi sayısı.....	75
Tablo 4.5: Ho III olarak tanımlanan tüm çizgilerin listesi, W; çizgi desen genişliği, nl; yeni spektral çizgi, nc; yeni sınıflandırma, nlc; yeni spektral çizgi ve yeni sınıflandırma, SNR; spektral geçişin FT'de gözlenen şiddet/gürültü oranı λ_{hava} ; havadaki ağırlık merkezi dalgaboyları, σ ; vakumdaki dalga sayısı, $\Delta\sigma$; $\Delta\sigma = \sigma_{\text{vak}} - E_{\text{ü}} - E_{\text{a}} $, enerji seviyesinin J değeri, npt; mümkün çizgi sayısı.....	80
Tablo 4.6: Aşırı ince yapı analizi yapılan Holmiyum I çizgeleri. λ_{hava} : havadaki dalgaboyu; σ_{vakum} : spektral çizginin vakumdaki dalgasayısı; W: deneysel çizgi genişliği (1 mK = 0.001 cm ⁻¹); SNR:sinyal/gürültü oranı Ne ve Ar ile alınan spektrumlar için; E_{alt} alt seviyenin enerjisi, J_{alt} alt seviyenin J değeri, $E_{\text{üst}}$ üst seviyenin enerji değeri, $J_{\text{üst}}$ üst seviyenin J değeri, terim, konfigürasyon. Ref: Konfigürasyonların alındığı referanslar.....	91

Tablo 4.7: Spektral çizgilerin analizinde literatürden alınarak sabit tutulan Ho I enerji seviyelerinin A manyetik dipol ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitleri, enerji, konfigürasyon, spektral terimleri, J değeri ve seviyenin paritesi; deneysel metodlar ve referansları ABMR; Atomik Işın Manyetik Rezonans, LOGS: Laseroptogalvanik spektroskopi, FTS: Fourier Transform Spektroskopi.....93

Tablo 4.8: Ho I'in üst enerji seviyelerine ait "çift pariteli" enerji seviyesinin bu çalışmada bulunan manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A ve elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B değerleri. E enerji, konfigürasyon, terim, J toplam açısal momentum değerleri.....94

Tablo 4.9: Ho I'in üst enerji seviyelerine ait "tek pariteli" enerji seviyesinin ilk defa bu çalışmada elde edilen manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A ve elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B değerleri. A_{ort} ve B_{ort} , birden fazla spektral çizgiden elde edilen A ve B sabitlerinin ağırlıklı ortalama değeri, E enerji, J toplam açısal momentum Konf: konfigürasyon.....95

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
J	: Elektron toplam açısal momentum kuantum sayısı
I	: Çekirdeğin spin açısal momentum kuantum sayısı
F	: Atomun toplam açısal momentum kuantum sayısı
μ_B	: Bohr manyetonu
μ_J	: Elektronun toplam açısal manyetik momenti
μ_I	: Çekirdeğin spin açısal manyetik dipol momenti
μ_N	: Çekirdek manyetonu
ζ	: Spin-yörünge etkileşme parametresi
Q	: Çekirdeğin elektrik kuadropol momenti
a	: Elektron –çekirdek dipol-dipol etkileşme aşırı ince yapı parametresi
λ	: Dalgaboyu
g	: Lande-g çarpanı
σ	: Dalga sayısı
A	: Manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti
B	: Elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti
Kısaltmalar	Açıklama
FTS	: Fourier Transform Spektroskopisi
LOGS	: Laser Optogalvanik Spektroskopisi
ABMR	: Atomik ışın Manyetik Rezonans

ÖZET

DOKTORA TEZİ

Ho I VE Ho II' NİN MOR ÖTESİ BÖLGEDE SPEKTRAL ÇİZGİLERİNİN SINIFLANDIRILMASI VE AŞIRI İNCE YAPILARININ İNCELENMESİ

Nadia AL-LABADY

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Gönül BAŞAR

Bu çalışmada, holmiyum (Ho) elementinin atom ve iyon hallerinin spektral çizgi sınıflandırmaları ve Ho atomunun enerji seviyelerinin aşırı ince yapılarının deneysel olarak incelenmesi amaçlandı.

Ho elementinin $24500 - 31500 \text{ cm}^{-1}$ ($315 - 400 \text{ nm}$) UV spektral aralığındaki spektrumu silindir katot boşalım lambası kullanılarak Fourier Transform Spektroskopi metodu ile incelendi. Holmiyum spektrumu Neon ve Argon asal gazları kullanılarak iki kez alındı. Holmiyum atomu (Ho I), bir kez iyonize olmuş Holmiyum (Ho II) ve iki kez iyonize olmuş Holmiyum'a (Ho III) ait spektral çizgilerin ayırımı, iki farklı Ho spektrumunun Neon ve Argon gibi farklı asal gazlar ile ölçülmesiyle elde edilen yoğunluk oranları yardımı ile yapıldı.

Ho I'in bilinen enerji seviyeleri kullanılarak 71 çizgi Ho I olarak sınıflandırıldı. Bunlardan 34 tanesi daha önce yayınlanmamış çizgilerdir. Spektrumlarda, literatürde sınıflandırılmamış fakat Ho I olarak verilmiş 32 çizgi gözlendi. Bunun yanında, Ho II'nin enerji seviyeleri kullanılarak 97 Ho II çizgisi sınıflandırıldı. Sınıflandırılmamış olmasına rağmen literatürde yer alan 39 Ho II çizgisi tanımlandı. Spektrumlardan sinyal gürültü oranına bakılarak ve bilinen Ho III enerji seviyeleri kullanılarak sadece 9 Ho III çizgisi sınıflandırılabilirdi. Neon ve Argon ile elde edilen spektrumların karşılaştırılması ile 370 çizgi Ho I olarak tanımlandı ve bu çizgilerin tamamı daha önceki literatürde bulunmamaktadır.

Ho I'in 42 spektral geçişinin analizi sonucunda, tek pariteli üst enerji seviyelerinin 23 manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A değeri ile 16 elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B değeri elde edildi. Bunun yanında, çift pariteli üst enerji seviyelerinin 9 manyetik

dipol aşırı ince yapı sabiti A değeri ile 8 elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B değeri belirlendi. Bu sabitler ilk defa bu çalışmada elde edildi.

Ekim, 2016, 158 sayfa.

Anahtar kelimeler: Spektrum çizgi tanımlaması, aşırı ince yapı, UV spektrumu, Holmiyum



SUMMARY

Ph. D. THESIS

SPECTRAL LINE CLASSIFICATION AND HYPERFINE STRUCTURE INVESTIGATION OF Ho I AND Ho II IN THE ULTRAVIOLET REGION

Nadia AL-LABADY

Istanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Physics

Supervisor : Prof. Dr. Gönül BAŞAR

In this study, it is aimed to classify the spectral lines of the atomic and ionized Holmium (Ho) and to investigate hyperfine structure of energy levels of Ho experimentally.

The spectra of Holmium (Ho) from 24500 to 31500 cm^{-1} (315 to 400 nm) in the UV spectral range have been investigated with the Fourier Transform Spectroscopy method by using hollow cathode discharge lamp. The Ho spectra were recorded twice with Neon and Argon inert gases. By measuring of two different spectra of Ho with Neon and Argon inert gases, the distinction of spectral lines of Holmium atom (Ho I), singly ionized Holmium (Ho II) and doubly ionized Holmium (Ho III) were performed with the help of density ratios which were obtained.

Using the known Ho I energy levels, 71 lines could be classified as transition of atomic Ho. 34 of those lines have not been published before. 32 lines which have not been classified in the literature but given as Ho I have been observed in the spectra. Besides that, 97 Ho II lines have been classified by using energy levels of Ho II. Although they were not classified, 39 Ho II lines which are in the literature were defined. 9 Ho III lines could be classified by looking at the signal noise ratio through the spectra and by using known energy levels of Ho III. 370 lines were defined as Ho I with comparison of spectra obtained from Ar and Ne and all these lines have not been listed in literature before.

As a result of analysis of 42 spectral transitions, 23 magnetic dipole hyperfine structure constant A and 16 electric quadrupole hyperfine structure constant B of upper energy levels with odd parity were obtained. Besides, 9 magnetic dipole hyperfine structure constant A and 8 electric quadrupole hyperfine structure constant B of upper energy levels with even

parity were determined. Those constants were obtained in the present study, for the first time.

October, 2016, 158 pages.

Keywords: Spectral line identification, hyperfine structure, UV spectrum, Holmium



1. GİRİŞ

Bunsen ve Kirchhoff 1860 yıllarında elementlerin absorpsiyon ve emisyon sonucunda oluşan optik spektrumlarının kendine özgü niteliklere sahip olduğunu göstermiştir. Hidrojen atomlarının spektral çizgileri 1885 yılında tanımlamıştır. Görünür bölgedeki bu çizgiler Balmer serisi olarak bilinmektedir[1].

Atom fiziği, atomların ve iyonların yapısını inceler. Bununla birlikte atom ve iyonların birbirleri ile çevre ile ortamdaki elektromanyetik alanla etkileşimini, atom altı parçacıkların birbiri ile olan etkileşimlerini inceler.

Holmiyum gibi bazı elementlerin spektrumlarında var olan spektral çizgilerinin sınıflandırılması, spektral çizgilerinin parmak izi olarak kabul edilen aşırı ince yapılarının bilinmesi Astrofizik için oldukça önemlidir. Yıldız atmosferlerinin bolluk oranlarının kesin olarak belirlenebilmesinde bu bilgilere gereksinin duyulmaktadır. Bütün bu bilgiler elementlerin spektrumlarının klasik yada laser spektroskopik yöntemlerle incelenmesi ile elde edilir. Holmiyumun manyetik dipol moment ve elektrik kuadropol momentinin değerleri diğer elementlerle karşılaştırıldığında relatif olarak büyüktür. Bu durum bize holmiyumun spektrumunun aşırı ince yapı yarılmalarını Fourier transform spektroskopisi (FTS) gibi Doppler genişlemesine sahip metodlarla incelememize imkan sağlar.

Bu çalışmada mor ötesi bölgede Holmiyum atomu ile birinci ve ikinci iyonunun çizgi sınıflandırması yapıldı. Bunu yapabilmek için spektral çizginin her iki enerji seviyesinin yada iki seviyeden en az birinin parmak izi olarak düşünebileceğimiz aşırı ince yapıyı tanımlayan aşırı ince yapı sabitlerinin bilinmesi gerekir. Bu iki seviyeden sadece birinin aşırı ince yapı sabitinin belli olması durumunda diğer seviyenin aşırı ince yapı sabiti, çizgi analiz edilerek bulundu ve böylece çizgiler sınıflandırılabilir.

Spektrumdaki atom ve iyon çizgilerini birbirinden ayırmak amacı ile Holmiyum spektrumu, silindir katod lamba boşalımalarında Argon ve Neon asal gazını kullanılarak ayrı ayrı kaydedildi. Her iki spektrumda bulunun çizgilerin saptanan sinyal gürültü oranlarının birbirlerine göre oranları atom ve iyon çizgilerini birbirinden ayırt ederek

tanımlamamıza yardımcı oldu. Sınıflandırılmayan çizgilerde ayrıca verildi. Bu çizgiler literatürde şu ana kadar yer almamış çizgileride içermektedir.

Bu çalışmada Fourier Transform Spektroskopisi yöntemi ile Holmiyum elementinin spektral çizgileri deneysel olarak incelendi. Bu incelemelerde, Ho spektrumunun mor ötesi spektral bölge (300-400 nm) aralığındaki çizgileri analiz edilerek Ho I, Ho II ve Ho III'e ait spektral çizgiler tanımlandı. Bu çizgiler Ho I, Ho II ve Ho III'un bilinen deneysel ince yapı enerji seviyeleri kullanılarak sınıflandırıldı. Sınıflandırılmayan çizgilerde ayrı bir tabloda yer aldı. Çizgilerin sınıflandırılmasında "Classification" programı kullanıldı. Bu program, ince yapı enerjilerinin toplam açısal momentum J değeri ile eğer varsa daha önceden bilinen aşırı ince yapı sabitlerini kullanarak, geçiş kurallarına uygun olan mümkün geçişleri önererek, spektral çizgilerin sınıflandırılmasına olanak sağlar.

Ho I'in bilinen bütün seviyeleri kullanılarak, 71 çizgi atomik Ho I'in geçişi olarak açık bir şekilde sınıflandırıldı. Bu çizgilerden 34'ü şu ana kadar literatürde bulunamayıp üç çizgi için (Sansonetti et al. 2005) de [2] verilen başka bir sınıflandırma belirlenmiştir.

Yine Ho II ve Ho III e ait bilinen deneysel ince yapı enerji seviyeleri kullanılarak, 97 Ho II ve 9 Ho III olmak üzere toplam 106 tane çizgi iyonik Ho olarak sınıflandırıldı. Literatürde sınıflandırmadan verilen ve spektrumlarımızda da mevcut olan Ho I'e ait 32 Ho II'ye ait 39 çizgi sınıflandırılmayanlar listesinde yer aldı.

Toplamda 248 atomik ve iyonik Ho çizgisi sınıflandırıldı, kalan 700 den fazla Ho çizgisi sınıflandırılmadı.

Çalışmanın ikinci kısmında Holmiyum atomunun 300- 400 nm'lik spektral bölgede spektral çizgilerinin aşırı ince yapıları incelendi. Aşırı ince yapının bir kısmı, homojen olmayan yük dağılımına sahip çekirdeğin sahip olduğu manyetik dipol moment ile atomun sahip olduğu elektronların orbital ve spin hareketleri sonucunda meydana gelen manyetik alanın etkileşmesi ile oluşur. Deneysel olarak spektrumların analizi ile elde edilen manyetik dipol aşırı ince yapı sabitlerinden, A , bu etkileşimler hakkında bilgi sahibi oluruz. Çekirdeğin elektrik kuadropol momentleri ile yine elektronların meydana getirdikleri elektrik alanının etkileşmesi ile aşırı ince yapının elektriksel yarılmalari ortaya çıkar. Elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitlerinin, B , elde edilmesi ile bu etkileşimler

hakkında bilgi sahibi oluruz. Bütün bu bilgiler ile elektronların dalga fonksiyonları daha iyi analiz edilmiş olur.

Ölçülen spektrumların aşırı ince yapıları Fitter [3] programı yardımı ile analiz edilerek, bu geçişlerin sahip olduğu enerji seviyelerinin bilinmeyen aşırı ince yapı sabitleri elde edildi.

Ho elementinin ince ve aşırı ince yapısı ile ilgili şimdiye kadar yapılan tüm çalışmalar incelenerek bu çalışmada kullanılan literatür ve bu literatürdeki yöntemler, ulaşılan bulgularla birlikte genel kısımda anlatıldı.

Çalışmada kullanılan deneysel yöntem, Ho elementine ait özellikler malzeme ve yöntem kısmında anlatıldı.

Ho elementinin ölçülen spektrumunun incelenmesi sonucunda çizgi sınıflandırmaları ve aşırı ince yapı analizi sonucunda elde edilen tüm bulgular, bulgular kısmında verildi.

Bulguların literatürdeki değerlerle karşılaştırılması ile elde edilen sonuçlar literatüre katkı, ileriye dönük öneriler tartışma ve sonuç kısmında ele alındı.

2. GENEL KISIMLAR

Holmiyum, sembolü Ho, atom numarası 67 ve atom ağırlığı 164.94 g/mol [4] olan kimyasal bir elementtir. Ho elementi, geçiş elementlerinin bir alt serisi olan lantanit (nadir toprak elementleri) grubundadır. Bu elementin sadece bir kararlı ^{165}Ho izotopu bulunmaktadır [5] ve doğal halde %100 bolluğa sahiptir. Nükleer spini $I = 7/2$ olarak verilen ^{165}Ho izotopu, $\mu_I = +4.125(3) \mu_N$. [6] [7] olan büyük bir çekirdek manyetik dipol momente sahiptir. Buna karşılık daha küçük bir $Q = +2.64b$ değerinde elektrik kuadrapol momenti vardır [6] bu moment aşırı ince yapı ayrışmasını belirler.

Holmiyum elementi, 1878 yılında İsveçli kimyager Per Theodor Cleve tarafından keşfedilmiştir. Holmiyum ismini, Latince Holmia olan, İsveç'in başkenti Stockholm'den almıştır. Holmiyum elementi doğada serbest halde bulunmaz, diğer nadir toprak elementleri veya gadolinit ve monazit mineralleri ile birarada bulunur.

Holmiyumun ince ve aşırı ince yapısı son 50 yıldır pek çok araştırmanın konusu olmuştur.

^{165}Ho izotopunun manyetik dipol momenti ' μ_I ' ilk olarak Sugar tarafından 1968 yılında bir Fabry-Perot Spektrometresi kullanılarak incelenen Ho II'nin aşırı ince yapı ölçümlerinden elde edilmiştir [8].

^{165}Ho izotopunun elektrik kuadrapol momenti ' Q ' spektroskopik olarak ilk defa 1964 yılında Goodman ve Schlöfmann tarafından [9], 1974 yılında P. Ebersold ve diğ. [10], daha sonra 1976, 1978 ve 1982 yıllarında sırasıyla R.J. Powers ve diğ. [11], S.C. Cheng ve diğ. [12] ve Burghardt ve diğ. [13] tarafından araştırılmıştır.

Nötral Holmiyum (Ho I) atomunun aşırı ince yapısı birçok araştırmanın konusu olmuştur. Temel seviyenin, $4f^{11}6s^2 \ ^4I_{15/2}$, A manyetik dipol ve B elektrik kuadrapol momenti sabitleri, Atomik Işın Manyetik Rezonans yöntemi kullanılarak, 1964 yılında Goodman ve Schlöfmann [9] ve 1972 yılında Merzlyn ve diğ. [14] tarafından belirlenmiştir. Ayrıca Merzlyn ve diğerleri, bu temel seviyeye ait dört aşırı ince yapı etkileşim sabitini (A -dipole, B -quadrupole, C -octopole, D -sedecimpole) teorik olarak hesaplamışlardır.

1975 yılında Meggers ve diğ. [15], Holmium'u da içeren 70 kimyasal elementin 2 000 – 9 000 Å aralığındaki 39 000 spektral çizgisinin dalga boyları ve bağıl şiddetlerini ölçerek

Tables of Spectral-Line Intensities, Part I – Arranged by Elements, Part II – Arranged by Wavelengths isimli kitapta biraraya getirmişlerdir.

1977 yılında, Wyart ve diğ. [16], Ho I'in kırmızıötesi spektrumunu, $2493 - 12344 \text{ cm}^{-1}$ aralığında, Fourier Transform Spektroskopi (FTS) yöntemi ile kaydetmiştir. Kaydedilen spektrumda 1462 emisyon çizgisinden 913 tanesini, 144 tek ve 116 çift pariteli enerji seviyeleri arasındaki spektral geçişlerin bir kombinasyonu olarak sınıflandırmayı başarmışlardır. Ayrıca, bu emisyon çizgilerine ait aşırı ince yapı spektrumunun analizi ile $4f^{11}6s^2 \ ^4I$, $4f^{10}6s^26p \ (^5I_8, \ ^6P_{1/2})$, $4f^{11}5d6s \ ^6G$, $4f^{10}5d6s6p$, $4f^{11}6s7s \ (^4I_{15/2}, \ ^3S_1)$, $4f^{10}5d6s^2 \ (^5I_8, \ ^5d_{3/2})$, $4f^{11}6s6p \ (^4I_{15/2}, \ ^3P_0)$, $4f^{10}5d^26s \ ^8G$, $4f^{11}6s7p \ (^5I_8, \ ^7P_{1/2})$ konfigürasyonlarına ait 111 tek ve 66 çift pariteli seviyenin A manyetik dipol ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitleri belirlenmiştir. Bu çalışmanın II. kısmı olarak 1978 yılında, J.F. Wyart, P. Camus [17], Holmiyum atomunun $4f^{11}6s^2 + 4f^{10}6s^26p + 4f^{11}5d6s$ ve $4f^{10}5d6s^2 + 4f^{11}6s6p$ konfigürasyon gruplarını içeren çok konfigürasyonlu, elektrostatik etkileşimin de göz önüne alındığı parametrik ince yapı analizi gerçekleştirmiştir. Bu konfigürasyonlara ait 71 tek ve 70 çift pariteli enerji seviyeleri hesaplanmıştır. Bu seviyelere ait teorik A manyetik dipol ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitlerini hesaplayarak bunları deneysel değerlerle karşılaştırmışlardır.

1978 yılında, W. C. Martin ve diğ. [18], Holmiyum ($Z = 67$) elementi dahil olmak üzere, Lantan ($Z = 57$) elementinden, Lutesyum ($Z = 71$) elementine kadar olan 15 nadir toprak elementine ait enerji seviyeleri değerlerini, yayınlanmış ve yayınlanmamış çalışmalardan derleyerek *Atomic Energy Levels* adlı çalışmada yayınlamışlardır.

1982 yılında, Burghardt ve diğ. [13], Ho I'in temel seviyesinin $4f^{11}6s^2 \ ^4I_{11/2}$ aşırı ince yapı sabitlerini ve $4f^{11}6s^2$ konfigürasyonunun $^4I_{11/2}$, $^4I_{9/2}$ seviyelerinin elektronik g faktörünü Atomik Işın Manyetik Rezonans tekniği ile belirlemiştir.

1983 yılında W. J. Childs ve diğ. [19] Doppler-indirgenmiş Laser-floresans ve Laser-rf Çift-Rezonanse yöntemini kullanarak atomik Holmiyuma ait 27556 cm^{-1} , 27575 cm^{-1} ve 27640 cm^{-1} üç yeni enerji seviyesini bularak bunlara ait aşırı ince yapı sabitlerini ve bu seviyeler arasındaki 4 yeni spektral geçişi tanımlamışlardır.

1990 yılında Worm ve diğ. [20] bir kez iyonlaşmış Ho atomunun (Ho II)'nin 5 enerji seviyesinin aşırı ince yapısını Hızlı ışın Laser Spektroskopisi yöntemi ile incelemiş ve ilk

defa(Ho II)'ye ait yaşam ömrü ve osilasyon gücü değerlerini belirlemiştir. 1994 yılında Smirnov [17], 26 yeni Ho II çizgisini sınıflandırmıştır.

1992 yılında, Reddy ve diğ. [6], Holmiyum atomunun optogalvanik spektroskopi yöntemi ile kaydedilen spektrumunda yeni spektral geçişleri sınıflandırmış ve bu geçişlere ait enerji seviyelerinin aşırı ince yapı analizi ile A manyetik dipol ve B elektrik kuadropol momentlerini belirlemiştir. 1994 yılında Smirnov [21], 26 yeni Ho II çizgisini sınıflandırmıştır. 1997 yılında Kröger [22], Ho I'e ait $4f^{10}5d6s6p$ ve $4f^{10}5d^26s$ konfigürasyonlarının aşırı ince yapı sabitlerini teorik ve deneysel olarak FTS belirlemiştir ve Ho I'in görünür bölgedeki spektrumunu analiz ederek 99 tane yeni enerji seviyeleri bulmuştur.

1999 yılında E. A. Den Hartog ve diğ. [23] Laserle uyarılmış floresans yöntemi ile elde edilen $17000 - 41000 \text{ cm}^{-1}$ aralığındaki Ho I ve $20000 - 38000 \text{ cm}^{-1}$ aralığındaki Ho II spektrumlarından enerji seviyelerinin yaşam ömürlerini ölçmüşlerdir.

Morton [24], 2000 yılında, Germanyum'dan Bizmut'a kadar olan ağır kararlı elementlerin enerji seviyeleri, istatistiksel ağırlıkları, iyonizasyon potansiyelleri, vakum ortamındaki ve havadaki dalgaboyları, geçiş olasılıkları, yaşam ömürlerini ölçerek yayınlamıştır. Bu çalışma, ağır element zenginliğine sahip yıldız atmosferleri ile ilgili çalışılmalar için de büyük önem taşımaktadır.

2003 yılında, Gilian Nave [25], 73 enerji seviyesi arasında gerçekleşen $345 - 1080 \text{ nm}$ dalgaboyu aralığındaki 321 spektral geçişe ait geçiş olasılıklarını FTS yöntemini kullanarak kaydettiği Ho I spektrumunun analizi ile belirlemiştir.

2004 yılında, FTS yöntemi ile kaydedilen Ho II spektrumunun Lawler ve diğ. [26] tarafından analizi sonucunda, 6 tek pariteli ve 10 çift pariteli enerji seviyesinin aşırı ince yapı sabitleri elde edilmiştir.

2005 yılında Sansonetti ve Martin [2], Holmiyum da dahil olmak üzere hidrojenden Einstanium elementine kadar olan tüm elementlerin ($Z = 1 - 99$) atom ve tek iyonize hallerinin enerji seviyeleri, seviyeler arasındaki mümkün geçişlerin dalgaboyları, şiddetleri ve geçiş olasılıkları bilgilerini içeren *Handbook of Basic Atomic Spectroscopic Data* isimli kitabı derlemiştir.

Gurell ve diğ. [27], 2009 yılında, $8000 - 49600 \text{ cm}^{-1}$ ($2016 - 12500 \text{ Å}$) morötesi bölgedeki Ho II spektrumunu FTS yöntemi ile kaydetmişlerdir. Bu spektrumdaki 303 çizginin analiz edilmesi ile 41 tanesi yeni olmak üzere 100 enerji seviyesi ve bu seviyelere ait 83 yeni aşırı ince yapı sabiti değerleri belirlenmiştir.

2013 yılında Smirnov tarafından [28], 50 eV enerjiye sahip elektronlar ile uyarılan Holmiyum atomunun 102 spektral geçişi için uyarılmış tesir kesiti değerleri ölçülmüştür. Bilinen enerji seviyeleri kullanılarak, morötesi ve görünür bölgedeki Ho I çizgileri sınıflandırılmıştır.

Şu ana kadar yapılan çalışmalardan Ho I elementinin $0.00 - 44904.20 \text{ cm}^{-1}$ aralığında 183 çift ve 206 tek pariteli deneysel enerji seviyesi olduğu bilinmektedir [16, 17, 18, 19, 22, 23, 28]. Bu seviyelerden 3'ünün J değeri bilinmemektedir. Henüz deneysel olarak bilinmeyen pek çok enerji seviyeleri vardır.

Literatürde, Ho elementinin 1. iyonlaşmış haline ait (Ho II), $0.000 - 44998 \text{ cm}^{-1}$ aralığında 87 çift ve 23 tek pariteli deneysel enerji seviyesi bulunmaktadır [18, 23, 27]. Aynı şekilde Ho II'ye ait henüz deneysel olarak bilinmeyen pek çok enerji seviyesi bulunmaktadır.

Tüm bu çalışmalar göz önüne alındığında ve Ho spektrumu incelendiğinde Ho elementine ait sınıflandırılmamış birçok spektral geçiş olduğu ve deneysel olarak bilinen enerji seviyesinin A manyetik dipol aşırı ince yapı ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitlerinin bilinmediği görüldü.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1.ÇOK ELEKTRONLU SİSTEMLER

Atomların enerji seviyelerinin değerlerini ve durumlarını belirlemek için (3.1) eşitliği ile verilen Schrödinger denkleminin çözülmesi gerekir.

$$H\psi = E\psi \quad (3.1)$$

Burada H Hamiltonyen, ψ elektronların hareketini tanımlayan dalga fonksiyonu ve E enerji özdeğerleridir. Tek elektronu olan atomlar için Schrödinger denkleminin çözümü mümkündür. Oysa çok elektronlu atomlarda durum farklıdır. Çok elektronlu atomların enerjilerini belirlerken temel ve en önemli özellik, simetrik olmayan elektron-elektron etkileşimleri ve bu etkileşimlerde elektronların birbirinden ayırtedilemeyen özdeş parçacıklar oluşudur. Bu atomlarda Schrödinger denklemi, tek elektronlu atomda olduğu gibi radyal ve açısal kısmına ayrılamaz. Bu nedenle enerji özdeğer ve özfonksiyon hesaplamaları matematiksel olarak çok daha zor hatta imkansız hale gelir. Hesaplamalardaki zorlukları ortadan kaldırmak için yaklaşıklık yöntemleri kullanılır. Bu yaklaşımlardan biri merkezi alan yaklaşıklığıdır.

3.1.1.Merkezi Alan Yaklaşıklığı

Merkezi alan yaklaşıklığında, tüm elektron-elektron ve elektron-çekirdek etkileşimlerinden üretilen ortalama efektif bir potansiyel içinde keyfi olarak seçilen bir elektronun diğer elektronların anlık konumlarından bağımsız olarak hareket ettiği düşünülür. Bu elektronun içinde olduğu küresel simetrik ortalama potansiyel enerjiye bağımsız parçacık potansiyel enerjisi denir [29]. Küresel simetrik potansiyel sadece konuma bağlıdır. Bu nedenle merkezi olduğu varsayımı yapılır.

Rastgele seçilen bir elektron için dalga fonksiyonu belirlenirken, çekirdek ile elektronlar arasındaki Coulomb potansiyeli ve diğer elektronların birbirleri ile olan Coulomb etkileşme potansiyelini içeren zamandan bağımsız Schrödinger denklemi çözülmelidir. N elektrona sahip bir atom için Hamiltonyen;

$$H = \sum_{i=1}^N \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla_i^2 - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r_i} \right) + \sum_{i>j=1}^N \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{ij}} \quad (3.2)$$

Şeklinde yazılır.

İlk terim elektronun kinetik enerjisi, ikinci terim r_i elektron ve çekirdek arası uzaklık olmak üzere çekirdek-elektron arası Coulomb etkileşmesi, üçüncü terim r_{ij} elektronlar arası uzaklık olmak üzere elektronlar arası Coulomb etkileşmesidir. Burada h Planck sabiti olmak üzere; $\hbar = \frac{h}{2\pi}$, Z atom numarası, e elektronun yükü ve ε_0 boşluğun geçirgenliğidir.

Çok elektronlu atomlarda enerjiyi hesaplarken, temel amaç çok elektron problemini tek elektron problemine indirgemektir. Bu, Hartree-Fock metodu ile gerçekleştirilir.

3.1.2. Hartree-Fock Yöntemi

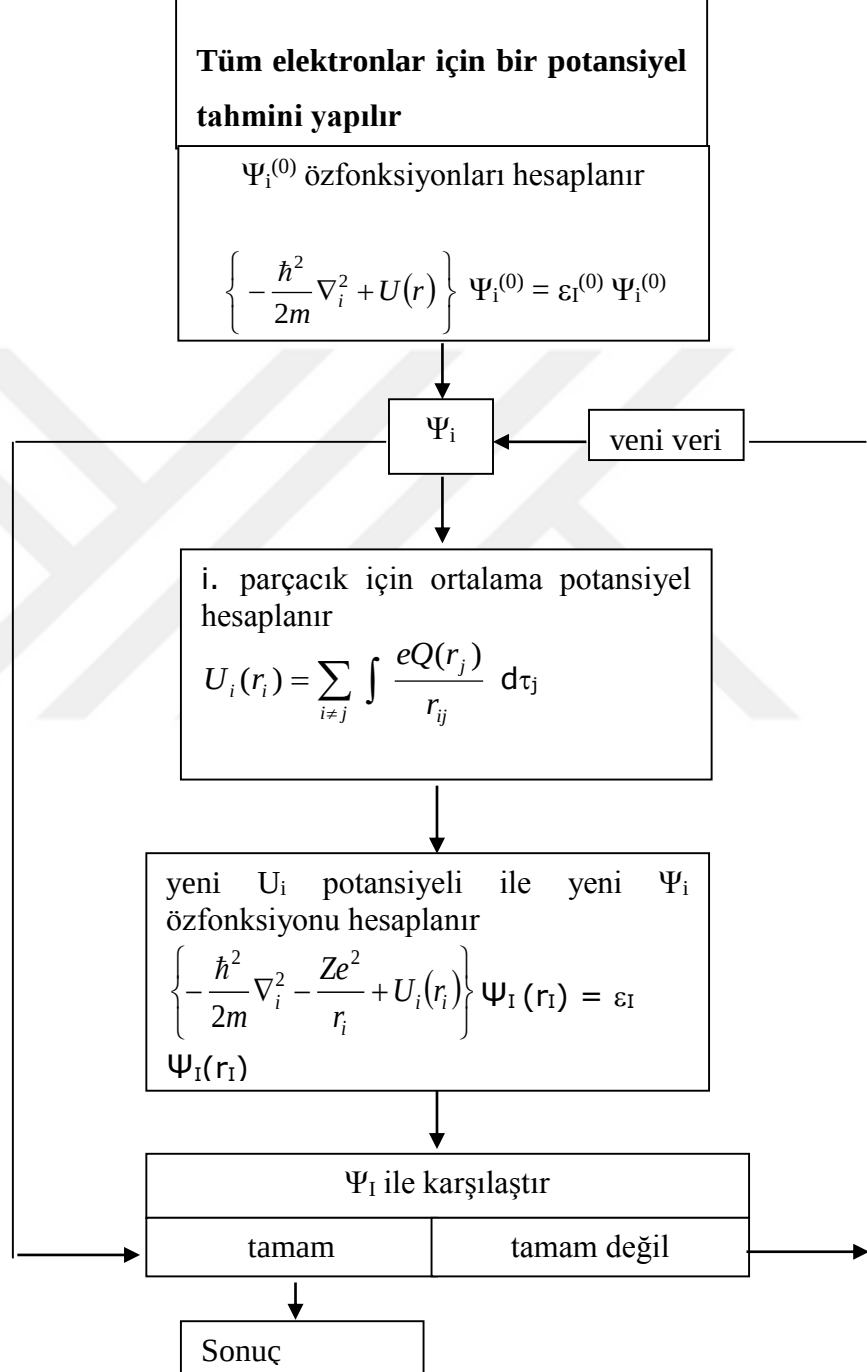
Çok elektronlu atomlarda Schrödinger denklemini çözebilmek için 1928 yılında Hartree tarafından bir yöntem önerildi. Bağımsız parçacık modelini temel alan bu yöntem, Pauli prensibine uymayan deneme fonksiyonlarını kullanması açısından eksikti. Bu eksiklik, Fock ve Slater tarafından 1930 yılında elektronların spinleri de dikkate alınarak giderildi.

Durumu basitleştirmek için, diğer elektronların tamamının yoğunluk dağılımlarının ilk yaklaşıklık olarak tek-elektron dalga fonksiyonu ile verilebileceği varsayımı yapılır. N elektronlu atom için dalga fonksiyonunun “slater determinant” olarak adlandırılan bir determinantla verilir. Öncelikle dalga fonksiyonu için uygun bir tahmin yapılır. Bu dalga fonksiyonu kullanılarak ortalama yük yoğunluğu dağılımı hesaplanır. Yük yoğunluğu dağılımı $Q(\mathbf{r}_i)$;

$$Q(\mathbf{r}_i) = e|\psi_{n,l,m_l,m_s}(\mathbf{R}_i)|^2 \quad (3.3)$$

şeklindedir. Belli bir r uzaklığındaki konumdaki yük ile Denklem 3.3’de verilen yük yoğunluğu dağılımı arasındaki etkileşme enerjisi, yük ile elektrostatik potansiyelin çarpımıdır. Buradan her bağımsız elektron için potansiyel enerji bulunur. Bulunan potansiyel enerji kullanılarak zamandan bağımsız Schrödinger denklemi çözülür. Amaç elektron için daha gerçekçi dalga fonksiyonu elde etmektir. Bulunan yeni dalga fonksiyonu ile tekrar potansiyel hesaplanır. Burada kullanılan iterasyon tekniğine Hartree-Fock yöntemi adı verilir. Hartree-Fock yönteminde Pauli ilkesi gözönüne alınarak işlemler yapılır. Şekil 3.1’de Hartree-Fock yönteminin şematik olarak gösterimi

verildi. Hartree- Fock metodu ile çok elektronlu atomların enerjileri n ve ℓ kuantum sayılarına bağlı olarak sıralanır.



Şekil 3.1: Hartree-Fock yönteminin şematik olarak gösterimi.

3.1.3. Parite

Parite işlemi ile r radyal , θ ve ϕ açısal koordinatları ile tanımlanan bir noktanın orijine göre simetrisi belirlenir. Parite operatörü uygulandığında açılarda da değişim meydana gelir. Parite operatörü ve bu operatöre ait özdeğer denklemi (3.4) eşitliği ile verilir.

$$P\Psi_{nlm}(r, \theta, \phi) = (-1)^l \Psi_{nlm}(r, \theta, \phi) \quad (3.4)$$

Ψ_{nlm} eşitlikte yer alan l değeri tek sayı ise tek pariteli yani anti simetrik, çift sayı ise çift pariteli yani simetrik bir fonksiyon olacaktır. Atom kararlı bir seviyede değil de geçiş yapma durumunda yani seviyeler arasında ise o an için dalga fonksiyonu karma paritelidir [30].

3.2. ATOMLARDA İNCE YAPI

Yapılan deneyler sonucunda bulunan enerji seviyelerinin açıklanabilmesi için Hartree-Fock metodu ile yapılan hesaplara spin yörünge etkileşme düzeltilmesinin yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu durumda Hamiltonyene eklenecek terim

$$H' = \sum_i \xi(r_i) \vec{L}_i \cdot \vec{S}_i \quad (3.5)$$

şeklindedir.

Atomlarda yüklerin yörünge hareketlerinden oluşan iç manyetik alan nedeni ile enerji düzeylerinde ince yapı yarılması adını alan yarılmalar meydana gelir. Bu yarılmalar spin ve yörünge manyetik momentleri arasındaki manyetik etkileşme nedeni ile oluşur ve küçük oldukları için ancak yüksek çözünürlüklü spektrometreler ile ayrıştırılabilirler. İç manyetik alan 10^{-10} T aralığında olduğu durumlarda her terim 10^{-3} cm^{-1} mertebesinde seviyelere ayrılır [31].

Elektronun dairesel yörünge hareketi nedeniyle oluşan akım $\vec{\mu}_\ell$ ile gösterilen manyetik dipol momenti oluşturur. $\vec{\mu}_B$ Bohr manyetonu cinsinden manyetik dipol moment ifadesi aşağıdaki gibi verilir. Burada boyutsuz Lande g_l çarpanı “1” değerine sahiptir.

$$\vec{\mu}_\ell = g_l \vec{\mu}_B \sqrt{\ell(\ell + 1)} \quad (3.6)$$

Diğer taraftan $\vec{\mu}_S$ ile gösterilen elektronun spin dipol momentinin Bohr magnetonu cinsinden

$$\vec{\mu}_S = -g_S \mu_B \frac{\vec{s}}{\hbar} \quad (3.7)$$

eşitliği ile verilir. Burada g_S spin Lande g çarpanı olup ve 2,00232'ye eşittir [1].

Çok elektronlu atomlarda her bir elektrona ait yörünge açısal momentum değeri kendi arasında ve ayrıca spin açısal momentum değerleri kendi arasında ayrı ayrı vektörel olarak toplanır:

$$\vec{L} = \vec{l}_1 + \vec{l}_2 + \vec{l}_3 + \dots \quad (3.8)$$

$$\vec{S} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2 + \vec{s}_3 + \dots \quad (3.9)$$

Böylece elektronun toplam açısal momentumu J ;

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S} \quad (3.10)$$

ile verilir. Aynı şekilde $\vec{J}$ ve $\vec{\mu}_J$ arasındaki ilişki Bohr magnetonu cinsinden aşağıdaki gibi verilir:

$$\vec{\mu}_J = -g_J \mu_B \frac{\vec{J}}{\hbar} \quad (3.11)$$

g_J : Toplam Lande g çarpanı olup değeri

$$g_J = 1 + \frac{J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)} \quad (3.12)$$

eşitliği ile bulunur. Toplam açısal momentum;

$$|L - S| \leq J \leq L + S \quad (3.13)$$

aralığında değerler alabilir.

Çok elektronlu atomlarda spin yörünge etkileşmesi sadece açık kabukta bulunan elektronlar arasındadır. Elektronun yörüngesel açısal momentum ve spin açısal momentumları arası manyetik etkileşme sonucu bir elektronun konfigürasyonu için birçok enerji seviyesi oluşur. Oluşan seviyelerin sayısı belirlenirken atomun açık kabuk elektronlarının momentumları dikkate alınır. Toplam yörüngesel açısal momentum

kuantum sayısı L , toplam spin açısai momentum kuantum sayısından küçük ise J toplam açısai momentum kuantum sayısı $(2L+1)$, tam tersi durumda ise $(2S+1)$ sayıda değeri alır. Her J değeriine bir enerji seviyesi karşılık gelir. Yani açık kabuk elektronlarının spin-yörünge etkileşmeleri sonucu multiplet olarak adlandırılan alt terimlere ayrılma oluşur.

İnce yapı etkileşme enerjisi,

$$E_{spin-yörünge} = \frac{\xi}{2} [J(J+1) - L(L+1) - S(S+1)] \quad (3.14)$$

şeklinde verilir. Burada ξ , bir multipletin bütün enerji seviyeleri için aynı değere sahiptir. Bir konfigürasyonun aynı S ve L değerlerine sahip bütün seviyeleri için geçerlidir.

Bir multipletin birbirini takip eden J değeriine sahip enerji seviyeleri arasındaki fark Lande aralık kuralına ile verilir [31]:

$$\Delta E_{spin-yörünge(J,J-1)} = \Delta E(J) - \Delta E(J-1) = \frac{\xi}{2} [J(J+1) - (J-1)J] = \xi J \quad (3.15)$$

Çok elektronlu atomlarda ince yapı enerji seviyeleri arası geçişler için aşağıdaki seçim kuralları uygulanır:

- Elektrik dipol geçişlerde konfigürasyonların pariteleri farklı olmalıdır. Yani geçiş olacak seviyelere ait dalga fonksiyonları farklı pariteli fonksiyonlardır. Bu da geçişin olabilmesi için iki seviyeye ait yörünge açısai momentum kuantum sayılarının farklı olması demektir $\Delta L = 0, \pm 1$ [32].
- $\Delta J = 0, \pm 1$ ($J = 0 \rightarrow J' = 0$ geçişi yasak)
- Spektral geçiş sırasında sadece bir elektron yörünge değiştirebilir.

Spin yörünge etkileşmesi sonucunda ince yapı enerji değerlerini elde etmek için Denklem (3.2) ile verilen hamiltonyene elektronların spin yörünge etkileşmelerini eklemek gerekir. İnce yapı hesaplarında kullanılan hamiltonyen aşağıdaki gibi yazılır:

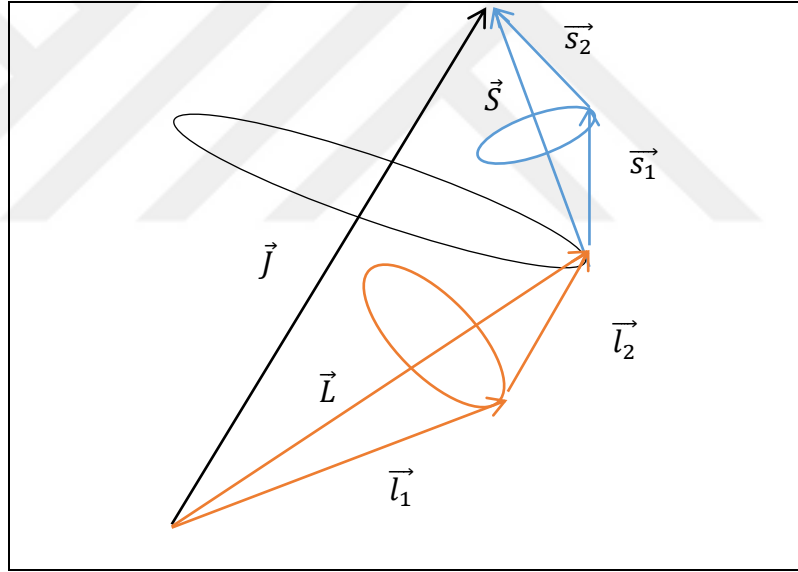
$$H = \sum_{i=1}^N -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla_i^2 - \sum_{i=1}^N \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r_i} + \sum_{i>j=1}^N \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{ij}} + \sum_{i=1}^N \xi_i(r_i) \vec{L}_i \cdot \vec{S}_i \quad (3.16)$$

Bu eşitlikteki son terim spin yörünge etkileşmesini verir. Son terimdeki spin ve yörüngesel dipol momentlerinin etkileşme sabiti olan ξ_i sadece radyal koordinata bağlıdır. $\vec{L}_i \cdot \vec{S}_i$ skaler çarpımı spinin yönelimine bağlı olarak pozitif ve negatif olabilir [33]. Spin

yörünge etkileşmelerinin de dikkate alındığı enerjiler bu Denklem (3.13)'te verilen hamiltonyen kullanılarak Shrödinger denkleminin çözülmesi ile elde edilir. Eşitlikte $\xi_i(r_i) \vec{L}_i \cdot \vec{S}_i$ ifadesi küçük bir pertürbasyon olarak rol oynar ve $\xi_i(r_i)$ ifadesi aşağıdaki gibi verilir:

$$\xi_i(r_i) = \frac{1}{2m_0^2 c^2} \frac{1}{r_i} \frac{dV_i}{dr_i} \quad (3.17)$$

Çok elektronlu atomlarda çeşitli etkileşmeler meydana gelir ve bütün etkileşmeler çiftlenim durumları bakımından temelde iki türde ele alınır. (3.16) eşitliğindeki Hamiltonyende verilen iki pertürbasyon teriminden hangisinin daha büyük olduğuna bağlı olarak çiftlenimin cinsi belirlenir. Eğer elektronlar arası Coulomb etkileşmesi spin yörünge etkileşmesinden daha kuvvetli ise “LS çiftlenimi” gerçekleşir. Bu durum iki elektronlu bir atom örneğinde şematik olarak aşağıda gösterildi:



Şekil 3.2: LS çiftleniminin şematik gösterimi

LS çiftlerininde:

$$\vec{S} = \vec{S}_1 + \vec{S}_2, \quad \vec{L} = \vec{L}_1 + \vec{L}_2, \quad \vec{J} = \vec{J}_1 + \vec{J}_2, \text{ şeklindedir.}$$

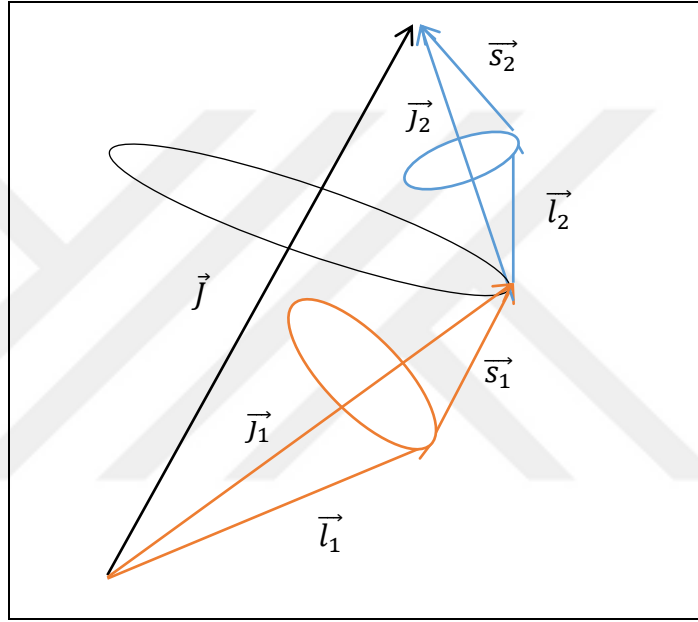
LS çiftlenimi hafif atomlar için geçerlidir.

Spin yörünge etkileşmesi elektronlar arası Coulomb etkileşmesinden büyük ise JJ çiftlenimi meydana gelir. Bu çiftlenim Z'nin büyük değerlerinde yani ağır atomlarda

meydana gelir. Bu durumda önce spin yörünge etkileşmesini dikkate alarak; $\vec{J}_1 = \vec{L}_1 + \vec{S}_1$, $\vec{J}_2 = \vec{L}_2 + \vec{S}_2$, ... Şeklinde toplanır ve son olarak J 'ler kendi aralarında toplanır.

$$\vec{J} = \vec{J}_1 + \vec{J}_2 \quad (3.18)$$

JJ çiftlenimi iki elektronlu bir atom için şematik olarak Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Bu çiftlenim türü dış manyetik alanın olmadığı ağır atomlarda ve çekirdek içinde bulunan nükleonlar arası bağlanmada görülür.



Şekil 3.3: JJ çiftleniminin şematik gösterimi

3.3.ATOMLARDA AŞIRI İNCE YAPI

Çekirdeğin elektromanyetik momentleri ve yörünge elektronları arasındaki etkileşme atomik enerji seviyelerinin aşırı ince yapı yarılmasına neden olur. Aşırı ince yapı etkileşme enerjilerinin büyüklükleri, momentlerin büyüklüğüne bağlıdır. Elektronun yörünge hareketi sebebi ile çekirdekte oluşan manyetik alanla çekirdeğin manyetik dipol moment μ_I ve elektrik alanla çekirdeğin elektrik kuadropol momentinin Q etkileşmesi sonucunda ince yapı enerji seviyelerinde yarılmalara meydana gelir. I , 0 ile 15/2 arasında değer alabilir. Kısaca, çekirdeğin bir spini olduğu söylenebilir ve I spin açısall momentumu olarak da adlandırılır.

Gözlenebilen aşırı ince yapı terimleri manyetik dipol ve elektrik kuadropol terimleridir. Diğer terimler çok küçük oldukları için ihmal edilebilir. Aşırı ince yapı etkileşmeleri ince yapı ile karşılaştırıldığında 10^3 - 10^4 kere daha küçüktür. Pauli tarafından 1924 yılında çekirdeğin I ile gösterilen bir çekirdek spinine sahip olduğu ortaya kondu. Aşırı ince yapı etkilerinin çekirdek spini yönelimine bağlı olduğunu, çekirdek spini ile atomun hareket halindeki elektronları arasında bulunan manyetik etkileşmeden meydana geleceğini söyledi [34]. Elektronun açısall momentumu J ve çekirdek spini I değerlerinin toplamından atomun toplam açısall momentum kuantum sayısı F elde edilir ki bu kuantum sayısı ile aşırı ince yapı seviyeleri karakterize edilir. F toplam açısall momentumu,

$$\vec{F} = \vec{J} + \vec{I} \quad (3.19)$$

$$|\vec{F}| = \sqrt{F(F+1)} \hbar \quad (3.20)$$

F toplam açısall momentumu,

$$|J - I| \leq F \leq J + I \quad (3.21)$$

aralığında değerler alabilir.

Çekirdeğin spin açısall momentumunun büyüklüğü,

$$|\vec{I}| = \sqrt{I(I+1)} \hbar \quad (3.22)$$

eşitliği ile verilir. $\vec{\mu}_I$ manyetik moment, çekirdek spin açısall momentumuna g_I çekirdek spin Lande g çarpanı ve μ_N çekirdek manyetonu olmak üzere;

$$\vec{\mu}_I = \frac{g_I \mu_N}{\hbar} \vec{I} \quad (3.23)$$

şeklinde bağlıdır [35].

Çekirdek manyetik dipol momenti ile manyetik alan, etkileşimi dikkate alındığında, sistemin toplam Hamiltonyeni;

$$H = \left[\sum_{i=1}^N \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 - \frac{ze^2}{(4\pi\epsilon_0)r_{ij}} \right) + \sum_{i>j=1}^N \frac{e^2}{(4\pi\epsilon_0)r_{ij}} \right] + \sum_{i=1}^N \zeta_i(r_i) \vec{L}_i \cdot \vec{S}_i + \sum_{i=1}^N a \vec{\mu}_i \cdot \vec{\mu}_j \quad (3.24)$$

şeklini alır. Eşitlikteki son düzeltme terimi çekirdek-elektron dipol-dipol etkileşme terimidir [30]. Atomun toplam dipol momenti Bohr magnetonu cinsinden,

$$\vec{\mu}_F = \frac{g_F \mu_B}{\hbar} \vec{F} \quad (3.25)$$

Atomun toplam Lande g çarpanı g_F değeri,

$$g_F \approx g_J \frac{F(F+1)+J(J+1)-I(I+1)}{2F(F+1)} \quad (3.26)$$

ifadesi ile hesaplanabilir.

Aşırı ince yapı yarılmaları sonucunda her J değerine sahip enerji,

$$J > I \quad \text{ise} \quad (2I + 1) \text{ sayıda,}$$

$$J < I \quad \text{ise} \quad (2J + 1) \text{ sayıda seviyeye ayrılır. Her bir F kuantum sayısına bir enerji seviyesi karşılık gelir.}$$

3.3.1. Manyetik Dipol Etkileşmesi

Çekirdeğin μ_I manyetik momenti elektronun yörünge hareketinde oluşan B_J manyetik alanı ile etkileşir. Manyetik etkileşim enerjisi,

$$\begin{aligned} W_{\text{manyetik}} &= -\vec{\mu}_I \cdot \vec{B}_J = \mu_I H_0 \cos(\vec{\mu}_I, \vec{B}_J) = -\vec{\mu}_J \cdot \vec{B}_J \\ &= g_I \mu_N \sqrt{I(I+1)} B_J \cos(I, J) \end{aligned} \quad (3.27)$$

Burada B_J elektronların çekirdek üzerinde yarattığı manyetik alan şiddetidir. Kosinüs teoremi,

$$\cos(I, J) = \frac{F(F+1) - I(I+1) - J(J+1)}{2\sqrt{I(I+1)J(J+1)}} \quad (3.28)$$

göz önüne alınarak enerji seviyelerinin aşırı ince yapı manyetik etkileşim enerjisi (3.29) eşitliği ile verilir.

$$W_{manyetik} = \mu_I B_J \frac{F(F+1) - I(I+1) - J(J+1)}{2\sqrt{I(I+1)J(J+1)}} \quad (3.29)$$

Bu denklemde,

$$A = \frac{\mu_I B_J}{\sqrt{I(I+1)J(J+1)}} = \frac{g_I \mu_N B_J}{\sqrt{J(J+1)}} \quad (3.30)$$

her enerji seviyesi için ayrı bir sabit değere sabittir ve manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti olarak adlandırılır.

$$C = [F(F+1) - I(I+1) - J(J+1)] \quad (3.31)$$

olarak ifade edilir. Daha genel olarak enerji seviyelerinin aşırı ince yapı manyetik etkileşme enerjisi,

$$W_{manyetik} = A \frac{C}{2} \quad (3.32)$$

Atom numarası büyük elementler için yarılmanın genişliği daha büyük olur [35].

3.3.2. Elektrik Kuadrapol Etkileşmesi

Manyetik dipol etkileşmesi ile kıyaslandığı zaman daha küçük bir etkiye sahip olan elektrik kuadrapol etkileşmesi, elektron hareketi nedeni ile çekirdek üzerinde oluşan elektrik alan ile çekirdek kuadrapol momentin etkileşmesi sonucu meydana gelir. Kuadrapol moment ise çekirdek yüküne bağlıdır. Eğer çekirdek spini 0 veya 1/2 değerine sahip ise yük dağılımı küresel simetrik olur. Bu durumda etkileşmenin enerjide bir değişime neden olması söz konusu değildir. Sistemin elektrik kuadrapol etkileşim enerjisi (3.33) eşitliği verilir:

$$W_{el.} = \frac{eQ'}{4} \overline{\varphi_{JJ}(0)} \quad (3.33)$$

Bu eşitlikteki Q' , Q kuadrapol moment tensörünün Z bileşenini, $\overline{\varphi_{JJ}(0)}$ ise J ekseninde etrafında yörünge elektronları tarafından oluşturulan elektrik alanın vektör gradyentini gösterir. Bu elektrik alan silindirik simetriktir. Q' aşağıdaki gibi verilir:

$$Q' = Q \left(\frac{3}{2} \cos^2 \theta - \frac{1}{2} \right) \quad (3.34)$$

Çekirdek spin açısal momentum vektörü ile elektronun toplam açısal momentum vektörü arasındaki açı serbest atomda kuadropol etkileşimi için sabit olup elektrik kuadropol etkileşim enerjisi,

$$W_{el.} = \frac{B}{4} \left[\frac{3}{2} \cos^2(I, J) - \frac{1}{2} \right] \quad (3.35)$$

ile verilir. Burada B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitidir. Eşitliklerden de görülebileceği gibi B ;

$$B = eQ\overline{\varphi_{JJ}(0)} \quad (3.36)$$

ifadesi ile verilir.

$$W_{el.} = \frac{B}{4} \frac{\frac{3}{2}C(C+1) - 2I(I+1)J(J+1)}{I(2I-1)J(2J-1)} \quad (3.37)$$

O halde aşırı ince yapı seviyesinin toplam enerjisi W_F 'i, J seviyesinin enerjisine ek olarak manyetik dipol ve elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitlerini içeren ek enerji terimleri ile birlikte vermek gerekir. F toplam açısal kuantum sayılı bir seviye için toplam enerji W_F ise bağıntı;

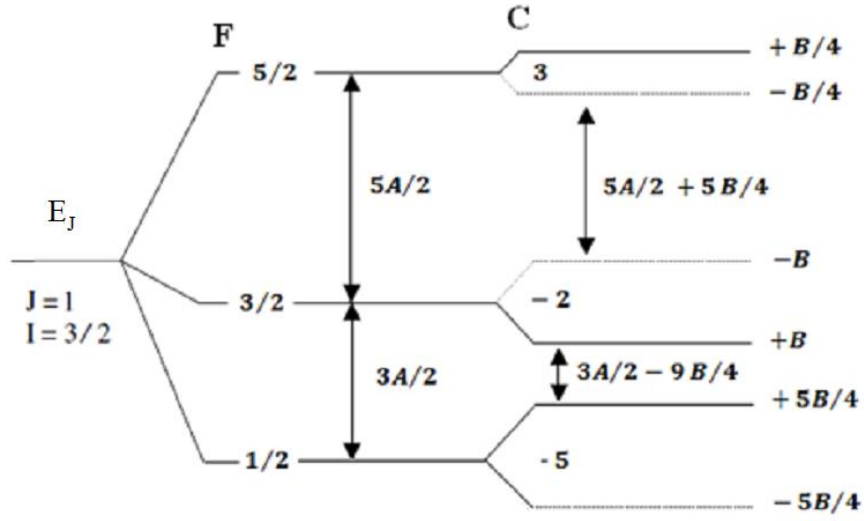
$$W_F = W_J + \frac{A}{2}C + B \frac{\frac{3}{4}C(C+1) - I(I+1)J(J+1)}{2I(2I-1)J(2J-1)} \quad (3.38)$$

eşitliği ile verilir. Çekirdek spini ve elektron toplam açısal momentum değeri $1/2$ ise kuadropol momenti sıfırdır. $I = 1/2$ olan tüm çekirdeklerde ve $J = 1/2$ olan tüm enerji seviyelerinde elektrik kuadropol etkileşimi sıfırdır ve $B = 0$ 'dır.

Aşırı ince yapı seviyeleri arasında geçiş şartları:

- İnce yapı enerji seviyelerinin pariteleri farklı olmalıdır.
- $\Delta F = 0, \pm 1$ ($F = 0 \rightarrow F = 0$ yasak geçiş)

Manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A ve elektrik dipol aşırı ince yapı sabiti B 'ye bağlı olarak enerji seviyelerinde aşırı ince yapı nedeniyle oluşan yarılmalara bir örnek çekirdek spini $I = 3/2$ olan bir çekirdeğin $J = 1$ olan bir ince yapı enerji seviyesindeki aşırı ince yapı yarılmaları Şekil 3.5'te verildi.



Şekil 3.4: $I = \frac{3}{2}$, $J=1$ değerine sahip W_J enerjisinin aşırı ince yapı yarılımları ve aralık kuralına göre manyetik ve elektrik etkileşimden oluşan enerji farkları [35].

Şekil 3.4'te $F=5/2$ ile $F=3/2$ arasındaki ve $F=3/2$ ile $F=1/2$ arasındaki enerji farkı Lande aralık kuralından bulunabilir ve bu değerler sırası ile $\frac{5}{2}A$ ve $\frac{3}{2}A$ 'dır.

3.4. SPEKTRAL ÇİZGİ GENİŞLEMELERİ

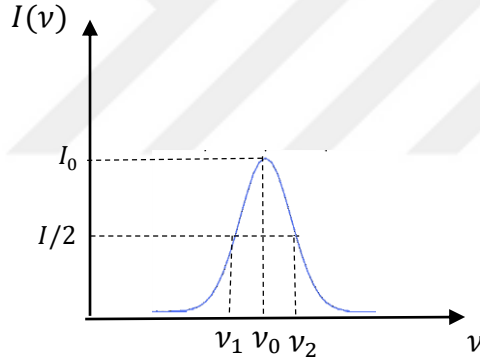
Atom yapısını anlamak için herhangi bir spektroskopik yöntem ile elde edilen spektrumlar incelenerek atom tarafından salınan veya soğurulan ışının enerjileri elde edilir. Atomik geçişte ortaya çıkan spektral çizgiler tam olarak tek dalgaboylu değildir ve farklı matematiksel fonksiyonlarla tanımlanabilen bir frekans dağılımına sahiptir. h Planck sabiti olmak üzere, iki enerji seviyesi arasındaki fark;

$$\Delta E = h(\nu_i - \nu_k) \quad (3.39)$$

Frekans, eşitlik (3.39) de verilen bir ν_0 merkez frekansı civarında dağılım gösterir.

$$\nu_0 = \frac{(E_i - E_k)}{h} \quad (3.40)$$

Bu da dağılım fonksiyonu $I(\nu)$ olan bir çizgi profilini verir.



Şekil 3.5: Bir spektral çizginin çizgi profili.

Spektral çizginin yarı genişliği $\delta\nu$, şiddetin yarıya düştüğü noktadaki frekans farkı olarak tanımlanır.

$$\delta\nu = \nu_2 - \nu_1 \quad (3.41)$$

$\delta\nu$ değeri sadece ölçüm aletinin sınırlı kapasitesinden başka temel bazı fiziksel özelliklere bağlıdır. Bu fiziksel özelliklere seviyelerin geçişlerdeki yaşam süreleri, atomların hareketinin hız dağılımı, gaz basıncı örnek olarak verilebilir. Frekans biriminde çizgi genişliği, ν_0 merkez frekansı olmak üzere $\nu_1 < \nu_0 < \nu_2$ şeklinde verilen bir aralıkta tanımlanır.

$$I(\nu_1) = I(\nu_2) = \frac{I(\nu_0)}{2} \quad (3.42)$$

(3.42) eşitliği ile verilen durum spektral çizginin yarı genişliği olarak adlandırılır.

Yarı genişlik açısal frekansı (ω) veya dalgaboyu (λ) cinsinden de verilebilir. Eşitlik (3.43) frekans, açısal frekans ve dalgaboyu arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

$$\left| \frac{\delta \nu}{\nu} \right| = \left| \frac{\delta \omega}{\omega} \right| = \left| \frac{\delta \lambda}{\lambda} \right| \quad (3.43)$$

Çizgi genişlemeleri atomların hızına bağlı ise inhomojen, bağlı değilse yani tüm atomlar için aynı değere sahip ise homojen genişleme olarak sınıflandırılır. Farklı fiziksel sebeplere bağlı olarak çizgi genişleme tipleri Tablo 3.1’de verildi.

Tablo 3.1: Çizgi genişlemelerinin matematiksel fonksiyonlara göre dağılımı

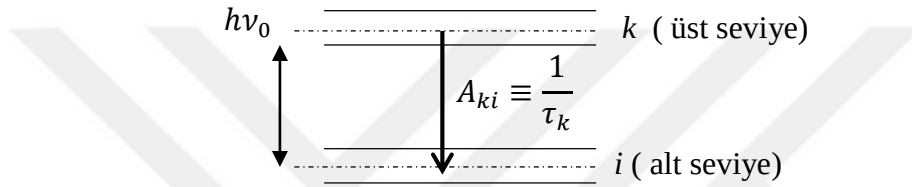
Lorentz (Homojen)	- Doğal çizgi genişlemesi - Enerji seviyelerinin sonlu yaşam süresine bağlı olarak ortaya çıkar. - Çarpışma / basınç genişlemesi - Atomlar arası çarpışmalar nedeni ile oluşur. Çarpışma sayısı basınca bağlıdır. O nedenle basınç genişlemesi de denir.
Gauss (İnhomojen)	- Doppler genişlemesi - Termal hareket kökenlidir.
Lorentz ve ya Gauss	- Saturasyon genişlemesi - Enerji seviyesi nüfus yoğunluğu değişimi nedeni ile oluşur.

3.4.1. Doğal Çizgi Genişlemesi

Uyarılmış atom fazla enerjisini kendiliğinden emisyon ile salar. Doğal çizgi genişlemesi dışarıdan herhangi bir etki olmadan meydana gelen kendiliğinden emisyon nedeni ile oluşur [33]. Heisenberg belirsizlik ilkesi Δt enerji seviyesinin sonlu yaşam süresi ise aynı seviyenin ölçülebilen ΔE enerjisinin tam olarak belirlenmesi için sınırlama getirir. Heisenberg belirsizlik ilkesi;

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2} \quad (3.44)$$

şeklinde verilir.



Şekil 3.6: İki seviye arasında oluşan kendiliğinden emisyon olayının şematik gösterimi.

k seviyesindeki enerjideki belirsizlik ΔE_k , i ve k seviyesinin sonlu yaşam süresindeki belirsizlik $\Delta t_k = \tau$ ile verilirse belirsizlik ilkesi eşitlik (3.45) şeklinde yazılır:

$$\Delta E_k = h\Delta\nu_k = \frac{\hbar}{2\tau} \quad (3.45)$$

Şekil 3.6’da verilen şematik gösterimde verilen A_{ki} Einstein katsayısıdır ve kendiliğinden emisyon geçiş olasılığı olarak adlandırılır.

Geçişin gerçekleştiği her iki seviyenin enerjilerindeki belirsizlik çizgi genişliğine sebep olur. Dolayısıyla her iki belirsizlik değerinin toplamını almak gerekir. Böyle bir spektral geçiş söz konusu olduğunda çizgiye ait şiddet dağılımı Lorentz profili ile verilir. $\Delta w = w - w_0$ geçişe ait açısal frekans ve γ bozunma sabiti olmak üzere Lorentz şiddet profili;

$$I(w - w_0) = \frac{\frac{\gamma}{2\pi}}{(w - w_0)^2 + \left(\frac{\gamma}{2}\right)^2} \quad (3.46)$$

(3.46) denklemi ile verilir [33]. Lorentz profili ile verilen doğal çizgi genişlemesi homojendir. Doğal çizgi genişliği diğer genişleme etkileri tarafından perdelendiği için

bazı özel teknikler olmadan gözlenemez ve en gelişmiş metodlarla bile ölçülse bu genişlik indirgenemez.

3.4.2. Doppler Çizgi Genişlemesi

Atomların termal hareketiyle belli bir hıza sahip olmaları sebebi ile soğurulma veya emisyon frekanslarında kaymalar meydana gelir. Bu değişim spektral çizgide Doppler çizgi genişlemesi adı verilen bir genişlemeye neden olur. Doppler çizgi genişlemesi doğal çizgi genişlemesi ile kıyaslandığında genel olarak daha büyüktür. Bu nedenle özellikle dar spektral çizgilerin ölçülmesi söz konusu olduğunda bu genişleme sebebi ile çizgi analizinde zorluklar yaşanır. Homojen olmayan Doppler çizgi genişlemesinin şiddeti Gauss fonksiyonuna uyar.

Hızı v olan gözlemciye doğru gelen atomun yayınladığı ışığın frekansı, durgun bir atomdan yayınlanan frekanstan Doppler prensibine göre farklı olacaktır. Frekans, atomların gözlemciye doğru olan hareketinde artar dalgaboyu azalır. Kaynak hareketi gözlemciden uzaklaşma yönünde ise frekans azalır dalga boyu artar. Frekansı ω_0 olan ışık kaynağı, gözlemciye göre v hızı ile hareket ediyor ise gözlemcinin ölçeceği frekans, c ışık hızı olmak üzere $\omega_0 \frac{v}{c}$ kadar kaymış gözlenir.

$$\omega = \omega_0 \left(1 \mp \frac{v}{c}\right) \quad (3.47)$$

[36]. Soğurulan veya yayınlanan çizgiye ait Doppler genişlemesinin şiddet profili ise

$$I(\omega) = I_0 e^{-\left(\frac{c(\omega - \omega_0)}{\omega_0 V_p}\right)^2} \quad (3.48)$$

eşitliği ile verilir. Eşitlikteki I_0 maksimum şiddeti, ω_0 merkez frekansını, V_p en olası hızı göstermektedir ve T sıcaklığında termal dengede atomlar Maxwell-Boltzmann istatistiğine uyarlar. Buradaki V_p hızı;

$$V_p = \left(\frac{2k_B T}{M}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.49)$$

ile verilir. M atomun kütlesi, k_B Boltzmann sabitini gösterir.

Spektral çizgide Doppler çizgi genişlemesi için yarı genişlik ifadesi $\delta\omega$.

$$\delta\omega = |\omega_1 - \omega_2| = 2\sqrt{\ln 2} \frac{\omega_0 V_P}{c} = \left(\frac{\omega_0}{c}\right) \sqrt{\frac{8k_B T \ln 2}{m}} \quad (3.50)$$

eşitliği ile verilir. Eşitlik düzenlenir ise,[33]

$$\delta\nu = 7.16 \times 10^{-7} \nu_0 \sqrt{\frac{T}{M}} \quad s^{-1} \quad (3.51)$$

(3.51) ifadesi elde edilir. Elde edilen eşitlikte görüldüğü gibi spektral çizgiye ait yarı genişlik spektral çizginin frekansı ν_0 ve sıcaklığın karekökü ile doğru orantılı olup ölçülen atomun ya da molekülün kütlesinin karekökü ile ters orantılıdır.

3.4.3. Çarpışma, basınç çizgi genişlemesi

Uyarılan atom ışımasız olarak da alt enerji seviyesine geçebilir. Bu durum uyarılan atomun diğer bir atom ile çarpışarak enerjisini çarptığı atoma aktarması sonucu ortaya çıkar. Çarpışma sırasında meydana gelen atomlar arası enerji aktarımı seviyelerde genişlemeye neden olur. Atomların çarpışma sayıları basınç ile doğru orantılıdır o nedenle bu tip genişlemeler çarpışma veya basınç çizgi genişlemesi olarak adlandırılır ve Lorentz profiline uyar. Eğer büyük etki parametrelili bir çarpışma var ise çizgi genişlemesinin yanı sıra çizgi merkezinde kayma da gözlenebilir. Bu tip genişlemeleri azaltmanın yolu sistem basıncının düşük tutulmasıdır [33].

3.4.4. Doyma (Saturasyon), Güç çizgi genişlemesi

Rezonans frekansı civarında yeterince yüksek şiddete sahip bir laser atomik sistemin seviyelerinin nüfus yoğunluklarını önemli ölçüde değiştirebilir. Bu durum ise doyma çizgi genişlemesi olarak bilinen ek bir çizgi genişliğine neden olur. Bu genişlemeye güç genişlemesi de denir. Homojen ve homojen olmayan çizgi genişlemeleri için doyma genişlemesine ait çizgi profili farklılık gösterir. Homojen olan çizgi genişlemelerinde profil Lorentz çizgi profilidir. Oysa homojen olmayan genişlemelerde Gauss profili geçerlidir.

3.4.5. Voigt Profili (Birleşik Çizgi Genişlemeleri)

Spektral çizgiye ait toplam genişlik açıklanan tüm genişleme tiplerini içerir. Deneyisel çalışmalar sırasında uygun parametreler değiştirilerek her bir genişleme nedenine ait katkı azaltılabilir. Bu katkılar arasında sadece doğal çizgi genişlemesi ortadan kaldırılamaz. Bu durumda spektral çizgiye ait toplam genişleme Lorentz ve Gauss profillerinin birleşimi şeklinde verilmelidir. Voigt profili $I_V(\nu)$, Gauss profili $I_G(\nu)$ ile Lorentz profili $I_L(\nu)$ profiline ait fonksiyonları içeren şiddet profilidir. Voigt profili eşitlik (3.52) ile verilir:

$$I_V(\nu) = I_G(\nu) \cdot I_L(\nu) \quad (3.52)$$

Lorentz profili için şiddet dağılımı;

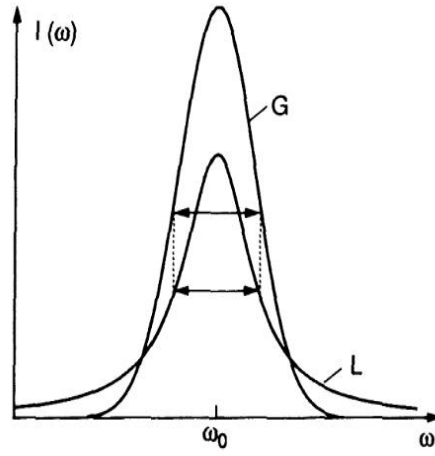
$$I_L(\nu) = \frac{1}{2\pi} \frac{\delta\nu_L}{(\nu-\nu_0)^2 + \left(\frac{\delta\nu_L}{2}\right)^2} \quad (3.53)$$

Gauss profili için şiddet dağılımı ise,

$$I_G(\nu) = \frac{I_0}{\delta\nu_G} \left(\frac{4\ln 2}{\pi}\right)^{1/2} e^{-4\ln 2 \left(\frac{\nu_0-\nu_G}{\delta\nu_G}\right)^2} \quad (3.54)$$

eşitlikleri ile verilir. Voigt çizgi profili ise,

$$I_V(\nu) = I_0 \int_{-\infty}^{+\infty} \sqrt{\frac{4\ln 2}{\pi}} \cdot \frac{1}{\delta\nu_G} e^{-4\ln 2 \left(\frac{\nu_0-\nu_G}{\delta\nu_G}\right)^2} \cdot \frac{1}{2\pi} \frac{\delta\nu_L}{(\nu-\nu_0)^2 + \left(\frac{\delta\nu_L}{2}\right)^2} d\nu \quad (3.55)$$



G: Gauss
L: Lorentz

Şekil 3.7: Aynı yarı genişlikli Gauss çizgi profili ile Lorentz çizgi profilinin gösterimi [33].

Şekil 3.7’de şiddet dağılımı verilen Lorentz ve Gauss profillerine ait yarı genişlikler aynıdır. Şekilde Lorentz profilinin Gauss profilinden daha az şiddete sahip olduğu ve Lorentz profilinin daha dar bir yapıda olmasına rağmen kanatlara doğru genişlediği görülmektedir.

3.5.HOLMİYUM ELEMENTİ

Astronomide yüksek çözünürlüğe sahip spektrumların varlığı, dalgaboyu, enerji seviyesi, osilatör şiddeti, çizgi profili parametreleri ve aşırı ince yapı parametreleri gibi yüksek hassasiyete sahip atomik dataların gerekliliğini ortaya koymuştur. Ayrıca nadir elementlere ait atomik datalar eksiktir ve bu elementlerin çizgilerinin belirlenmesi, enerji seviyelerinin analiz edilmesi, geçiş oranlarının belirlenmesi metal halid lambaların modellemelerinin geliştirilmesi için gereklidir. Ho I'in spektrumu görünür bölgede çok fazla çizgi içerir.

Holmiyum nadir toprak elementi olup 4f kabuğu dolmamıştır ve oldukça karışık ve yoğun bir spektruma sahiptir. Bu karışık spektrum nedeniyle çizgilerin sınıflandırılabilmesi için, geçişlerin parmak izi sayılan aşırı ince yapılarını incelemeye ihtiyaç vardır. ^{165}Ho izotopu Holmiyumun doğal olarak var olan tek izotopudur ve çekirdek spini $I = 7/2$ dir. ^{165}Ho , $\mu_I = +4.125(3) \mu_N$ olan manyetik dipole momente ve $Q = +2.64b$ olan elektrik kuadropol momente sahiptir. Bu nedenle Ho'un aşırı ince yapısı oldukça geniştir. Aşırı ince yapı geçişleri arasındaki enerji farkı serbest haldeki holmiyum atomlarının ve iyonlarının Doppler genişlemesinden daha büyük olduğundan, Holmiyumun pek çok spektral çizgisinde aşırı ince yapı bileşenleri, Doppler sınırlı spektrumda ayrılmış durumdadır

Bu çalışmada Holmiyum elementinin mor ötesi dalgaboyu aralığındaki spektrumu yüksek çözünürlüğe sahip Fourier Transform Spektrometre ile argon ve neon asal gazlarını içeren silindir katod kullanılarak ayrı ayrı ölçüldü. Bu dalga boyu aralığında alınan Holmiyum spektrumu sistematik olarak incelendi

Spektral çizgilerin dalgaboyu ve çizgi genişlikleri klasifikasyon programında tanımlandı. Klasifikasyon programı Ho I ve Ho II' nin deneysel olarak literatürden bilinen tüm ince yapı enerji seviyeleri ile bu seviyelerin sahip olduğu pariteyi, toplam elektronik açısal momentum J değerini, literatürde var olan manyetik dipol ve elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitlerini A ve B içermektedir.

Tablo 3.2'de Holmiyum elementinin fiziksel özellikleri verildi. Şekil 3.8'de Holmiyumun elementler tablosundaki yeri gösterildi.

Tablo 3.2: ^{165}Ho elementinin periyodik cetveldeki yeri ve temel özellikleri.

özellikler	^{165}Ho
Atom Numrası	67
Atom Ağırlığı	164.93 g / cm ³
Atom yarıçapı	2.47 Å
Elektron Konfigürasyonu	$1s^2 2s^2 p^6 3s^2 p^6 d^{10} 4s^2 p^6 d^{10} f^{11} 5s^2 p^6 6s^2$
Kristal Yapı	Heksagonal
Erime Noktası	1743 K
Kaynama Noktası	2968 K
Yoğunluk	8.8 g / cm ³
Fizik Hali	Katı
Keşfeden	J.L.Sort
Yeri	İsviçre
Yılı	1878

1

H

Hydrojen

1.008

3

Li

Lityum

6.94

11

Na

Sodyum

22.98976928

19

K

Potasyum

39.0983

37

Rb

Rubidyum

85.4678

55

Cs

Seszyum

132.90545196

87

Fr

Fransiyum

(223)

2

He

Helium

4.002602

4

Be

Berilyum

9.012182

12

Mg

Magnezyum

24.305

20

Ca

Kalsiyum

40.078

38

Sr

Stronsiyum

87.62

56

Ba

Baryum

137.327

88

Ra

Radyum

(226)

67

Ho

Holmiyum

164.93033

28

Er

Erbiyum

167.259

29

Tm

Tuliyum

168.934

30

Yb

İterbiyum

173.054

71

Lu

Lutesiyum

174.967

5

B

Bor

10.81

13

Al

Alüminyum

26.9815385

31

Ga

Galyum

69.723

49

In

İndiyum

114.818

81

Tl

Talyum

204.38

101

Bi

Bismut

208.9804

6

C

Karbon

12.011

14

Si

Silisyum

28.0855

32

Ge

Germaniyum

72.63

50

Sn

Kalay

118.710

82

Pb

Kurşun

207.2

112

Cn

Copernisium

(285)

7

N

Azot

14.007

15

P

Fosfor

30.973761998

33

As

Arsenik

74.921595

51

Sb

Antimon

121.760

83

Bi

Bismut

208.9804

113

Nh

Nihonium

(284)

8

O

Oksijen

15.999

16

S

Kükürt

32.06

34

Se

Seleniyum

78.9718

52

Te

Telür

127.60

84

Po

Polonyum

(209)

114

Fl

Fleroviyum

(289)

9

F

Fluor

18.9984

17

Cl

Klor

35.45

35

Br

Brom

79.904

53

I

Yod

126.90447

85

At

Astatin

(210)

115

Mc

Moscoviyum

(288)

10

Ne

Neon

20.1797

18

Ar

Argon

39.948

36

Kr

Kripton

83.798

54

Xe

Ksenon

131.29

86

Rn

Radon

(222)

118

Og

Oganeson

(294)

21

Sc

Skandiyum

44.955912

23

V

Vanadyum

50.9415

25

Mn

Mangan

54.938044

27

Co

Kobalt

58.933194

29

Ni

Nikel

58.6934

31

Zn

Çinko

65.38

33

Ga

Galyum

69.723

35

As

Arsenik

74.921595

37

Se

Seleniyum

78.9718

39

Br

Brom

79.904

41

Kr

Kripton

83.798

22

Ti

Titanyum

47.88

24

Cr

Krom

51.9961

26

Fe

Demir

55.845

28

Co

Kobalt

58.933194

30

Ni

Nikel

58.6934

32

Cu

Bakır

63.546

34

Zn

Çinko

65.38

36

Ga

Galyum

69.723

38

Ge

Germaniyum

72.63

40

As

Arsenik

74.921595

42

Se

Seleniyum

78.9718

44

Br

Brom

79.904

46

Kr

Kripton

83.798

24

Ti

Titanyum

47.88

26

Fe

Demir

55.845

28

Co

Kobalt

58.933194

30

Ni

Nikel

58.6934

32

Cu

Bakır

63.546

34

Zn

Çinko

65.38

36

Ga

Galyum

69.723

38

Ge

Germaniyum

72.63

40

As

Arsenik

74.921595

42

Se

Seleniyum

78.9718

44

Br

Brom

79.904

46

Kr

Kripton

83.798

25

Mn

Mangan

54.938044

27

Co

Kobalt

58.933194

29

Ni

Nikel

58.6934

31

Zn

Çinko

65.38

33

Ga

Galyum

69.723

35

As

Arsenik

74.921595

37

Se

Seleniyum

78.9718

39

Br

Brom

79.904

41

Kr

Kripton

83.798

26

Fe

Demir

55.845

28

Co

Kobalt

58.933194

30

Ni

Nikel

58.6934

32

Cu

Bakır

63.546

34

Zn

Çinko

65.38

36

Ga

Galyum

69.723

38

Ge

Germaniyum

72.63

40

As

Arsenik

74.921595

42

Se

Seleniyum

78.9718

44

Br

Brom

79.904

46

Kr

Kripton

83.798

27

Co

Kobalt

58.933194

29

Ni

Nikel

58.6934

31

Zn

Çinko

65.38

33

Ga

Galyum

69.723

35

As

Arsenik

74.921595

37

Se

Seleniyum

78.9718

39

Br

Brom

79.904

41

Kr

Kripton

83.798

28

Co

Kobalt

58.933194

30

Ni

Nikel

58.6934

32

Cu

Bakır

63.546

34

Zn

Çinko

65.38

36

Ga

Galyum

69.723

38

Ge

Germaniyum

72.63

40

As

Arsenik

74.921595

42

Se

Seleniyum

78.9718

44

Br

Brom

79.904

46

Kr

Kripton

83.798

29

Ni

Nikel

58.6934

31

Zn

Çinko

65.38

33

Ga

Galyum

69.723

35

As

Arsenik

74.921595

37

Se

Seleniyum

78.9718

39

Br

Brom

79.904

41

Kr

Kripton

83.798

30

Ni

Nikel

58.6934

32

Cu

Bakır

63.546

34

Zn

Çinko

65.38

36

Ga

Galyum

69.723

38

Ge

Germaniyum

72.63

40

As

Arsenik

74.921595

42

Se

Seleniyum

78.9718

44

Br

Brom

79.904

46

Kr

Kripton

83.798

31

Zn

Çinko

65.38

33

Ga

Galyum

69.723

35

As

Arsenik

74.921595

37

Se

Seleniyum

78.9718

39

Br

Brom

79.904

41

Kr

Kripton

83.798

32

Cu

Bakır

63.546

34

Zn

Çinko

65.38

36

Ga

Galyum

69.723

38

Ge

Germaniyum

72.63

40

As

Arsenik

74.921595

42

Se

Seleniyum

78.9718

44

Br

Brom

79.904

46

Kr

Kripton

83.798

33

Ga

Galyum

69.723

35

As

Arsenik

74.921595

37

Se

Seleniyum

78.9718

39

Br

Brom

79.904

41

Kr

Kripton

83.798

34

Zn

Çinko

65.38

36

Ga

Galyum

69.723

38

Ge

Germaniyum

72.63

40

As

Arsenik

74.921595

42

Se

Seleniyum

78.9718

44

Br

Brom

79.904

46

Kr

Kripton

83.798

35

As

Arsenik

74.921595

37

Se

Seleniyum

78.9718

39

Br

Brom

79.904

41

Kr

Kripton

83.798

36

Ga

Galyum

69.723

38

Ge

Germaniyum

72.63

40

As

Arsenik

74.921595

42

Se

Seleniyum

78.9718

44

Br

Brom

79.904

46

Kr

Kripton

83.798

37

Se

Seleniyum

78.9718

39

Br

Brom

79.904

41

Kr

Kripton

83.798

38

Ge

Germaniyum

72.63

40

As

Arsenik

74.921595

42

Se

Seleniyum

78.9718

44

Br

Brom

79.904

46

Kr

Kripton

83.798

39

Br

Brom

79.904

41

Kr

Kripton

83.798

40

As

Arsenik

74.921595

42

Se

Seleniyum

78.9718

44

Br

Brom

79.904

46

Kr

Kripton

83.798

41

Kr

Kripton

83.798

42

Se

Seleniyum

78.9718

44

Br

Brom

79.904

46

Kr

Kripton

83.798

43

Tc

Teknesyum

(98)

45

Rh

Rodiyum

102.9055

47

Ag

Gümüş

107.8682

49

In

İndiyum

114.818

51

Sb

Antimon

121.760

53

I

Yod

126.90447

55

Cs

Seszyum

132.90545196

57

Fr

Fransiyum

(223)

44

Ru

Rutenyum

101.07

46

Pd

Palladyum

106.42

48

Cd

Kadmium

112.414

50

Sn

Kalay

118.710

52

Te

Telür

127.60

54

Xe

Ksenon

131.29

56

Ba

Baryum

137.327

58

Ce

Seryum

140.116

60

Nd

Neodim

144.242

62

Sm

Samarium

150.36

64

Gd

Gadolyum

157.25

66

Tb

Terbiyum

158.92535

68

Dy

Dysprozium

162.50015

70

Yb

İterbiyum

173.054

72

Lu

Lutesiyum

174.967

45

Rh

Rodiyum

102.9055

47

Ag

Gümüş

107.8682

49

In

İndiyum

114.818

51

Sb

Antimon

121.760

53

I

Yod

126.90447

55

Cs

Seszyum

132.90545196

57

Fr

Fransiyum

(223)

46

Pd

Palladyum

106.42

48

Cd

Kadmium

112.414

50

Sn

Kalay

118.710

52

Te

Telür

127.60

54

Xe

Ksenon

131.29

56

Ba

Baryum

137.327

58

Ce

Seryum

140.116

60

Nd

Neodim

144.242

62

Sm

Samarium

150.36

64

Gd

Gadolyum

157.25

66

Tb

Terbiyum

158.92535

68

Dy

Dysprozium

162.50015

70

Yb

İterbiyum

173.054

72

Lu

Lutesiyum

174.967

47

Ag

Gümüş

107.8682

49

In

İndiyum

114.818

51

Sb

Antimon

121.760

53

I

Yod

126.90447

55

Cs

Seszyum

132.90545196

57

Fr

Fransiyum

(223)

48

Cd

Kadmium

112.414

50

Sn

Kalay

118.710

52

Te

Telür

127.60

54

Xe

Ksenon

131.29

56

Ba

Baryum

137.327

58

Ce

Seryum

140.116

60

Nd

Neodim

144.242

62

Sm

Samarium

150.36

64

Gd

Gadolyum

157.25

66

Tb

Terbiyum

158.92535

68

Dy

Dysprozium

162.50015

70

Yb

İterbiyum

173.054

72

Lu

Lutesiyum

174.967

49

In

İndiyum

114.818

51

Sb

Antimon

121.760

53

I

Yod

126.90447

55

Cs

Seszyum

132.90545196

57

Fr

Fransiyum

(223)

50

Sn

Kalay

118.710

52

Te

Telür

127.60

54

Xe

Ksenon

131.29

56

Ba

Baryum

137.327

58

Ce

Seryum

140.116

60

Nd

Neodim

144.242

62

Sm

Samarium

150.36

64

Gd

Gadolyum

157.25

66

Tb

Terbiyum

158.92535

68

Dy

Dysprozium

162.50015

70

Yb

İterbiyum

173.054

72

Lu

Lutesiyum

174.967

51

Sb

Antimon

121.760

53

I

Yod

126.90447

55

Cs

Seszyum

132.90545196

57

Fr

Fransiyum

(223)

52

Te

Telür

127.60

54

Xe

Ksenon

131.29

56

Ba

Baryum

137.327

58

Ce

Seryum

140.116

60

Nd

Neodim

144.242

62

Sm

Samarium

150.36

64

Gd

Gadolyum

157.25

66

Tb

Terbiyum

158.92535

68

Dy

Dysprozium

162.50015

70

Yb

İterbiyum

173.054

72

Lu

Lutesiyum

174.967

53

I

Yod

126.90447

55

Cs

Seszyum

132.90545196

57

Fr

Fransiyum

(223)

54

Xe

Ksenon

131.29

56

Ba

Baryum

137.327

58

Ce

Seryum

140.116

60

Nd

Neodim

144.242

62

Sm

Samarium

150.36

64

Gd

Gadolyum

157.25

66

Tb

Terbiyum

158.92535

68

Dy

Dysprozium

162.50015

70

Yb

İterbiyum

173.054

72

Lu

Lutesiyum

174.967

55

Cs

Seszyum

132.90545196

57

Fr

Fransiyum

(223)

56

Ba

Baryum

137.327

58

Ce

Seryum

140.116

60

Nd

Neodim

144.242

62

Sm

Samarium

150.36

64

Gd

Gadolyum

157.25

66

Tb

Terbiyum

158.92535

68

Dy

Dysprozium

162.50015

70

Yb

İterbiyum

173.054

72

Lu

Lutesiyum

174.967

57

Fr

Fransiyum

(223)

58

Ce

Seryum

140.116

60

Nd

Neodim

144.242

62

Sm

Samarium

150.36

64

Gd

Gadolyum

157.25

66

Tb

Terbiyum

158.92535

68

Dy

Dysprozium

162.50015

70

Yb

İterbiyum

173.054

72

Lu

Lutesiyum

174.967

59

Pr

Praseodim

140.90768

61

Pm

Prometyum

(145)

63

Eu

Evropsiyum

151.964

65

Gd

Gadolyum

157.25

67

Tb

Terbiyum

158.92535

69

Dy

Dysprozium

162.50015

71

Yb

İterbiyum

173.054

73

Lu

Lutesiyum

174.967

60

Nd

Neodim

144.242

62

Sm

Samarium

Şekil 3.8: Holmiyum elementinin periyodik cetveldeki yeri

3.5.1. İyonik Holmiyumun Astrofizik Açısından Önemi

Yıldız atmosferlerinin analizi astrofizikte son derece önemlidir. Bu analizler, yıldız yapılarını, yıldızların evrimini ve galaksilerin evrimini tanımlayan modellerin oluşturulmasında kullanılır. Bu analizler yıldızlardan alınan spektrumlardan ve atomik veri tabanından elde edilen bilgilere dayandığından, deneysel olarak elde edilen spektrumların çözünürlüğü ve sinyal-gürültü oranı analizlerin doğru yapılabilmesi için son derece önemlidir. Daha önce gözlem yapılan aletlerin ayırma güçlerinin ve sinyal gürültü oranlarının düşük olması, diğer taraftan elementlerin atomik ve iyonik çizgi listesindeki eksiklikler sebebi ile yıldız spektrumlarında şiddeti düşük olan ya da üst üste çakışmış durumda olan çizgilerin tanımlanması ve sınıflandırılması son derece zordu. Ancak son zamanlarda gözlem yapılan yerlerdeki teleskopların ve spektrometrelerin sahip oldukları yüksek ayırma gücü ve sinyal-gürültü oranları ile alınan spektrumlardaki çizgiler çok iyi gözlenmektedir. Bu yüksek çözünürlüğe sahip spektrumlar analiz edilerek yıldızların kimyasal bileşenleri incelenir. Bu incelemelerin gerçekleştirilebilmesi için, osilasyon şiddeti, izotop kayması ve aşırı ince yapı dataları anahtar parametrelerdir. Bu dataların elde edilebilmesi için elementlerin laboratuvar ortamında alınmış yüksek çözünürlüğe sahip spektrumlarına ihtiyaç vardır.

Yıldızlardaki ağır elementlerin nükleosentez çalışmaları için nadir elementlerin iyonlarının hassas atomik datalar gereklidir [37]. Ancak yıldızlardan alınan yüksek

çözünürlüğe sahip spektrumlar, atomik veri tabanlarının son derece eksik olduğunu göstermiştir. Bu nedenle atomik ve iyonik parçacıkların atomik çizgi veri tabanlarını üretmeye yada geliştirmeye yönelik tüm çalışmalar astrofizik için kritik öneme sahiptir. Yıldızların bolluk analizleri yapılırken atomik ve moleküler çizgi dataları kritik katkı sağlar.

Özellikle bazı yıldızlarda Lantanitlerin bolluğu güneşte olduğundan 10 000 kat daha fazladır [38]. Daha çok “chemically peculiar (CP)”yıldızlarındaki lantanit elementlerinin bolluğu güneşteki bolluktan çok daha fazladır [37]. Bu tip elementler, A tipi yıldızların yüzeylerinde gözlenen inhomojenliği sebep olan temel mekanizmalarını anlayabilmek için [39, 40], M-tipi supergiantların yapılarını ve Galaksilerin başlangıç evrimlerini anlamada [41], anahtar rol oynayabilir ve yıldız evrimleri hakkında ipuçları verebilir. Örneğin Gravesse ve Sauval [42] yayınlarında güneş fotosferi ile CI’lerin contridlerinin değişken olmayan elemetlerin bolluğunun birbirine benzer olduklarını rapor ettiler. $(4f^{11}6p)$ ve $(4f^{10}(5d+6s)^2)$ konfigürasyonlarının gözlenmemiş seviyelerinin Ho II’nin “bölüşüm fonksiyonu” nun geliştirilmesine ve güneş değerleri ile daha iyi uyuşmasına sebep olacağını gösterdiler[43]. Günümüzde güneş fotosferinde ve CI contrid’lerinde Holmiyum bolluğu, güneş fotosferindeki hidrojen bolluğuyla relatif olarak 0.48 ± 0.11 [44] ve 0.47 ± 0.03 [45] verilmiştir.

Ho III ile ilgili atomik datalar CP yıldızlarının kimyasal yapılarının anlaşılması açısından son derece önemlidir. Bu iyon Ap yıldızı HD 192913 [46, 47, 48] ve CP yıldızı HD 465 [49] spektrumunda olduğu gibi pek çok yıldızda bulunduğu belirlenmiştir.

[26, 37, 43, 47,63,] Ho II ve Ho III çizgi listelerine ciddi katkı sağlamalarına rağmen, güneş ve yıldız spektrumlarındaki Ho II ve Ho III parçacıklarının tanımlanmasındaki en büyük engel Ho I ve Ho II’nin enerji seviyelerinin kabul edilebilir hata sınırları içinde çok iyi bilinmemesidir [50]. Sonuç olarak Ho II ve Ho III’ün çizgi spektrumlarının zenginleştirilmesi yıldız atmosferlerinin spektrumlarının analizlerinin yapılmasına katkı sağlayacaktır.

3.6. DENEYSEL METOD

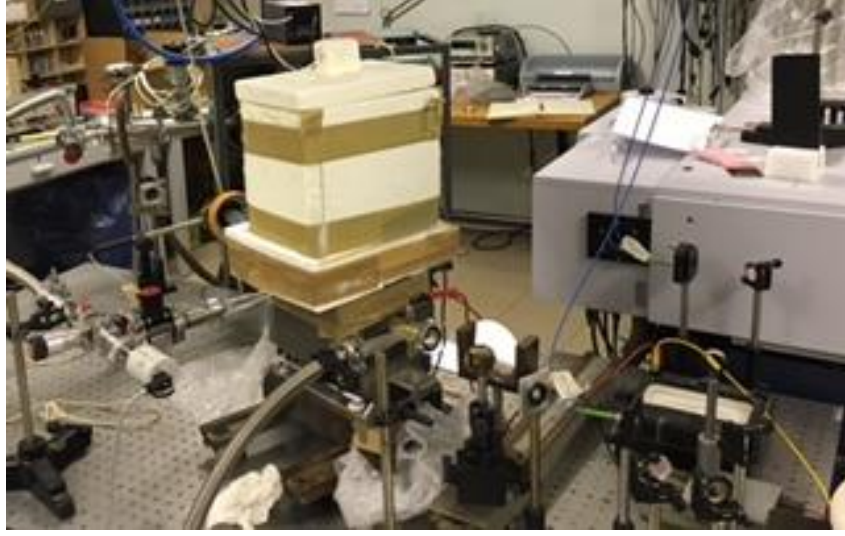
3.6.1. Fourier Transform Spektroskopisi (FTS)

Bu çalışmada Fourier Transform Spektroskopisi yöntemi kullanıldı. Ho elementinin emisyon spektrumu Riga'da Letonya Üniversitesi laser merkezinde Fourier Transform Spektrometresi ile ölçüldü.

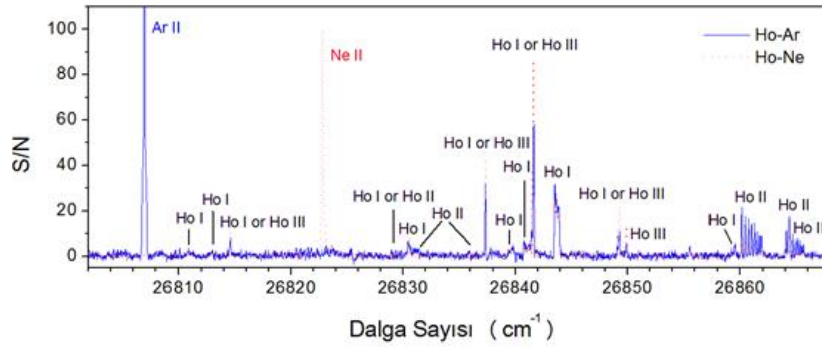
Fourier transform spektroskopide ışık şiddeti zamanın fonksiyonu olarak kaydedilir. Spektrumun Fourier transformu yapılarak ışık şiddetinin dalga sayısına bağlı olarak değişimi elde edilir. Bu çalışmada spektrumlar Argon ve Neon asal gazları ile ayrı ayrı 200 taramanın ortalaması olarak alındı. Bunun sebebi gürültüyü azaltarak spektrumun kalitesini arttırmaktır.

Ho plazması silindir katot gaz boşalımında üretildi. Deney sisteminin şekil 3.9' da verildi. Silindir katoddan çıkan Holmiyumun emisyon ışığı lensler yardımı ile Fourier transform spektrometresinin giriş aralığına odaklanır. Doppler genişlemesini azaltmak için silindir katot sıvı azot ile soğutuldu. Ho levhası 0.127 mm kalınlıkta ve 99.9% saflıkta olup, rulo şeklinde silindir halindeki ortası oyuk bakır katodun içine yerleştirildi.

Holmiyum'un emisyon spektrumu iki kez alındı. Birinde taşıyıcı gaz olarak Argon diğerinde ise Neon asal gazları kullanılarak kaydedildi. Deneylerde asal gaz basıncı Argon için 2.2 mbar, Ne için 3.3 mbar olarak seçildi. Her iki durumda da silindir katot lamba 60 mA akımla çalıştırıldı. Şekil 3.10'da, Ar ve Ne asal gazları ile alınan Holmiyum spektrumlarından bir kesit üst üste çakıştırılarak verildi. Spektrumda Ho I, Ho II, Ho III çizgileri ile birlikte Ar ve Ne çizgileri de görülmektedir. Kırmızı kesikli çizgilerle gösterilen spektrum Ne asal gazı ile, mavi düz çizgi ile verilen spektrum Ar asal gazı ile alınan Ho spektrumudur. Şekilde aynı deneysel koşullarda alınan spektrumdaki çizgilerin farklı asal gazlarla alınması durumunda şiddetlerindeki farklılık açıkça görülmektedir.



Şekil 3.9: Fourier Transform Spektroskopisi deney sistemi



Şekil 3.10: Holmiyum'un Argon ve Neon asal gazları ile alınmış Fourier Transform Spektrumundan bir kesit. Mavi spektrum Ar-Ho plazma, kırmızı spektrum Ne-Ho plazmadan alınan spektrumdur.

Alınan spektrum mor ötesi bölgesinin $24500 - 31500 \text{ cm}^{-1}$ aralığında, dalgaboyu olarak $315-400 \text{ nm}$ 'lik kısmını içerir. Kullanılan spektrometre Bruker IFS (125)HR Fourier Transform spektrometresidir. Giriş açıklığı 1 mm 'dir ve bu açıklık 0.025 cm^{-1} lik spektral

çözünürlüğe karşılık gelir. Her spektrum 200 tarama ile tamamıyla 3 saatlik ölçüm sürelerinde elde edildi.

3.6.2. Spektral çizgilerin dalgasayılarının ve dalgaboylarının kalibrasyonu

FT spektroskopisi ile alınan spektrumların kalibrasyonu son derece önemlidir. Yüksek çözünürlük FT spekturumundaki çizgilerin ölçülen dalga sayıları kalibre edildi. Ölçülen spektrumlarda kaydedilen ve Klasifikasyon programı ile sınıflandırılan atomik ve iyonik Ar ve Ne çizgilerinin dalga sayıları ile herbir çizginin alt ve üst seviyelerine ait enerji değerleri referanslardan alınarak aralarındaki farkın hesaplanması ile elde edilen dalga sayıları karşılaştırılarak tüm spektrumun kalibrasyonu gerçekleştirildi. Kalibrasyon için atomik Ar'nun seviyeleri [51,52]'den iyonik Ar'nun seviyeleri [53]'dan, atomik Ne'un seviyeleri [54]'den ve iyonik Ne'nun seviyeleri [55] alındı. Kalibrasyon yapıldıktan sonra dalga sayılarının doğruluğu 0.005cm^{-1} den daha iyi değerlerde olduğu görüldü.

Fourier Transform Spektroskopi metodu ile Ho-Ar ve Ho-Ne plazma ortamından alınan emisyon spektrumu Ar-çizgileri kullanılarak kalibre edildi. Leaner 1988 dan alınan 27 Ar çizgisi seçilerek alınan spektrumdaki Ar çizgileri tablo 3.3 de karşılaştırıldı Bu karşılaştırma sonucunda her ikisi arasında hafif bir sistematik kayma olduğu bulundu (Tablo 3.3 de yedinci kolon). İki değer arasındaki fark ortalama $0,012\text{ cm}^{-1}$ civarındadır. Bu nedenle dalgaboyunun ve aynı zamanda spektrumun dalgasayısının kalibrasyonu gereklidir. Learner daki çizgiler 420 nm 'nin üstünde olduğundan 420 nm 'nin altında Ar çizgileri için NIST atomik veri tabanına bakıldı. NIST'te gözlenen dalgaboyları ile birlikte Ritz kuralına göre enerji seviyelerinden hesaplanan dalga boyları da verildi. Biz kalibrasyon için bu hesaplanan dalgaboylarını kullandık.

Learner'daki ve NIST'teki dalga sayıları arasındaki fark ortalama $0,0011\text{ cm}^{-1}$ dir ve NIST'teki değerler daha yüksektir. Bu ikisinin arasındaki fark, bu çalışmada elde edilen değerler ve Learner'da verilen değerler arasındaki farktan 10 kat daha küçüktür. Bu nedenle spektrumdaki çizgilerin fit yapılmadan pozisyonlarının daha hassas belirlenmesi mümkün değildir. NIST'teki Ritz değerleri kalibrasyon yapılabilmesi için yeterlidir ve kalibrasyon bu değerler dikkate alarak yapıldı.

Eğer silindir katod lamba çok küçük basınçta çalıştırılabilseydi spektrumdaki çizgilerdeki basınç kayması çok küçük olurdu. Ancak silindir katod lambanın bu derece küçük basınçta çalıştırılabilmesi mümkün değildir.

Kalibrasyonu yapmak için ölçülen spektrumdan 347 nm-515 nm arasında (19400 cm^{-1} - 28800 cm^{-1}) 44 güçlü ve tek başına olan Ar çizgisi seçildi. Bu çizgiler Tablo 3.3 te görülmektedir. Tabloda birinci kolonda Learner'dan alınan Ar çizgilerinin dalga sayıları ve ikinci kolonda da bunların dalga boyları verildi. Üçüncü kolonda ölçtülen spektrumlardaki Ar çizgilerinin dalga sayıları ve beşinci kolonda bunların dalga boyları, yedinci kolonda Learner ve deneysel dalgasayıları arasındaki fark . Nist'ten alınan Ritz-dalgasayıları dokuzuncu kolonda verildi.

Bu tabloda yer alan Ar çizgilerinin dalga boyları, bu çalışmada bulunan, Learner ve NIST'ten alınan Ar çizgilerinin dalga sayılarından hesaplandı.

Bütün bu dalga sayılarından ve dalga boylarından Learner'daki dalgasayıları ile bizim deneysel dalgasayıları, Learner'deki dalga sayıları ile NIST teki dalga sayıları arasındaki farklar ve son olarak NIST teki dalga sayıları ile bizim deneysel dalga sayıları arasındaki farklar aşağıdaki şekilde hesaplandı:

$$\Delta\sigma_{\text{Learner-deneysel}} = \sigma_{\text{Learner}} - \sigma_{\text{deneysel-FT}} \quad (\text{yedinci kolon})$$

$$\Delta\sigma_{\text{Learner-NIST}} = \sigma_{\text{Learner}} - \sigma_{\text{NIST}} \quad (\text{onuncu kolon})$$

$$\Delta\sigma_{\text{NIST-deneysel}} = \sigma_{\text{NIST}} - \sigma_{\text{deneysel-FT}} \quad (\text{on birinci kolon})$$

Kalibrasyon için $\sigma_{\text{Deneysel-FT}}$ ile $\Delta\sigma_{\text{NIST-deneysel}}$ arasında grafik çizildi ve lineer fonksiyonla fit edildi:

$$\Delta\sigma_{\text{NIST-deneysel}} = a \times \sigma_{\text{Deneysel-FT}} + b \quad (3.56)$$

Fit sonucunda

$$a = (6.3 \pm 0.6) \times 10^{-7} \text{ cm}^{-1}$$

$$b = (-0.9 \pm 1.6) \times 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$$

değerleri bulundu. b değerinin hatasının kendisinden büyük olması nedeni ile

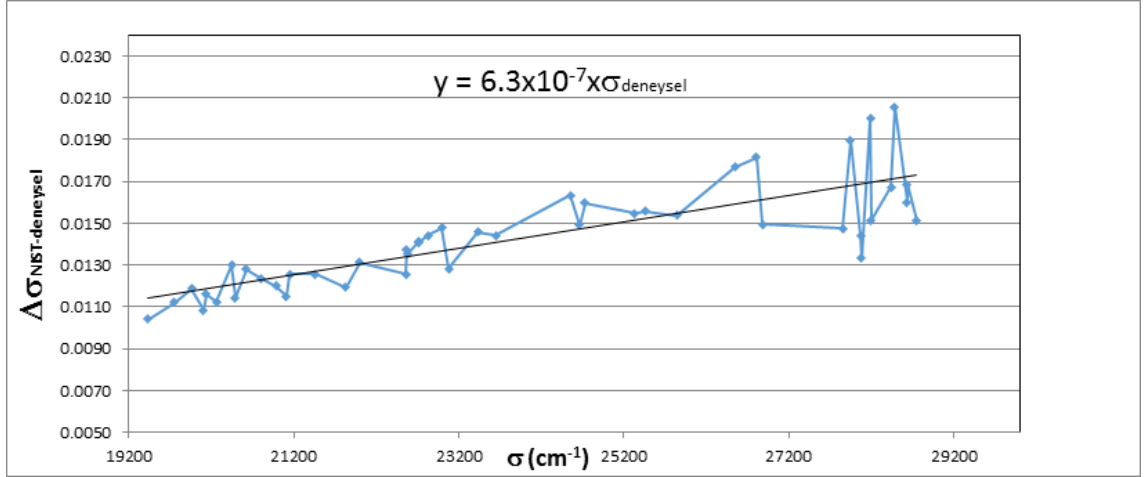
$$\Delta\sigma_{\text{NIST-deneysel}} = a \times \sigma_{\text{Deneysel-FT}} \quad (3.57)$$

formülünü kullanmak yeterlidir.

Düzeltilmiş yani kalibre edilmiş dalgasayıları şu şekilde hesaplandı:

$$\sigma_{\text{deneysel kalibre edilmiş}} = \sigma_{\text{deneysel}} (1 + a) \quad (3.58)$$

Tablo 3.3'te kalibre edilmiş dalga sayıları dördüncü kolonda, kalibre edilmiş dalga boyları da altıncı kolonda verildi.



Şekil 3.11: Spektrumu kalibre etmek için oluşturulan kalibrasyon eğrisi. x eksenindeki σ değeri bu çalışmada bu kaydedilen Fourier Transform Spektrumunda bulunan şiddetli Argon çizgilerinin dalga sayılarıdır.

Tablo 3.3: Kalibrasyon için kullanılan Learner'dan [56] ve NIST'ten [57] alınan Ar spektral çizgileri. σ ; Learnerdan alınan spektral çizgilerin dalga sayıları, λ Learner-hesap; Learner'dan alınan spektral çizgilerin hesaplanan dalgaboyları, $\sigma_{\text{deneyssel-FT}}$; ölçtüğümüz spektrumlardaki Ar çizgilerinin dalga sayıları, σ kalibre edilmiş dalga sayısı, λ deneyssel FT; spektrumdaki dalgaboyları, λ kalibre edilmiş dalgaboyları, $\Delta\sigma$ Learner-deneyssel; dalga boyları arasındaki fark, $\Delta\sigma_{\text{Learner-deneyssel}} = \sigma_{\text{Learner}} - \sigma_{\text{deneyssel-FT}}$, σ NIST seviyeler dalga sayısı, $\Delta\sigma_{\text{Learner-NIST}} = \sigma_{\text{Learner}} - \sigma_{\text{NIST}}$, $\Delta\sigma_{\text{NIST-deneyssel}} = \sigma_{\text{NIST}} - \sigma_{\text{deneyssel}}$

σ Learner (cm^{-1})	λ Learner- hesap (nm)	σ deneyssel- FT (cm^{-1})	σ kalibre edilmiş (cm^{-1})	λ deneyssel- FT (nm)	λ kalibre edilmiş (nm)	$\Delta\sigma$ Learner- deneyssel (cm^{-1})	$\Delta\lambda$ Learner- deneyssel (nm)	σ NIST seviyeler (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ Learner- NIST (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ NIST- deneyssel (cm^{-1})
19429.7686	5145.30805	19429.7586	19429.77084	5145.3107	5145.30746	0.0100	-0.00265	19429.76900	-0.0004	0.0104
19749.3865	5062.03695	19749.3758	19749.38822	5062.0397	5062.03651	0.0107	-0.00275	19749.38700	-0.0005	0.0112
19957.1654	5009.33417	19957.1541	19957.16672	5009.3370	5009.33384	0.0113	-0.00283	19957.16600	-0.0006	0.0119
20106.3743	4972.15954	20106.3631	20106.37581	4972.1623	4972.15917	0.0112	-0.00276	20106.37400	0.0003	0.0109
20135.0546	4965.07712	20135.0344	20135.04709	4965.0821	4965.07897	0.0202	-0.00498	20135.04600	0.0086	0.0116
20265.1240	4933.20891	20265.1138	20265.12653	4933.2114	4933.20829	0.0102	-0.00249	20265.12500	-0.0010	0.0112
20448.1938	4889.04198	20448.1820	20448.19489	4889.0448	4889.04172	0.0118	-0.00282	20448.19500	-0.0012	0.0103
20486.6548	4879.86332	20486.6436	20486.65646	4879.8660	4879.86293	0.0112	-0.00268	20486.65500	-0.0002	0.0114
20622.1118	4847.80934	20622.0992	20622.11218	4847.8123	4847.80925	0.0126	-0.00296	20622.11200	-0.0002	0.0128
20801.4214	4806.02031	20801.4106	20801.42375	4806.0228	4806.01977	0.0108	-0.00249	20801.42300	-0.0016	0.0124
20981.0886	4764.86436	20981.0770	20981.09021	4764.8670	4764.86400	0.0116	-0.00264	20981.08900	-0.0004	0.0120
21109.3800	4735.90567	21109.3705	21109.38380	4735.9078	4735.90482	0.0095	-0.00213	21109.38200	-0.0020	0.0115
21149.7396	4726.86811	21149.7284	21149.74176	4726.8706	4726.86762	0.0112	-0.00249	21149.74100	-0.0014	0.0126
21462.8879	4657.90102	21462.8765	21462.88997	4657.9035	4657.90057	0.0114	-0.00248	21462.88900	-0.0011	0.0125
21831.0451	4579.34928	21831.0341	21831.04781	4579.3516	4579.34872	0.0110	-0.00232	21831.04600	-0.0009	0.0119
21995.7826	4545.05168	21995.7709	21995.78475	4545.0541	4545.05124	0.0117	-0.00242	21995.78400	-0.0014	0.0131
22561.9530	4430.99613	22561.9424	22561.95665	4430.9982	4430.99541	0.0106	-0.00207	22561.95500	-0.0020	0.0126
22566.0646	4430.18877	22566.0522	22566.06645	4430.1912	4430.18841	0.0124	-0.00243	22566.06600	-0.0014	0.0138
22587.4159	4426.00096	22587.4045	22587.41868	4426.0032	4426.00041	0.0114	-0.00224	22587.41800	-0.0021	0.0135
22715.7984	4400.98617	22715.7859	22715.80017	4400.9886	4400.98583	0.0125	-0.00243	22715.80000	-0.0016	0.0141
22720.3909	4400.09658	22720.3789	22720.39322	4400.0989	4400.09613	0.0120	-0.00232	22720.39300	-0.0021	0.0141
22826.3735	4379.66662	22826.3606	22826.37496	4379.6691	4379.66634	0.0129	-0.00248	22826.375000	-0.0015	0.0144
22992.2783	4348.06381	22992.2662	22992.28070	4348.0661	4348.06336	0.0121	-0.00229	22992.281000	-0.0027	0.0148

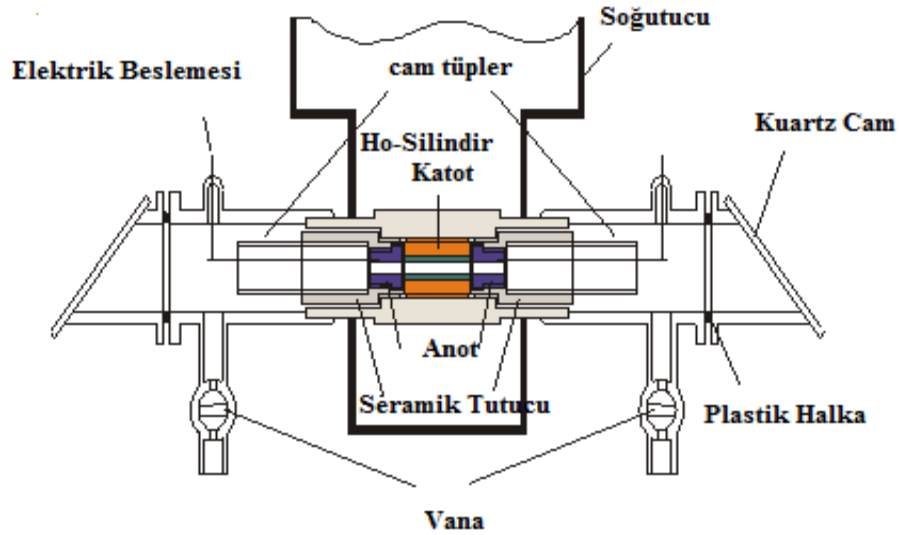
Tablo 3. 3 (devam)

σ Learner (cm ⁻¹)	λ Learner- hesap (nm)	σ deneysel- FT (cm ⁻¹)	σ kalibre edilmiş (cm ⁻¹)	λ deneysel- FT (nm)	λ kalibre edilmiş (nm)	$\Delta\sigma$ Learner deneysel (cm ⁻¹)	$\Delta\lambda$ Learner deneysel (nm)	σ NIST deneysel (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ Learner NIST (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ NIST deneysel (cm ⁻¹)
23081.8020	4331.19937	23081.7912	23081.80573	4331.2014	4331.19867	0.0108	-0.00203	23081.80400	-0.0020	0.0128
23431.6720	4266.52689	23431.6604	23431.67520	4266.5290	4266.52631	0.0116	-0.00211	23431.67500	-0.0030	0.0146
23644.3021	4228.15786	23644.2896	23644.30447	4228.1601	4228.15744	0.0125	-0.00224	23644.30400	-0.0019	0.0144
		24548.6897	24548.70521	4072.3871	4072.38453			24548.70790		0.0182
		24550.9824	24550.99785	4072.0068	4072.00423			24550.99870		0.0163
		24666.5826	24666.59813	4052.9229	4052.92035			24666.59750		0.0149
		24727.7613	24727.77684	4042.8954	4042.89285			24727.77480		0.0135
		25465.8185	25465.83458	3925.7206	3925.71813			25465.83283		0.0143
		25842.2837	25842.29999	3868.5302	3868.52776			25842.29910		0.0154
		25962.7253	25962.74163	3850.5836	3850.58117			25962.74520		0.0199
		26544.9793	26544.99605	3766.1205	3766.11813			26544.99660		0.0173
		26550.9667	26550.98343	3765.2712	3765.26883			26550.97870		0.0120
		26745.4509	26745.46773	3737.8907	3737.88835			26745.46460		0.0137
26806.9979	3729.30854	26806.9838	26807.00073	3729.3105	3729.30815	0.0141	-0.00196	26807.00200		0.0182
		26887.027	26887.04391	3718.2080	3718.20566			26887.04190		0.0149
		27859.2952	27859.3127	3588.4420	3588.43974			27859.30990		0.0147
		27951.3962	27951.41383	3576.6176	3576.61535			27951.41520		0.0190
		28073.7279	28073.74561	3561.0320	3561.02976			28073.74230		0.0144
		28085.7363	28085.75397	3559.5094	3559.50716			28085.74960		0.0133
		28193.9615	28193.97924	3545.8455	3545.84327			28193.98150		0.0200
		28195.9375	28195.95521	3545.5970	3545.59477			28195.95260		0.0151
		28446.3096	28446.32748	3514.3893	3514.38709			28446.32630		0.0167
		28483.663	28483.68094	3509.7804	3509.77819			28483.68440		0.0214
		28632.4835	28632.50152	3491.5374	3491.53520			28632.49950		0.0160
		28634.8765	28634.89457	3491.2456	3491.24340			28634.89340		0.0169
		28754.2702	28754.28831	3476.7488	3476.74661			28754.28530		0.0151
									-0.0009	

3.6.3. Silindir Katot

Atomik absorpsiyon ve emisyon ölçmelerinde kullanılan en uygun kaynak silindir katot lambalarıdır. Deneylerde Helmut Schmid Üniversitesi laboratuvarlarında yapılan silindir katod lamba kullanıldı [58]. Silindir katod bir cam tüp içindedir ve 10^{-7} torr basınçta vakumda tutulmaktadır. Deneyden önce plazma oluşturmak için silindir katot lambanın içi neon veya argon asal gazı ile dolduruldu. Ho metal levha rulo şeklinde katlanarak silindir şeklinde ortası oyuk bakır katodun içine yerleştirildi.

Silindir katot lambanın stabil olarak yakılması geometrisine ve çalıştırıldığı potansiyele bağlıdır. Yüksek potansiyelerde lamba yakıldığında ki bu yüksek akımlar demektir, lambanın yayınladığı ışığın şiddeti artar. Ancak akımın yükseltilmesi Doppler genişlemesinin artması demektir. Deneylerde kullanılan silindir katot lambasının kesiti şekil 3.12’de gösterildi.



Şekil 3.12: Silindir katot lambası

Deneyler sırasında spektral çizgilerin aşırı ince yapılarının çizgi genişlemelerini azaltmak ve atom buharının silindir katot içerisinde kalmasını sağlamak amacı ile silindir katot

lambası üzerine monte edilen paslanmaz çelik kap içine sıvı azot eklenerek plazma ortamı soğutuldu.

Silindir katod lambanın çalışma prensibi: Silindir katod lamba vakumlandıktan sonra içi asal gazla doldurulur. Asal gaz atomları kendi aralarında çarpışarak iyonlaşırlar. Ortamda asal gaz atomları, iyonları ve elektronlar vardır. Lambaya voltaj verilir. Bu durumda silindir katod eksi yüklü olduğundan pozitif Holmiyum iyonları katoda doğru hızlandırılırlar ve aldıkları bu kinetik enerji ile içinde Holmiyum levhası bulunan silindir katoda çarparak yüzeyden Holmiyum atomlarını ve ikincil elektronları koparırlar. Bu kopan Holmiyum atomları temel seviyede de olabilir uyarılmış seviyelerde de olabilir. Silindir katod lambanın avantajı metallerin yüksek enerji seviyelerine uyarılabilmesidir. Böylece yüksek enerji seviyelerinin incelenmesine imkan sağlar. Uyarılmış seviyelerde bulunan Holmiyum atomları ve iyonları uyarılma enerjilerini foton yayınlamaya verirler ve (emisyona ışığı) alt enerji seviyelerine inerler. Aynı şey asal gaz atom ve iyonları için de geçerlidir. Yayımlanan bu ışık spektrometreye odaklanarak sokulur ve spektrum alınır. Bu spektrumda plazma ortamında bulunan tüm atom ve iyonların spektral çizgileri bulunur. Bu çalışmada Holmiyum spektrumu Ne ve Ar asal gazları ile ayrı ayrı kaydedildi. Kaydedilen spektrumlarda Holmiyumun atom halinin (Ho I) spektral çizgileri ile birlikte birinci (Ho II) ve ikinci iyon (Ho III) hallerinin spektral çizgileri aynı zamanda Argon ve Neon atomlarının ve birinci iyon hallerinin spektral çizgileri gözlemlendi.

3.7. SPEKTRAL DATA ANALİZİ

Holmiyumun her iki asal gazla alınan spektrumu analiz edilerek mor ötesi bölgedeki (315 nm – 400 nm) spektral çizgileri sınıflandırıldı. Holmiyum spektral çizgilerini sınıflandırmak için klasifikasyon programı kullanıldı.

Holmiyum elementinin Fourier Transform Spektroskopisi yöntemiyle elde edilen aşırı ince yapı spektrumlarından manyetik dipol ve elektrik kuadrupol aşırı ince yapı sabitlerini elde etmek için spektral şiddet dağılımları Fitter programı ile fit edildi.

3.7.1 Klasifikasyon Programı

Spektrumların analizi için CLASS-LW sınıflandırma programını kullanıldı. Bu program atomik spektrumların sınıflandırılması için uygun olup, Hamburg'daki (Almanya) Helmut Schmid Üniversitesi'nde yazıldı ve Graz Teknoloji Üniversitesi'nde (Avusturya) optimize edildi ve tamamlandı [59] ve hala Graz Teknoloji Üniversitesi'nde L.Windholz tarafından geliştirilmektedir[60]. Bu program yardımı ile Ho'un FT spektrumu çizdirildi, spektrum istenilen bölgelerde büyütüldü, gerektiğinde spektrumlar üst üste çakıştırıldı, spektral çizgiler sınıflandırıldı, deneysel olarak spektrumdan elde edilen spektrum ile simüle edilen teorik spektrum karşılaştırmak ve çizginin ağırlık merkezini belirlemek amacı ile spektral çizgilerin aşırı ince yapı spektrumları simüle edildi.

Bu program ile şunlar gerçekleştirildi:

1. İki ayrı asal gazla alınan spektrumların ortalaması alınarak bu programda üst üste gösterildi. Bu programla spektrumları yakınlaştıracak ve uzaklaştıracak spektral çizgilerin daha hassas incelenmesi mümkündür.
2. Spektral çizgileri sınıflandırıldı. Çizginin alt ve üst seviyelerinin aşırı ince yapı sabitleri A ve B 'ler biliniyorsa sınıflandırma bu çizginin aşırı ince yapı simülasyonu yapılarak gerçekleştirildi. Ayrıca simüle edilen bir çizginin spektrumdaki bir çizgi ile de karşılaştırılarak alt ve üst seviyelerinin aşırı ince yapı sabitleri kabaca belirlenebildi.
3. Spektral çizgilerin ağırlık merkezleri belirlenebildi.

Programa giriş dataları şunlardır:

1. FT spektrumlarının bu program yardımıyla analiz edilebilmesi için bütün spektrumların sinyal seviyelerinin normalize edilmesi gerekir. Bu normalizasyondan sonra tüm spektrum belli işlemlerden sonra bu programı çalıştırmak için hazır hale getirildi.
2. Elementin atom ve iyon hallerinin bilinen bütün enerji seviyeleri belli bir format altında listelenir. Bu enerji seviyelerinin yer aldığı listede, ince yapı enerji seviyelerinin paritesi, J kuantum sayısı ve eğer varsa aşırı ince yapı sabitlerini içerir. İyonlaşmanın iki derecesi de aynı zamanda yürütülebilir. Buna ek olarak seviye listesi, bir asal gazın (Ne, Ar) seviyelerinin listesini de içerir. Ho I için enerji seviyeleri [16, 22, 23]'den alındı. Ho I enerji seviyeleri için aşırı ince yapı sabitleri [6, 13, 14, 16, 19, 22, 23]'den Ho II için enerji seviyeleri ve aşırı ince yapı sabitleri [27]'den alındı. Mevcut durumda Ho I seviye listesi 388 seviye içermektedir ve bu enerji seviyeleri içinden 312 enerji seviyesinin aşırı ince yapı sabiti referanslarda mevcuttur. Bu 312 seviyenin 195'inin hem A ve hem B sabitleri mevcutken, 117 seviyenin sadece A sabitleri mevcuttur ve bu dataların tümü giriş datasına kaydedildi. Ho II ye ait 100 enerji seviyesi giriş datası olarak girildi. Gurell et al 2009'da bulunmayan [18]'dan alınan üç enerji seviyesi ile [23]'den alınan üç seviyede ayrıca input datası olarak girildi. Bu son altı seviyeye ait aşırı ince yapı sabitleri yoktur. Toplam 106 Ho II enerji seviyesinden 83 seviye tek parite 23 seviye çift pariteye sahiptir. Ho III seviyeleri toplam 125 enerji seviyesinden oluşur [18]. Bunlardan 73 seviye çift, 52 seviye tek paritelidir. Şu ana kadar Ho III'ün hiçbir enerji seviyesinin aşırı ince yapı sabiti belli değildir.
3. CLASS-LW programının bir diğer giriş datası incelenen elementin deneysel spektral çizgilerinin bulunduğu datadır. Bu amaçla Ho I ve Ho II ve Ho III'ün referanslardan bilinen tüm spektral çizgilerinin dalga boyları, dalga sayıları, alt ve üst enerji seviyeleri, bu seviyelerin J değerleri ve varsa aşırı ince yapı sabitlerini içeren data oluşturuldu. Ho I spektral çizgileri için [15, 25, 28, 57, 61]'den alınan değerler kullanıldı Ho II'ye ait spektral çizgiler [15, 21, 27, 61]'den alındı. Ho III'e ait spektral çizgiler [37, 63]'den alındı.

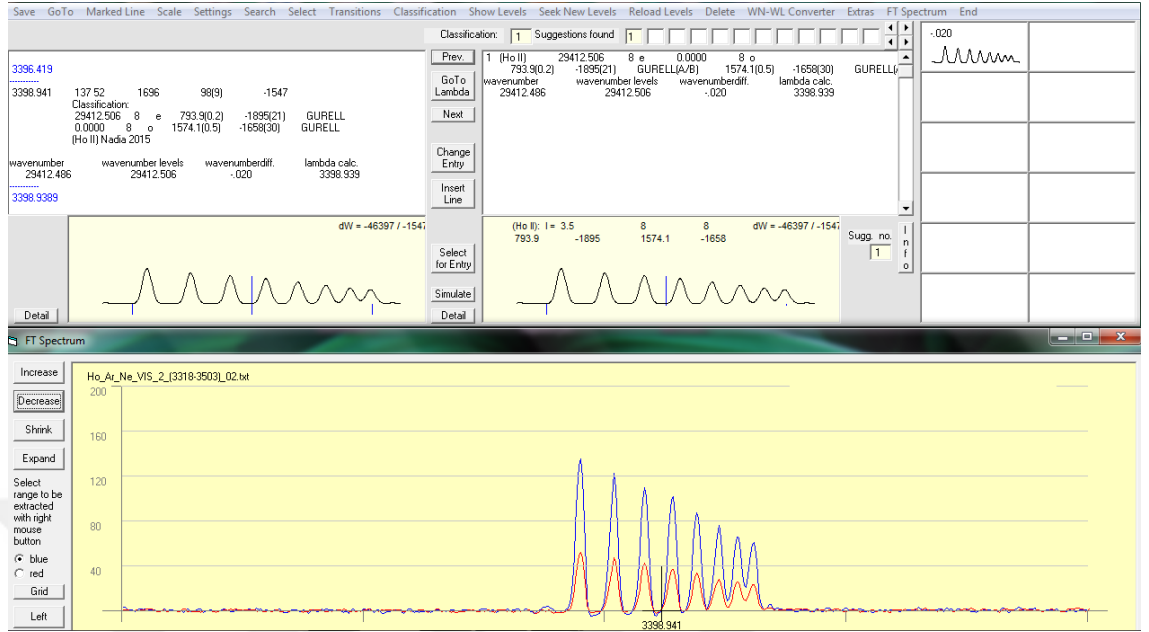
Ho I ve Ho II ve Ho III spektral çizgi tabloları bu çizgi datası kullanılarak oluşturuldu. Bütün bu bilinen çizgiler spektrumları analiz etmekte kullanıldı. Spektral çizginin ağırlık

merkezi, sinyal gürültü oranı (S/N) ve her bir çizginin W spektral genişliği CLASS-LW programı kullanılarak elde edildi. S/N oranı ayrışsın ayrışmasın çizginin en yüksek tepesinin şiddetine karşılık gelir.

Spektral çizgilerin W genişliği, S/N oranlarına bakılarak iki şekilde elde edildi. S/N oranı 5'ün üstünde olan spektral çizgiler için, çizgi genişliği; en şiddetli bileşenin en yüksek tepesinden $1/e^2$ faktör kadar düştüğü yerdeki tüm aşırı ince yapı deseninin sağ ve sol noktaları arasındaki mesafenin dalga sayısı cinsinden değeridir. S/N oranı 5'ün altında olan zayıf çizgiler için genişlik çizgi profilinin gürültü seviyesinden yükseldiği yerdeki noktaların arasındaki dalga sayısı cinsinden mesafedir.

Spektral çizgilerin şiddeti kullanılan deneysel yöntem sebebi ile yani spektrometreden dolayı kalibre edilemez. Bununla birlikte spektrumdaki çizgilerin spektral profillerinin kapladığı alan dikkate alınmadığından S/N oranları doğrudan çizgi şiddetleri ile orantılı değildir. Ancak bir çizgi içindeki her bir aşırı ince yapı maksimumunun karşılaştırılması ve aynı spektrumdaki farklı çizgilerin karşılaştırılması açısından S/N oranı önemlidir. FT spektroskopi metodunda daha önceden de bildiğimiz gibi deneysel olarak elde edilen spektral çizgilerin şiddetlerinin oranları teorik olarak hesaplanan oranlarda tamamen birbirine uyar.

Şekil 3.13'te klasifikasyon programı ile sınıflandırılan bir spektral çizgi için programın ön yüzü verildi.



Şekil 3.13: 339.8942 nm dalgaboyuna sahip spektral geçiş için Klasifikasyon programının ana menüsü.

Şekil 3.13'ün alt kısmı Holmiyum elementinin Fourier Transform Spektroskopi metodu ile (315 - 400) nm aralığında ölçülmüş spektrumunda gözlenen $\lambda = 339.894$ nm deki spektral geçişi göstermektedir. Buradaki mavi spektrum Argon, kırmızı spektrum ise Neon asal gazı ile alınan spektrumu göstermektedir.

Bu pencerenin üst orta kısmında spektrumda görülen çizginin sınıflandırılabilceği teorik olarak hesaplanmış önerilen teorik çizgi görülüyor. Burada çizginin dalga boyu, dalga sayısı, alt ve üst enerji seviyeleri, eğer varsa her iki seviyeye ait aşırı ince yapı sabitleri A ve B verilir.

Pencerenin üst sağında ise bu verilen aşırı ince yapı sabitleri ile önerilen çizginin teorik spektrumu verilir. Eğer bu pencerenin üst orta kısmında mümkün olan bir geçişin alt ve üst enerji seviyelerine ait A ve B değerleri bilinmiyorsa bu sağdaki simülasyon penceresi o çizgi için boş kalır. Pencerenin üst sol kısmında ise bu çizgi daha önce bulunmuş ve tanımlanmış ise bütün bilgiler bu pencerede yer alır. Pencerenin sağ üst kısmında önerilen teorik spektrum ile pencerenin en alt bölümünde yer alan deneysel spektrum karşılaştırılır. Bu karşılaştırma programın "simulation" kısmı ile yapılır. Eğer bu iki spektrum birbiri ile uyuyorsa ve programın verdiği çizginin ağırlık noktasının dalga sayısı

3.7.3. Fitter Programı

Holmiyum elementinin Fourier Transform Spektroskopisi yöntemiyle elde edilen aşırı ince yapı spektrumlarının spektral şiddet dağılımının hesaplarını yapmak için Helmat Schmit Üniversitesi, Hamburg Almanya’da geliştirilen Fitter [3] programı kullanıldı. Bu program yardımıyla, Holmiyum elementinin atom halinin deneysel olarak ölçülen tüm spektrumları fit edildi. Fit işlemi matematiksel olarak “Voigt” fonksiyonu kullanılarak yapıldı ve spektral geçişlerin alt ve üst enerji seviyelerinin manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A ve elektrik kuadrupol aşırı ince yapı sabiti B değerleri belirlendi.

Deneysel bir spektrumun her bir datası için en iyi fit işlemi matematiksel en küçük kareler metodu ile yapılır. Her bir aşırı ince yapı bileşeninin pozisyonu (3.59) yardımı ile hesaplanır. Bu ifade fit edilen spektral çizginin alt ve üst enerji seviyelerinin manyetik dipol ve elektrik kuadrupol momentleri ile her iki seviyeye ait, α ve β “Casimir” faktörlerinden oluşur.

$$\nu = \nu_s + \alpha_{üst} A_{üst} + \beta_{üst} B_{üst} - \alpha_{alt} A_{alt} - \beta_{alt} B_{alt} \quad (3.59)$$

Bu ifade herbir hfs geçişi için oluşturularak lineer denklem sistemi elde edilir. Bu lineer denklem sisteminin çözülmesi ile A ve B aşırı ince yapı sabitleri elde edilir.

ν_s : İncelenen spektral geçişin frekansıdır. Bu her bileşen için aynı değere sahiptir. Alt ve üst enerji seviyeleri için eşitlik (3.59)’daki α ve β Casimir faktörleri aşağıda verilen denklemlerle hesaplanır:

$$\alpha = \frac{1}{2} [F(F + 1) - I(I + 1) - J(J + 1)] \quad (3.60)$$

$$\beta = \frac{\frac{3}{4}C(C+1) - I(I+1)J(J+1)}{2I(2I-1)J(2J-1)} \quad (3.61)$$

$$C = [F(F + 1) - I(I + 1) - J(J + 1)] \quad (3.62)$$

Burada $F=I+J$; çekirdek spini de dikkate alındığındaki atomun toplam açısal momentumu, I çekirdek spini, $J=L+S$ elektronun toplam açısal momentumudur. Spektrumdaki her bir aşırı ince yapı maksimumunun yeri 3.59 denkleminde Casimir faktörleri de hesaplanarak lineer denklem sistemi oluşturularak alt ve üst seviyelerin aşırı ince yapı sabitleri olan A ve B ’ler bulunur.

Deneyssel elde edilen data noktaları için eşitlik (3.63) te verildiği gibi en küçük kareler yöntemi uygulanır,

$$\sum_{k=1}^n [I_k(k) - I_k(v_k, \vec{a})]^2 \quad (3.63)$$

Burada $I_k(k)$ ifadesi, verilen bir v_k frekans noktasında ölçülen şiddettir. $I_k = (v_k, \vec{a})$ denklem (3.59) ile verilen fit parametlerinin seti olan $\vec{a}$ vektörü ve bu duruma karşılık hesaplanan şiddettir. Denklem (3.63) ifadesini minimum yapacak bir fonksiyon belirlenir ve her bir karenin toplamının minimum olması için, hataların da küçük olması gerekir. Bu ifade Taylor serisine açıldığında lineer ve homojen olmayan denklemler elde edilir. Bu denklemlerin sayısı $\vec{a}$ vektöründeki parametrelerin sayısına bağlıdır. Denklemin çözümü $\vec{a}$ vektöründeki parametrelerin yeni bir setini verir. Bu yeni vektör bir sonraki iterasyon için başlangıç değeri olarak kullanılır. Bu işlem en iyi sonuca ulaşılan kadar tekrar eder. $\vec{a}$ vektörü içindeki parametreler, incelenen spektral çizginin aşırı ince yapı bileşenlerinin frekansları, şiddeti, spektral geçişin yarı genişliği, geçişin alt ve üst ince yapı enerji seviyelerinin manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A ve elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B değerleridir.

Spektrumda bulunan her bir aşırı ince yapı bileşeninin şiddeti (3.64), (3.65), (3.66), (3.67) denklemleri ile hesaplanır.

$$\begin{pmatrix} a & b & c \\ 1 & c-1 & b-1 \end{pmatrix} = (-1)^s \left[\frac{s(s+1)(s-2a-1)(s-2a)}{(2b-1)2b(2b+1)(2c-1)2c(2c+1)} \right]^{1/2} \quad (3.64)$$

$$\begin{pmatrix} a & b & c \\ 1 & c-1 & b \end{pmatrix} = (-1)^s \left[\frac{s(s+1)(s-2a)(s-2b)(s-2c+1)}{2b(2b+1)(2b+2)(2c-1)2c(2c+1)} \right]^{1/2} \quad (3.65)$$

$$\begin{pmatrix} a & b & c \\ 1 & c-1 & b+1 \end{pmatrix} = (-1)^s \left[\frac{(s-2b-1)(s-2b)(s-2c-1)(s-2c+2)}{(2b+1)(2b+2)(2b+3)(2c-1)2c(2c+1)} \right]^{1/2} \quad (3.66)$$

$$\begin{pmatrix} a & b & c \\ 1 & c & b \end{pmatrix} = (-1)^{s+1} \left[\frac{2[b(b+1)+c(c+1)-a(a+1)]}{[2b(2b+1)(2b+2)2c(2c+1)(2c+2)]} \right]^{1/2} \quad (3.67)$$

Burada, $s = a+b+c$, a : çekirdek spini I , b : üst seviyenin F kuantum sayısı, c : üst seviyenin J kuantum sayısıdır [35].

Fitter programında spektral çizgilerin fit işlemi yapılmadan önce programın giriş dosyaları oluşturulur. Bunlar “mes, lin, ein, arb” klasörleridir.

“Mes” klasörü, incelenen çizgiye ait tüm deneysel spektrum datalarını içerir.

“Lin” klasörü içinde lin ve par dosyaları bulunmaktadır. Fourier transform spektroskopisi metodu ile elde edilen spektrum şiddetin dalga sayısına göre dağılımı ölçülür. Fit işleminin yapılabilmesi için bu spektrum şiddetin frekansla dağılımını veren spektrumuna çevrilir. Par dosyasında spektrumun başlangıç dalga boyu spektrumdaki data sayısı ve ardarda gelen iki data arasındaki frekans cinsinden fark bulunur. Bu fark spektrumdan hesaplanır. Lin deki spektrum fit edilmeye hazır spektrumdur.

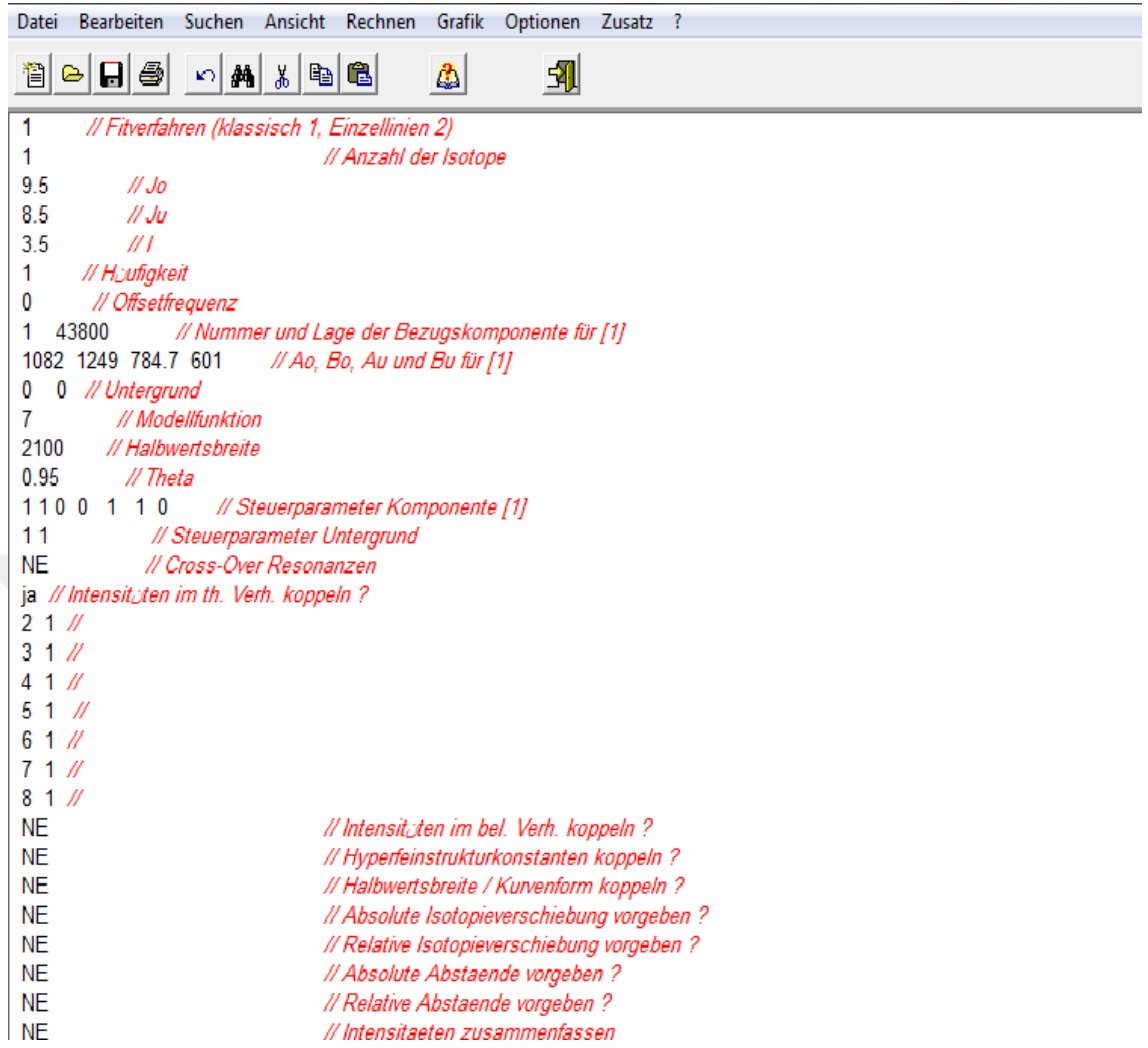
“Ein” dosyası her spektral çizgi için sabit ve değişken parametrelerden oluşur. Sabit parametreler şunlardır:

- İncelenen elementin izotop sayısı,
- İzotopların katkı oranları,
- Çekirdek spini,
- Fit edilecek spektral çizginin alt ve üst ince yapı enerji seviyelerinin J değerleri
- Fit için kullanılacak matematiksel fonksiyon

Bu parametreler fit işlemi boyunca sabit tutulurlar. Değişken parametreler şunlardır:

- spektrumdaki herbir aşırı ince yapı bileşeninin frekans eksenindeki yeri,
- spektral çizginin ağırlık merkezi yada en şiddetli bileşeninin yeri,
- incelenen çizginin alt ve üst enerji seviyelerinin manyetik dipol aşırı ince yapı A ve elektrik kuadrupol aşırı ince yapı sabiti B 'nin değerleri,
- spektrumdaki aşırı ince yapı bileşeninin Gauss fonksiyonu profili ve Lorentz fonksiyonu profilinin spektruma katkılarının yarı genişlikleri
- “Voigt” fonksiyonunda Lorentz fonksiyonunun Gauss fonksiyonuna oranı
- spektrumun başlangıç ve bitiş noktasındaki gürültü yüksekliğidir

üst enerji seviyesi 34013.03cm^{-1} ($J = \frac{19}{2}$) ve alt enerji seviyesi 8378.91cm^{-1} ($J = \frac{17}{2}$) olan, $\lambda = 389.99675\text{ nm}$ spektral geçişi için oluşturulan Fitter programındaki hali ile giriş (ein) dosyası Şekil 3.15'te verildi.



Şekil 3.15: $\lambda=389.99675$ nm dalgaboyundaki spektral çizgisi için ($E_{\text{üst}} = 34013.03\text{cm}^{-1} \rightarrow E_{\text{alt}} = 8378.91\text{cm}^{-1}$) fitter programının giriş dosyası.

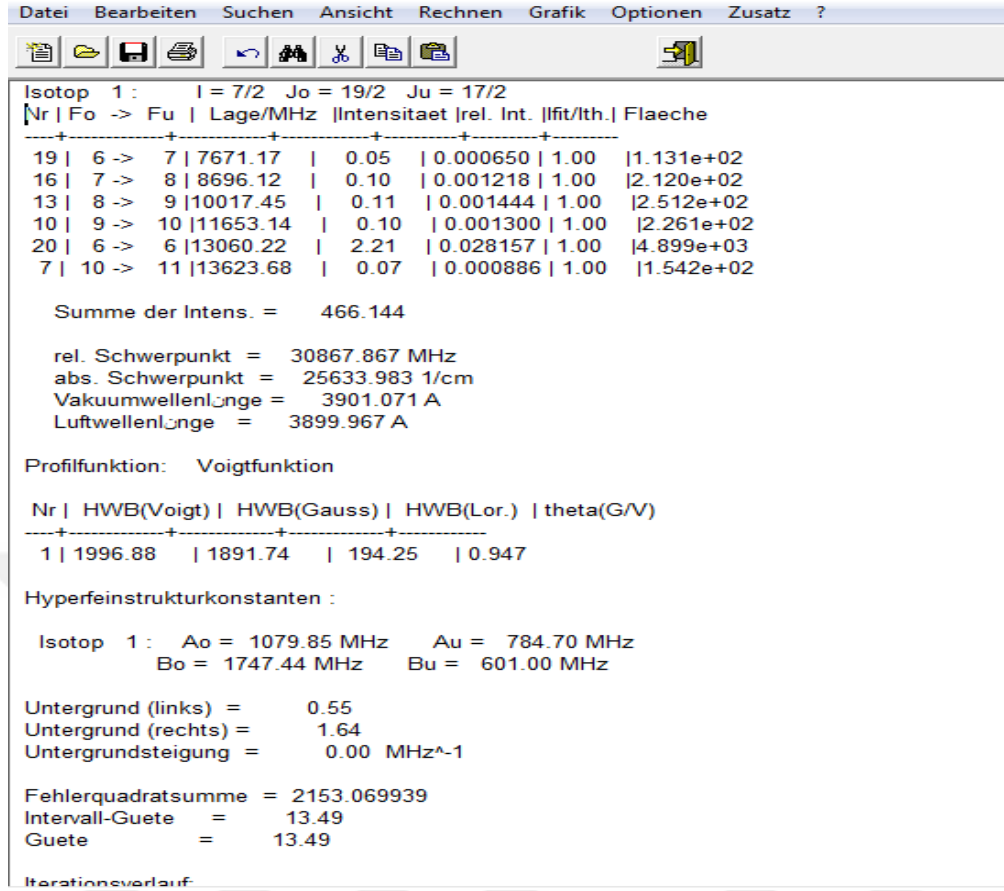
Bu çalışmada incelenen spektral geçişler Doppler genişlemeli bir metod olan Fourier transform spektroskopi metodu ile ölçüldüğünden ayrışmamış yada bir miktar ayrışmış çizgiler söz konusudur. Bu durumda spektral çizginin alt ya da üst enerji seviyelerinden birinin A ve B aşırı ince yapı sabitleri daha önceden biliniyorsa bunlar sabit tutularak fit işlemi gerçekleştirilir. Bunun için bu parametrelerin bulunduğu satırındaki değerlere 1 yerine 0 yazılarak bu değerler fit süresince sabit tutulabilir. Böylece A ve B değeri bilinmeyen seviyenin aşırı ince yapı sabitlerinin doğruluğu arttırılmış olur. Eğer spektrum ayrışmış ise her iki seviyenin de A ve B aşırı ince yapı sabitleri serbest bırakılabilir. Spektrumun başlangıç ve bitişteki gürültü yüksekliği değerleri de y eksenimdeki değişim parametreleri satırında 1 yerine 0 yazılarak sabit tutulabilir.

Fitter programı matematiksel olarak bir spektrumu fit yapmak için planlandığından eğer fiziksel parametreler doğru olarak verilmez ise program son derece yanlış sonuçlara gidebilir. O nedenle fit işlemi sırasında alt ve üst aşırı ince yapı enerji seviyeleri arasındaki mümkün geçişleri veren aşırı ince yapı bileşenleri eğer ayrışmamış ise bunların şiddetleri kendi aralarında kuplaj yapılarak yani değerleri birbirine bağlı olarak değiştirilerek, bu değerlerin teorik olarak birbiriyle uyum içinde değişmesi sağlanır. Bu çalışmada kullanılan spektroskopik metodun özelliğine bağlı olarak, ayrışmamış spektrumlar için fit işlemi sırasında tüm aşırı ince yapı bileşenlerinin şiddetleri en yüksek şiddete sahip bileşene bağlı olarak değişmesine izin verildi. Böylece laser spektroskopik metodlardan farklı olarak teorik olarak hesaplanan şiddetle deneysel olarak hesaplanan şiddetler bire bir aynıdır.

“Arb” klasörü spektral çizgi fit edildikten sonra program tarafından oluşturulur ve aus, bf, bw ve stw ismini alan çıkış dosyalarını içerir. Spektral çizginin fit edilmesinden sonra döngü sonucu deneysel ve teorik spektrum arasındaki fark minimuma ulaşır. Çıkış doayalarından aus isimli dosyada verilen en iyi fit sonucunda elde edilen fiziksel parametreler şunlardır:

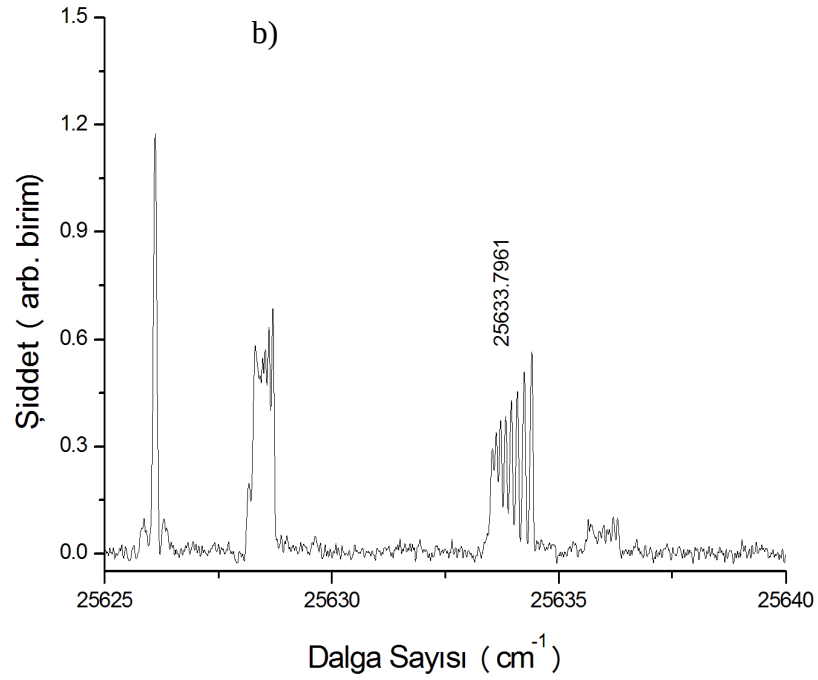
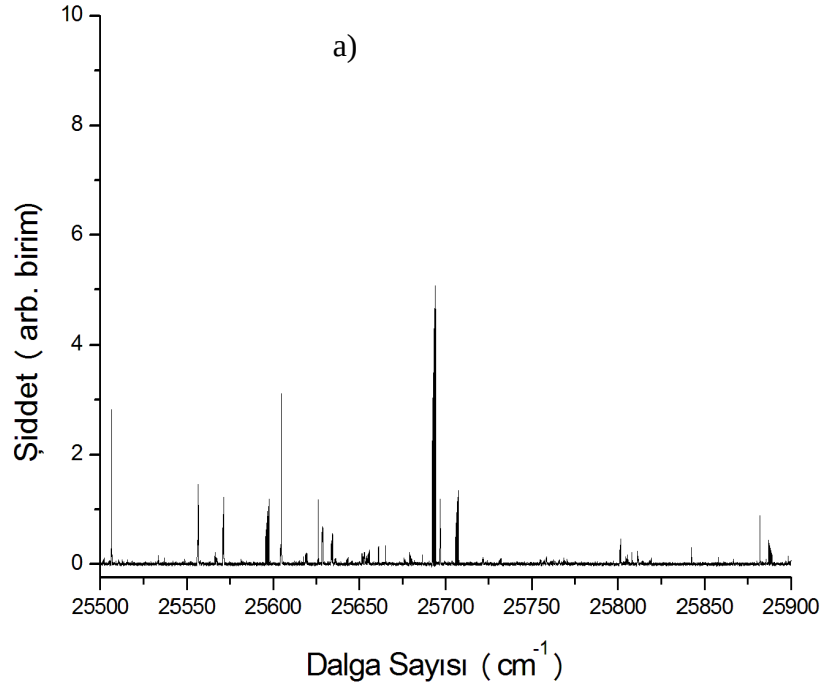
- Spektrumun gözlenen aşırı ince yapı bileşenlerinin alt ve üst aşırı ince yapı enerjilerinin toplam açısal momentum F kuantum sayıları ile herbir geçişin spektrumdaki MHz cinsinden yerleri ve şiddetleri,
- Alt ve üst enerji seviyelerinin fit sonucunda elde edilen A ve B aşırı ince yapı sabitleri,
- Voigt çizgi genişliği ile bu çizgi genişliğine Lorentz ve Gauss profillerinin katkısı,
- Çizginin ağırlık merkezi

Şekil 3.16’de $\lambda=389.99675$ nm dalgaboyundaki ($34013.03\text{cm}^{-1} \rightarrow 8378.91\text{cm}^{-1}$) spektral geçisin Fitter programından elde edilen çıkış “aus” dosyasının bir kısmı görülmektedir.

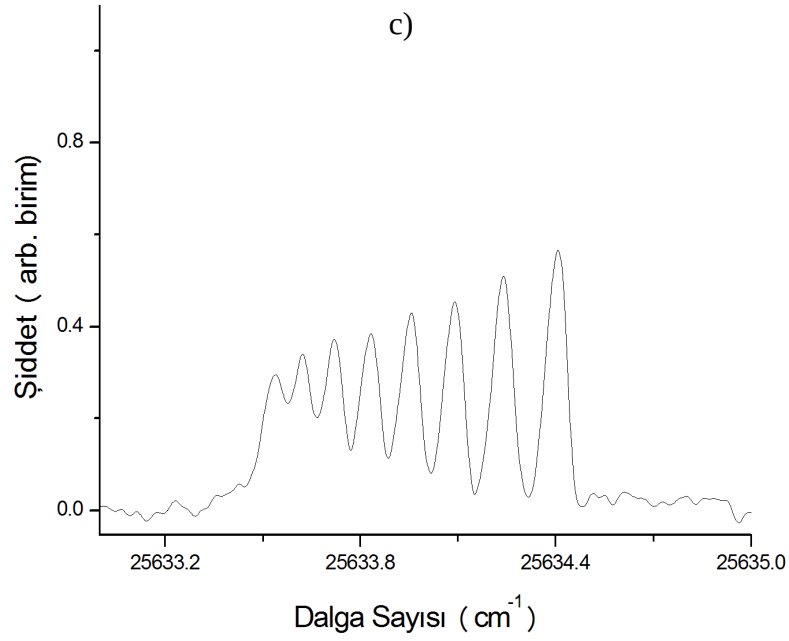


Şekil 3.16: $\lambda = 389.99675$ nm dalgaboyundaki ($E_{üst} = 34013.03\text{cm}^{-1} \rightarrow E_{alt} = 8378.91\text{cm}^{-1}$) spektral geçisi için Fitter programında çıkış dosyasının bir kısmı.

Şekil 3.17’te, a) ile holmiyum elementinin FTS yöntemi ile ölçülen spektrumunun $25500\text{ cm}^{-1} \rightarrow 25900\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki bir kesiti verildi, b) ile bu spektrumun içindeki $25625\text{ cm}^{-1} \rightarrow 25640\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki spektrum verildi, c) bu bölgedeki $\lambda = 389.99675$ nm dalgaboyu ve $25633.7961\text{ cm}^{-1}$ dalga sayısına sahip holmiyum çizgisi görülmektedir. Fit işlemine başlamadan önce a)’da verilen tüm spektrumdan incelenecek olan çizgi kesilir. Bu kesme işlemi standart sapmanın hesaplanabilmesi için en az üç ayrı spektrumdan gerçekleştirilmelidir. Bu çalışmada her bir çizgi üç ile dört spektrumdan kesildi.

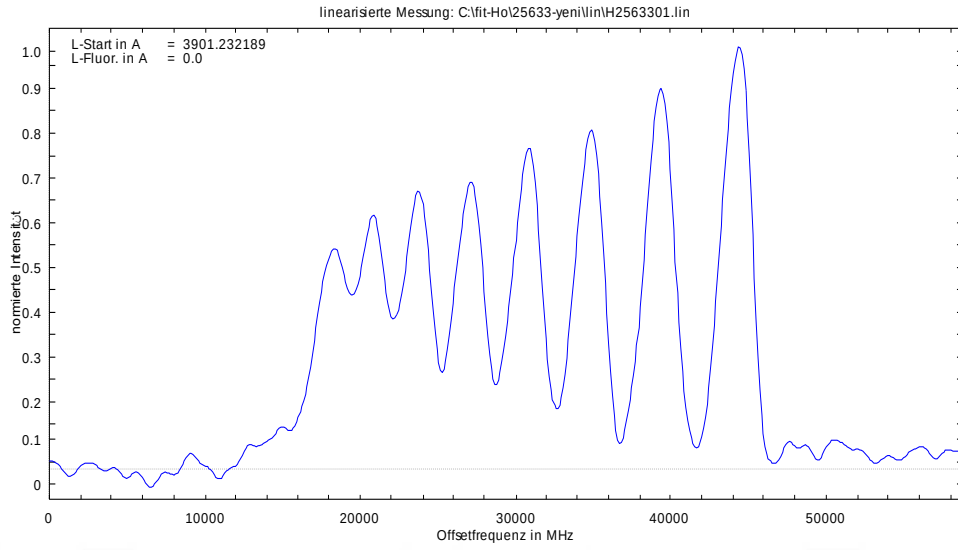


Şekil 3.17: a) 25500 cm⁻¹ → 25900 cm⁻¹ dalga sayısı aralığındaki holmiyum spektrumundan bir kesit, b) 25625 cm⁻¹ → 25640 cm⁻¹ aralığında bir kesit,



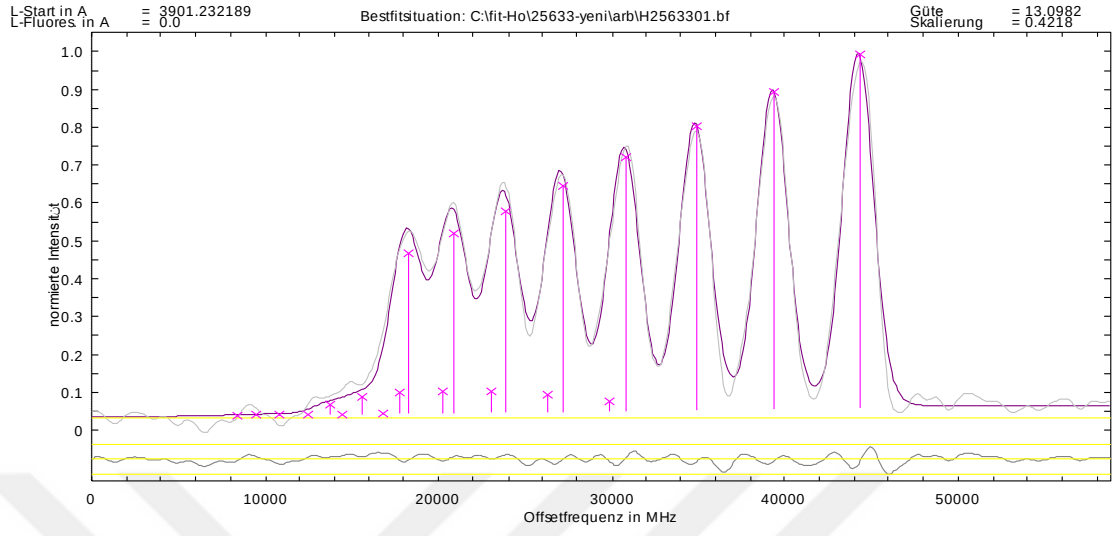
Şekil 3.17: c) $\lambda = 389.99675$ nm, $E_{\text{üst}} = 34013.03$ cm⁻¹, $J = 19/2$, $E_{\text{alt}} = 8378.91$ cm⁻¹, $J = 17/2$.

Kesme işleminden sonra her bir spektrumun şiddetin frekansla değişiminin oluşturulması gereklidir. Şekil (3.18)'de $\lambda = 389.99675$ nm dalga boyundaki spektral geçişe ait, fitter programı ile parametre (par) dataları oluşturularak lineerize edilen yani x eksenini frekansa (MHz cinsinden) dönüştürülen spektrumu gösterildi.



Şekil 3.18: $\lambda=389.9968$ nm; $\sigma = 25633.7961$ cm⁻¹, $E_{\text{alt}}=8378.91$ cm⁻¹
 $J = 17/2 \rightarrow E_{\text{üst}}=34013.03$ cm⁻¹, $J = 19/2$ olan spektral geçişinin lineerize edilen spektrumu.

Şekil (3.19)'te fit işlemi sonucunda elde edilen, programın verdiği teorik ve deneysel spektrum gösterildi. Burada her bir aşırı ince yapı geçişlerinin yerleri oklarla gösterildi. Fit edilen spektrumun altında deneysel spektrum ile fit edilen teorik spektrum arasındaki fark verildi. Bu farktan fit işleminin kalitesi anlaşılabilir. Bu spektrumda fark gürültü seviyesindedir bu da bu iki spektrumun birbiri ile oldukça uyum içerisinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.19: $\lambda=389.9968$ nm; $\sigma = 25633.7961$ cm⁻¹, $E_{\text{alt}} = 8378.91$ cm⁻¹, $J = 17/2 \rightarrow E_{\text{üst}} = 34013.03$ cm⁻¹, $J = 19/2$ olan spektral geçişinin lineerize edilen spektrumu.

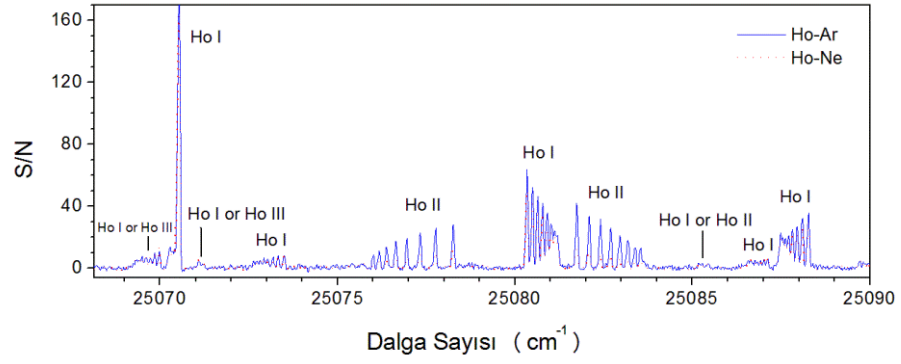
4. BULGULAR

Bu tez çalışması kapsamında Holmiyum elementinin Fourier Transform Spektroskopisi ile alınan $24500 - 31500 \text{ cm}^{-1}$ (315 - 400 nm) mor ötesi spektral bölge aralığındaki spektrumları incelenmesi sonucunda elde edilen bulgular iki bölümden oluşmaktadır.

1. Holmiyum elementinin atom halinin (Ho I), birinci (Ho II) ve ikinci (Ho III) iyon halinin tüm spektral çizgilerinin analizi sonucunda elde edilen bulgular,
2. Ho I'in bu bölgedeki spektral çizgilerinin üst enerji seviyelerine ait daha önce bilinmeyen aşırı ince yapı sabitlerinin elde edilmesi

4.1. ATOMİK HOLMİYUM (Ho I) İLE BİRİNCİ VE İKİNCİ HOLMİYUM İYON (Ho II VE Ho III) ÇİZGİLERİNİN ANALİZİ

Ho spektrumu çok yoğun ve karmaşık olduğundan spektral çizgiyi sınıflandırmak için aşırı ince yapı parmak izi olarak çok yardımcıdır. Şekil 4.1'de Holmiyum spektrumundan alınan bir kesitteki bu parmak izleri çok iyi bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.1: Ho-Ar ve Ho-Ne spektrumunda Holmiyum çizgilerinin aşırı ince yapıları parmak izi gibi görülmektedir.

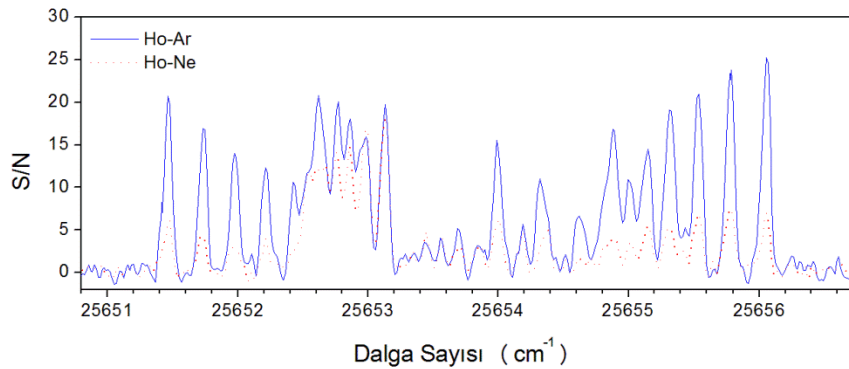
Bu çalışmada Ho I'in bilinen bütün seviyeleri kullanılarak, 71 tane spektral çizgi atomik Ho I'in geçişi olarak açık bir şekilde sınıflandırıldı. Bu çizgilerden 34'ü ilk defa bu tez çalışmasında verildi. Sansonetti et al. [61]'da verilen ve sınıflandırılan 3 adet çizgi için başka bir sınıflandırma bulundu.

Çizgileri sınıflandırırken spektrumdaki görülen çizginin klasifikasyon programının önerdiği çizgi olabilmesi için programın verdiği çizginin ağırlık noktasının dalga sayısı σ ($\sigma = [E_{\text{ü}} - E_{\text{a}}]$) ile spektrumdan elde edilen $\sigma_{\text{vak.}}$ 'nın farkının 0.25 cm^{-1} den küçük olmasına dikkat edildi.

$$\Delta\sigma = \sigma_{\text{vak.}} - [E_{\text{ü}} - E_{\text{a}}] \quad (4.1)$$

Bu değ er dalgasayısı kalibrasyonu olan 0.005 cm^{-1} değ erinin oldukça üzerindedir. Ancak çok fazla durumda çizginin yapısına ait spektrumun bu yüksek $\Delta\sigma$ değ erlerine rağmen çok iyi fit olduğu görüldü. Buda çizginin sınıflandırılması için yeterlidir. $\Delta\sigma$ 'nın 0.1 cm^{-1} den yüksek olduğu çizgilerde bu aşırı ince yapı parmak izi şeklinde tıpa tıpa uymuştur. Bu sonuç, Ho I'in bazı enerji değ erlerindeki belirsizliğin yüksek olduğu sonucuna varmamıza neden oldu.

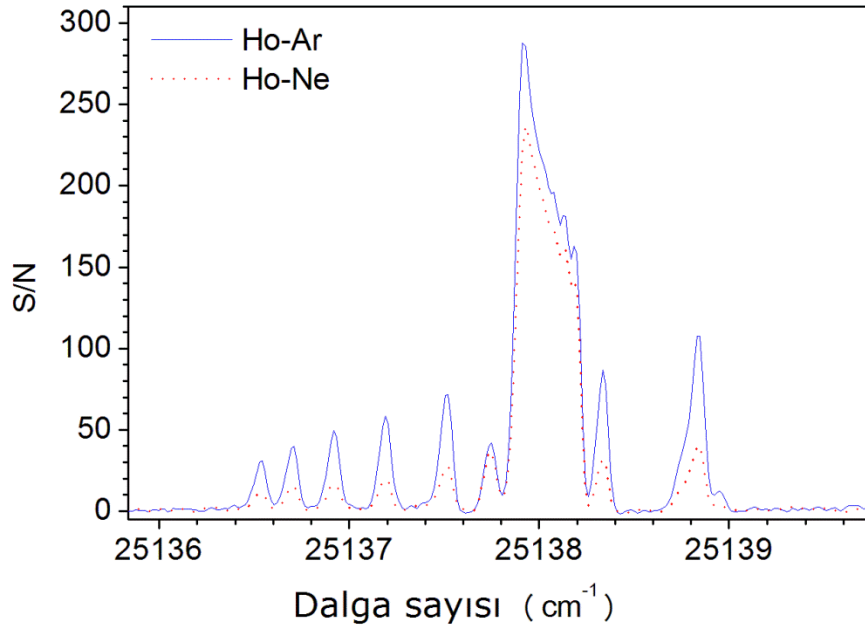
Sınıflandırılan 71 Ho I çizgisine ek olarak, 106 çizgi iyonik Ho  izgisi olarak sınıflandırıldı (97'si Ho II için ve 9'u Ho III için). Detaylar bölüm 4.2'de de verildi. Ho'un spektrumu çok yoğun olduğundan, birçok yerde iki veya daha fazla çizgi kendi çizgi değ eri genişliği içerisinde çakışır. Bu durum blend yada çakışma olarak adlandırıldı. Spektrumda birden fazla çizginin üst üste çakıştığı bir kesit şekil 4.2'de örnek olarak gösterildi. Bu spektrumdan da görüleceği gibi, Ho I, Ho II, Ho III ve Ne I, Ne II, Ar I, Ar II çizgilerinin bu spektrumun içinde olabileceği düşünüldüğünde bunları ayırt etmenin zorluğu anlaşılabilir.



şekil 4.2 : Birden fazla çizginin üst üste bindiği karışık bir spektrum kesiti

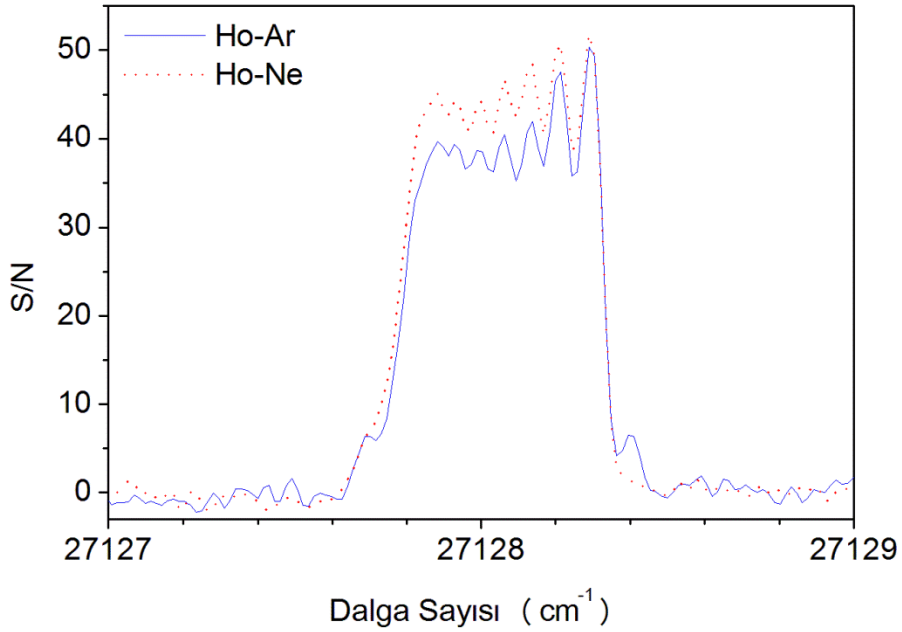
Her iki çizginin blendi için yani üst üste çakışmasına iki örnek şekil 4.3.'te gösterildi. Şekil 4.3.a)'da iki tane çizginin her biri parmak izi yapısından dolayı birbirinden kolayca ayrıştırılarak tanımlanabilir. Oysa Şekil 4.3.b)'deki ayrışmamış iki çizgi, spektrumdaki yapıya bakıldığında ilk bakışta sadece bir geçiş olarak algılanabilir. Ancak Ho-Ar ve Ho-Ne spektrumlarındaki şiddetlere bakıldığında iki geçiş olduğu açıkça anlaşılmaktadır. Spektrumun sağ tarafındaki yapıda Ho-Ar spektrumu ile Ho-Ne spektrumunda şiddet farkı yokken sol taraftaki yapıda her iki spektrumdaki şiddet oranları farklıdır. Buradan iki çizginin çakıştığını çok açık bir şekilde görebiliriz. Bu çizgilerden biri yüksek yoğunluklu olarak Ho-Ar plazma da görünmektedir, diğeri önemli derecede yüksek yoğunluklu Ho-Ne plazmada görünmektedir.

a)



Şekil 4.3: a) Kolaylıkla birbirinden ayırt edilebilen üst üste çakışmış iki çizgiye örnek.

b)



Şekil 4.3: b) Üst üste çakıştığı kolaylıkla ayırt edilemeyen üst üste çakışmış iki çizgiye bir örnek. Bu iki çizgi ancak iki ayrı plazma ortamında ölçüldüğünde çakışma anlaşılabilir.

Eğer referanslarda daha önceden verilen bir çizginin verildiği yerde karışmış başka bir çizgi varsa bu blend çizgiyi ve referansta tanımlanmış çizgiyi ayırt etmek oldukça zordur. Kural olarak bu karışık çizgilerden güçlü çizgi seçildi, ancak birkaç durum için çizginin tanımının referansta verilmesi durumunda bu tanıma uyan aşırı ince yapı spektrumdaki aşırı ince yapı ile çakışıyorsa referansta verilen tanım kabul edildi.

Bu çalışmada 71 adet Ho I, 97 adet Ho II ve 9 adet Ho III çizgisi sınıflandırıldı. Bunun yanında alt ve üst enerji seviyesi tanımlanamamakla birlikte 32 çizgi Ho I ve 39 çizgi Ho II olarak literatürde bu şekilde veriliğinden dolayı tablolarda yer aldı. Bir çizgi hariç referanslarda verilen iyon çizgilerinin tümü onaylandı. Çizgilerin tanımlanmasında aşırı

ince yapının parmak izi olarak kullanılması çizginin alt ve üst enerji seviyelerinden her ikisinin ya da bunlardan en az birinin aşırı ince yapısının bilinmesi durumunda mümkündür. Toplam olarak 248 çizgi atomik ve iyonik çizgi olarak sınıflandırıldı.

4.2 SİNYAL – GÜRÜLTÜ ORANI

Sırasıyla Ho-Ne ve Ho-Ar plazma spektrumlarının karşılaştırılmasıyla her iki spektrumda farklı çizgiler için farklı sinyal- gürültü (S/N) oranı bulundu. Her iki spektrumun şiddeti gürültü seviyesi 1'e indirilerek ayarlandığında, her iki spektrumdaki Ho çizgilerinin S/N oranlarının farklı olduğu görüldü. Örneğin Ho-Ar spektrumunda S/N oranı yüksek olan bir Ho çizgisinin Ho-Ne spektrumuna bakıldığında bu S/N oranı daha az olarak gözlemlendi. Böylece S/N oranları bize spektrumdaki çizgilerin şiddetlerinin karşılaştırılmasında yardımcı olur. Ho-Ar spektrumundaki S/N oranı ile Ho-Ne spektrumundaki S/N oranını karşılaştırmak için aşağıda verilen R sembolü kullanıldı.

$$R := (\text{Ho-Ar spektrumundaki S/N}) / (\text{Ho-Ne spektrumundaki S/N}) \quad (4.2)$$

R değerleri dikkate alındığında atomik ve iyonik Ho çizgilerin arasında önemli bir ayırım bulundu. Sınıflandırılan 71 Ho I çizgisinin hepsi için R'nin en yüksek değeri 1.67 iken en düşük değeri 0.67 dir. Ortalama olarak genel oran 1.15(22)' ye karşılık gelmektedir. Litaratürde verilen 32 Ho I çizgisinin tümünün R değerleri bu aralıkta kalmaktadır.

Sınıflandırılmış Ho II çizgilerin R değerlerinin, minimumu 1.67 ve maksimumu ise 5.50 olup ortalama değeri 3.05(70) dir. Bu değer Ho I çizgilerinde olduğundan önemli derecede yüksektir. Tanımlanamamış birkaç çizgi hariç, Ho II için bu eğilim literatürdeki tüm Ho II olarak sınıflandırılan çizgilerde onaylandı.

Ho III çizgisi olarak sınıflandırılmış dokuz çizgi için R'nin minimum değeri 0.09 ve maksimum değeri 0.40 olup ortalama R değeri 0.23(9) dir. Bu değer Ho I in minimum R değerinden daha düşüktür. Bu çizgilerden R değeri 0.4 olan bir çizgi başka bir çizgi ile çakıştığı için listeden çıkartıldı. Tablodaki değerler bu çizgi çıkartıldıktan sonraki durumdur.

Bütün bu R değerlerinin sonuçları tablo 4.1' de verildi. Bu sonuçlar şu ana kadar yayınlanmamış ve sınıflandırılmamış ilk defa bu çalışmada verilen çizgilerin iyonlaşma

derecelerinin belirlenmesi için kullanıldı. Bunlar atomik Holmiyum Ho I, birincil iyonize Holmiyum Ho II ve ikincil iyonize Ho III tür.

Tablo 4.1: Atomik ve iyonik Ho çizgileri; Ho-Ar spektumdaki S/N ve Ho-Ne spektumdaki S/N arasındaki R ilişkisi

	çizgi sayısı	S/N (Ho-Ar) ve (Ho-Ne) daki R ilişkisi		
		ortalama değer	minimum	maksimum
Ho I sınıflandırıldı	71	1.15(22)	0.67	1.67
Ho I Sınıflandırılmadı, ama literatürden	32 ^a	1.00(23)	0.68	1.43
Ho II sınıflandırıldı	97	3.05(70)	1.67	5.5
Ho II Sınıflandırılmadı, ama literatürden	36 ^b	3.07(74)	1.67	5
Ho III sınıflandırıldı	8 ^a	0.21(06)	0.09	0.26
Ho III Sınıflandırılmadı, ama literatürden	0			

^a, muhtemelen bilinmeyen bir çizgiyle çakışmasından dolayı S/N oran aralığının dışına çıkan bir çizgi hariç tutuldu (tabloda işaretlenen çizgi a)

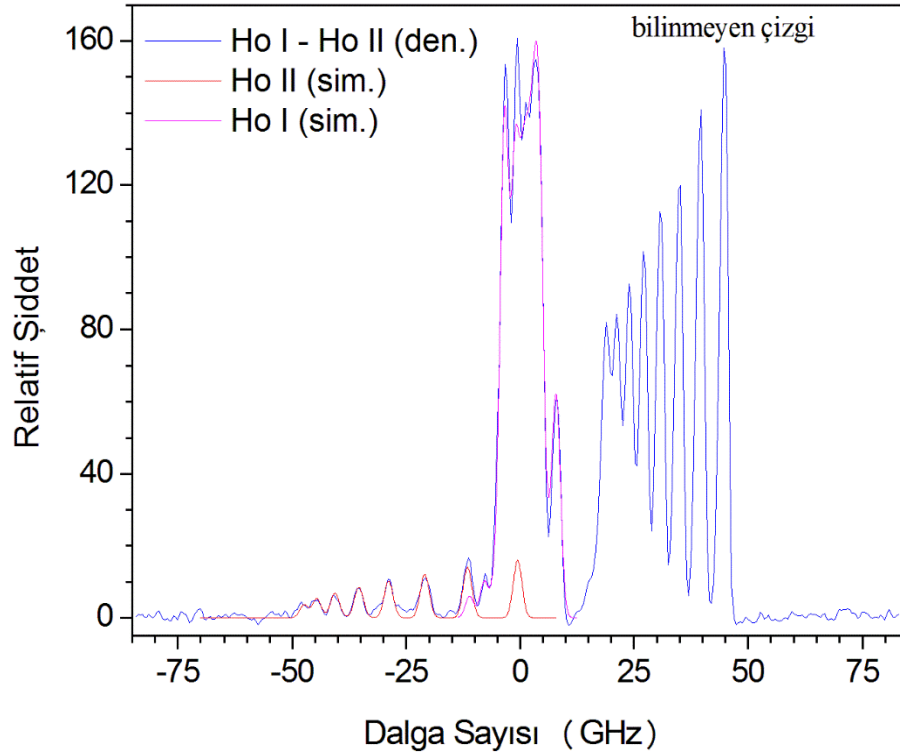
^b üç çizgi S/N oranı çerçeveleri dışında kaldığından hariç tutuldu. Bunlardan bir tanesi literatürde büyük olasılıkla yanlış atanmış çizgidir. Diğer iki çizginin ise bilinmeyen diğer çizgilerle karışmış olduğu belirlendi.

Tablo 4.1'in dışında kalan çizgiler için atomik çizgileri ve iyon çizgilerinin belirlediğimiz R değerlerinin aralıkları aşağıdaki gibidir.

Ho I	$0.8 < R < 1.5$
Ho II	$1.8 < R$
Ho III	$R < 0.3$
Ho I veya Ho II	$1.5 \leq R \leq 1.8$
Ho I veya Ho III	$0.3 \leq R \leq 0.8$

Sınıflandırılmayan toplam 785 çizgi mevcuttur. Bu sınıflandırılmayan çizgilerin yüksek sayısı, hala geniş sayıda enerji seviyelerinin bilinmediğini gösterdi. Bu sınıflandırılmayan çizgilerin arasından oldukça iyi S/N oranına sahip geniş bir aşırı ince yapı dağılımına sahip oldukça iyi ayrılmış çizgiler mevcuttur. Şekil 4.4'te şeklin en sağındaki çizgi, bu çizgilere örnek olarak verildi. Aynı spektrumun sol tarafında alt ve üst

enerji seviyelerinin aşırı ince yapılarının bilinmesi sebebi ile “simüle” edilerek sınıflandırılabilen birbiri ile karışmış iki çizgi daha görülmektedir.



Şekil 4.4: Şeklin sol tarafında iki adet sınıflandırılmış çizgi ile birlikte, oldukça iyi ayrılmış ve S/N oranı yüksek, alt ve üst enerji seviyesi bilinmediği için sınıflandırılamamış bir çizgi.

Sınıflandırılmış Ho I çizgilerinin $\Delta\sigma = \sigma_{vak.} - |E_{\bar{u}} - E_a|$ değerinin ortalaması 0.11cm^{-1} dir. Bu bize sınıflandırmanın doğruluğu hakkında bilgi verir. Spektrumun oldukça iyi simüle edilebilmesine rağmen $\Delta\sigma$ değerinin yüksek oluşu Ho I enerji seviyelerinin hatalarının yüksek olması demektir.

R- oranına göre; 370 çizgi Ho I, 215 çizgi Ho II, olarak tanımlandı. Bunun yanında 67 çizgi “Ho I yada Ho II” olarak 133 çizgide “Ho I yada Ho III” olarak tanımlandırıldı. Bu çalışma spektrumlar iki ayrı asal gaz ile, bir kez Ho-Ar ve bir kez de Ho-Ne plazmasında alındı. Neon çizgileri sadece Ho-Ne spektrumunda, Argon çizgileri sadece Ho-Ar

spektrumunda gözleendiğinden her iki spektrum çakıştırılarak incelendiğinde her iki spektrumda da gözlenen çizgiler sadece Holmiyum çizgileri olduğundan, Holmiyum atom ve iyon çizgilerini çok dar ve ayrışmamış olsalar bile diğerklerinden ayırt etmek ve tanımlamak bu yöntemle mümkündür.

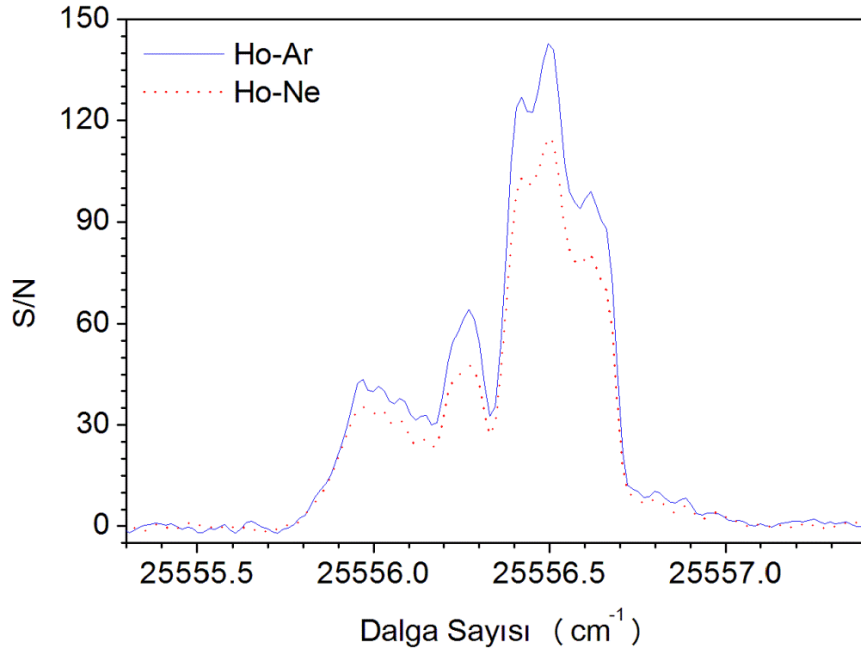
4.3 İKİNCİ DERECEDEDEN ETKİ (SECOND ORDER EFFECT)

Aşırı ince yapının etkileşiminden kaynaklanan enerji ayrılması, genelde ince yapı seviyelerinin enerji yarılmalarından çok daha küçüktür. İnce ve aşırı ince yapının enerjilerinin birbirini etkilemediğini farz edersek, aşırı ince yapı ayrılması genellikle pertürbasyon teoremi kullanılarak hesaplanabilir. Ancak bu yaklaşım birbirine çok yakın olan ince yapı seviyeleri için geçerliliğini kaybeder. Eğer bu birbirine yakın olan ince yapı enerji seviyelerine ait aşırı ince yapı seviyelerinin toplam açısal momentum kuantum sayıları (F) aynı değere sahipse her iki yakın uzanan ince yapı seviyesinin aşırı ince yapı seviyeleri birbirlerini karşılıklı etkiler. Bu durumlarda, aşırı ince yapı etkileşim enerjisi manyetik dipol ve elektrik kuadrapol için aşırı ince yapı ayrılmasının standart formülü kullanılarak hesaplanamaz. İkinci dereceden etki dikkate alınmalıdır. Eğer bir spektral geçişin alt ve üst enerji seviyelerinden biri bu şekilde pertürbe olmuş ise bu ikinci dereceden etki olarak adlandırılır ve çizginin aşırı ince yapısı klasifikasyon programı ile simüle edilemez.

Bütün lantanidler gibi Holmiyum elementi çok yoğun spektruma sahiptir ve ince yapı enerjileri birbirine çok yakın olan ikili enerji seviyelerine sahiptir. Birbirine enerjileri çok yakın olan bu enerji çiftlerinin listesi tablo 4.2 de verildi. “Second order effect” ten (ikinci dereceden etki) etkilenen iki çizgiye örnek Şekil 4.5’te verildi. Burada çizginin hem Ar hem de Ne taşıyıcı gazı ile alınmış spektrumu görölmektedir.

Tablo 4.2: İkinci derece etkisiyle etkilenmiş olabilecek, Ho I seviyeleri listesi.

E (cm ⁻¹)	J	parity	Δ E (cm ⁻¹)
18756.22	15/2	even	1.65
18757.87	9/2		
22413.14	11/2	even	0.9
22414.04	13/2		
29207.00	11/2	odd	1.43
29208.43	11/2		
30049.10	15/2	odd	0.61
30049.71	19/2		
33983.4	17/2	odd	0.28
33983.68	15/2		



Şekil 4.5: İki seviyeye geçiş için örnek 33983.4 cm⁻¹, $J = 17/2$ ve 33983.68 cm⁻¹, $J = 15/2$, ikinci derece etkisini gösteren aşırı ince yapı. Her iki geçiş aynı alt seviyeye sahip 8427.11 cm⁻¹, $J = 15/2$

Toplamda tüm atom ve iyon çizgilerini içeren 1033 Ho çizgisi bulundu. Bu çizgilerin dağılımı aşağıdaki gibidir.

Sınıflandırılan Çizgiler	Sayı
Sınıflandırılan Ho I	71
Referanslardan sınıflandırılan Ho I	32
Sınıflandırılan Ho II	97
Referanslarda sınıflandırılan Ho II	39
Sınıflandırılan Ho III	9
Toplam sınıflandırılan	248

Yukarıda verilen çizgiler dışındaki çizgiler R değerine bakılarak atandı. R değerine göre atanan çizginin nasıl karar verildiği yukarıda verilmişti.

R değerlerine bakılarak atanan çizgiler	Sayı
Ho I	370
Ho II	215
Ho III	0
Ho I veya Ho II	67
Ho I veya Ho III	133
R değerleri dikkate alınarak atanan	785

Toplamda $248 + 785 = 1033$ çizgi yukarıda verilen tanımlarıyla atandı.

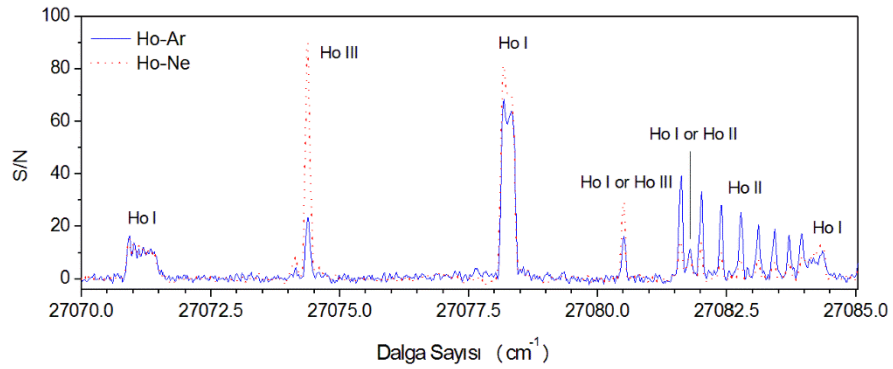
Tablo 4.3 te tablo 4.1’de verildiği şekliyle HoI’a atanan ve sınıflandırılan bütün çizgilerin listesi verildi. Bu tabloda çizgi desen genişliği (W), aşırı ince yapı bileşenlerinin genişliği (ΔW), Neon ile alınan Holmiyum spektrumunun S/N oranı, R=Argon ile alınan Holmiyum spektrumunun S/N oranı / Neon ile alınan Holmiyum spektrumunun S/N oranı, çizgi daha önceki referanslarda verilmiş ise çizginin şiddeti, havadaki dalga boyu λ_{hava} , vakumdaki dalga sayısı σ_{vak} verildi. Havadaki dalga boyu vakumda ölçülen dalga sayılarından hesaplandı. Sütun 7’de şiddet olmadan verilen bütün çizgiler şimdiye kadar

yayınlanmamış ilk defa bu çalışmada verilen çizgilerdir. Eğer iki çizgi kendi çizgi desenlerinin genişliği içerisinde çakışıyorsa, (b) blend olarak yorum sütununda verildi.

Sınıflandırılan çizgiler için, bu sınıflandırma 11'inci sütundan 16'ıncı sütuna kadar verildi. Çizginin üst enerji seviyesi ile alt enerji seviyesinin farkı $\sigma_{\text{hesap.}} = |E_{\text{ü}} - E_{\text{a}}|$ olarak 11. Sütunda verildi. 12. sütunda Ho çizgilerinin sınıflandırılabilmesi için gerekli olan $\Delta\sigma$ verildi. $\Delta\sigma$, deneysel dalga sayısı σ_{vak} 'dan yukarıda tanımlanan $\sigma_{\text{hesap.}}$ 'ın farkının çıkartılması ile elde edildi. Bu fark denklem 4.1'de ($\Delta\sigma = \sigma_{\text{vak}} - |E_{\text{ü}} - E_{\text{a}}|$) bize deneysel bulunan dalga sayısı ile teorik hesaplanan dalga arasındaki fark verir ve bu farkın değerine göre spektral çizgi sınıflandırılabilir. Daha sonra sırası ile çizginin alt seviyesinin enerjisi ve J değeri, üst seviyesinin enerjisi ve J değeri verildi. Son kolonda verilen npt değeri ise çizginin bulunduğu bölgede klasifikasyon programının verdiği mümkün geçişlerin sayısıdır.

Aynı sonuçlar Ho II için tablo 4.4'te Ho III için de tablo 4.5'te verildi. R değerlerine bakılarak Ho I, Ho II, Ho I veya Ho II, Ho I veya Ho III olarak tanımlanan tüm çizgiler Ek I 'deki tablolarda verildi.

Şekil 4.6'da Fourier transform spektroskopi metodu ile Argon ve Neon gazı ile alınan spektrum üst üste verildi. Bu spektrumda Ho I, Ho II ve Ho III çizgilerini içeren bir kesittir.

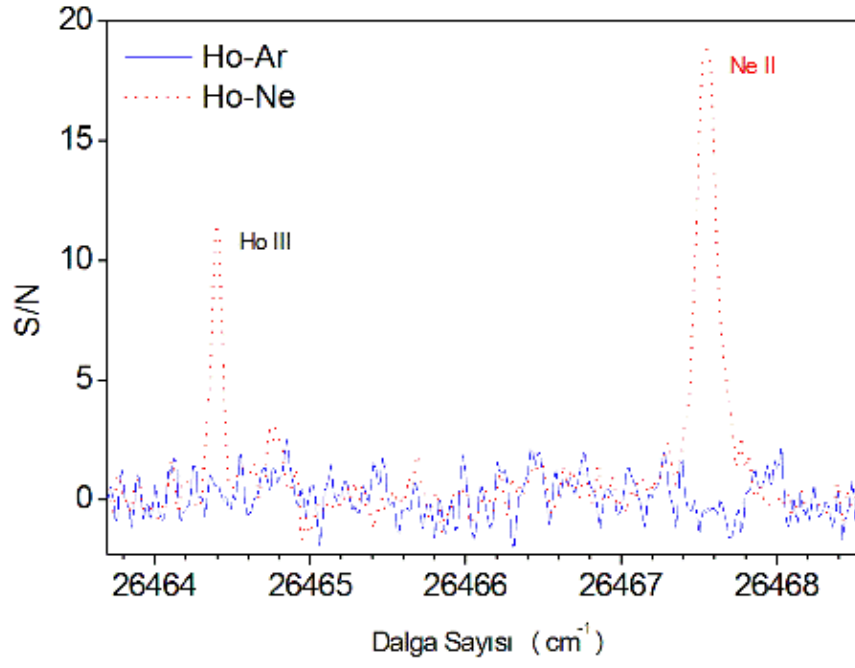


Şekil 4.6: Fourier transform spektroskopi metodu ile Argon ve Neon gazı ile alınan spektrumdan Ho III çizgisi içeren bir kesit.

Ho III olarak sınıflandırılan çizgilerin çoğunluğu Şekil 4.7 a) da görüldüğü gibi çok dar çizgilerdir, çünkü aşırı ince yapıları çok küçüktür. Bunun sebebi spektral çizgileri içerdiği ince yapı enerjilerin konfigürasyonlarının açık kabukta s elektronu bulunmamasıdır.

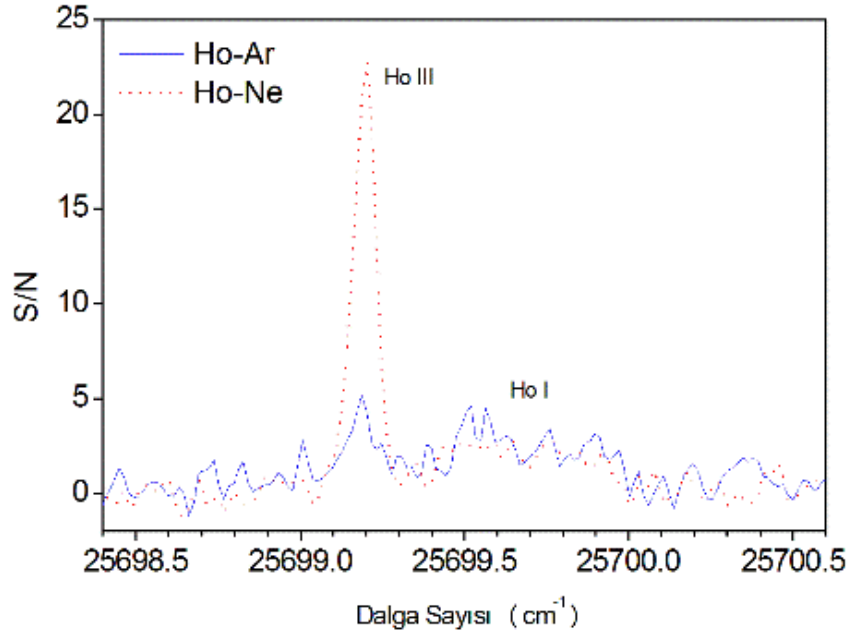
Çizgi genişlikleri dar olan Ho çizgilerini asal gaz çizgilerinden ayırt etmek mümkün değildir. Bu ayırım ancak Ho-Ar ve Ho-Ne plazmalarından ayrı ayrı alınan iki spektrumun üst üste çakıştırılması ile yapılabilir. Fakat çok dar olan Ho III çizgilerinin Ne asal gazı ile alınan spektrumda S/N değerleri küçüktür ve eğer $R < 0.3$ ise bu çizgi Ar ile alınan spektrumda gürültü altında kalarak kaybolabilir. Bu durumdaki çizginin Neon çizgisi mi yoksa Ho III çizgisi mi olduğuna karar vermek güçleşir. Buna örnek şekil 4.7.a) da verildi. Ho III çizgisi şekil 4.7.a)'da Ne ile alınan spektrumda gözlenirken, şekil 4.7 b)'de Ar ile alınan spektrumda gözlenemedi.

a)



Şekil 4.7: a) Dar bir Ne II çizgisi ile çok küçük aşırı ince yapı gösteren bir Ho III çizgisi.

b)



Şekil 4.7: b) Ho-Ar spektrumunda gözlenmeyip Ho-Ne spektrumunda gözlenen Ho III çizgisi.

Tablo4.3: Ho I olarak tanımlanan bütün çizgilerin listesi, W; çizgi desen genişliği, n_l; yeni spektral çizgi, nc; yeni sınıflandırma, nlc; yeni spektral çizgi ve yeni sınıflandırma, S/N; spektral geçişin FT’de gözlenen şiddet/gürültü oranı, R; S/N Ar/S/N Ne, λ_{hava} ; havadaki ağırlık merkezi dalgaboyları, σ ; vakumdaki dalga sayısı, $\Delta\sigma$; $\Delta\sigma = \sigma_{vak} - |E_{\bar{u}} - E_a|$, enerji seviyesinin J değeri, npt; mümkün çizgi sayısı, λ_{hava} hesap; kalibrasyon sonucunda hesaplanan dalgaboyu, σ hesap; kalibrasyon sonucunda hesaplanan dalga sayısı

W (mK)	ΔW_{hfs} (mK)	Yorum	S/N (Ar)	R	Şiddet	Ref.	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹) vak.	λ_{hava} (nm) hesaplanan	σ (cm ⁻¹) hesaplanan	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	2*J _a	$E_{üst}$ (cm ⁻¹)	2*J _{üst}	npt
909?	161	nlc	70	1.56			323.1752	30934.04	323.1750	30934.06	-0.0975	12344.55	13	43278.51	15	1
1002+	930	nlc	5	1			340.2316	29383.31	340.2314	29383.33	0.0205	8378.91	17	37762.26	17	1
981?	1027	nlc	2	0.67			340.7916	29335.03	340.7914	29335.05	0.1025	8427.11	15	37762.26	17	1
626?	-1646	nlc	13	1			341.5120	29273.15	341.5118	29273.17	0.1516	8378.91	17	37652.23	17	1
736?	-408	nlc	4	0.8			341.8277	29246.12	341.8275	29246.13	0.2066	11530.56	17	40776.90	17	1
257?	-305	nlc	15	0.68			341.8487	29244.32	341.8485	29244.34	-0.1574	8378.91	17	37623.09	15	1
632?	506	nlc	8	0.89			342.0755	29224.93	342.0753	29224.95	0.1716	8427.11	15	37652.23	17	1
213?	-105	nlc	33	0.8			342.4132	29196.11	342.4130	29196.13	-0.1464	8427.11	15	37623.09	15	1
643?	-531	nlc	10	0.77			343.6982	29086.96	343.6980	29086.97	0.1567	11689.77	19	40776.90	17	1
807?			19	0.79	40	61	344.9321	28982.92	344.9318	28982.94						
436?	-514		9	1.5		25	345.3687	28946.27	345.3685	28946.29	0.1128	5419.70	13	34366.10	11	1
560?	-336	nldb	31	1.41			350.9310	28487.56	350.9298	28487.58	-0.1201	5419.70	13	33907.40	13	1
154?	-137		142	0.75	90	61	351.0712	28476.11	351.0710	28476.12	-0.1129	9147.08	13	37623.09	15	1
1105+	963	nlc	39	1.08			353.2723	28298.69	353.2721	28298.70	0.1952	8378.91	17	36677.81	19	1
1092?	867	nlc	5	1			355.4739	28123.43	355.4737	28123.44	0.2263	9741.28	19	37864.95	17	1
585?			707	1.29	90	61	357.9150	27931.62	357.9148	27931.64						
171?	75	nlc	27	0.84			358.4558	27889.48	358.4556	27889.50	0.1914	12344.55	13	40234.24	15	1
590?	-354		43	1.3		25	358.9575	27850.50	358.9573	27850.52	0.1605	8378.91	17	36229.59	19	1
695?			246	1	40	61	359.9516	27773.56	359.9518	27773.58						
748+		b ^a	16	2.67	50	61	361.8444	27628.34	361.8438	27628.36						
296?			58	0.82	200	15	363.0917	27533.38	363.0918	27533.40						
257?	249		8	1.33		25	363.5599	27497.95	363.5597	27497.96	0.1077	5419.70	13	32917.77	11	1
143?			9	1.29		28	364.6292	27417.31	364.6290	27417.32						
240?	-566	nlc	4	1.33			364.7767	27406.22	364.7765	27406.24	0.0817	8605.16	11	36011.48	11	1
544?			240	0.79	200	61	366.2297	27297.47	366.2298	27297.49						
460?			259	0.84	50	61	366.3000	27292.25	366.2998	27292.27						
483?	253		230	0.9	80	61	366.6656	27265.04	366.6654	27265.06	0.1328	8427.11	15	35692.30	17	1

Tablo4.3 (devamı):

W (mK)	ΔW_{hfs} (mK)	Yorum	S/N (Ar)	R	Şiddet	Ref.	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹) vak.	λ_{hava} (nm) hesaplanan	σ (cm ⁻¹) hesaplanan	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	2^*J_a	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	$2^*J_{\text{üst}}$	npt
380?			461	0.85	150	61	366.7990	27255.12	366.7988	27255.14						
580?			250	0.81	50	61	366.9480	27244.06	366.9478	27244.08						
482?	-199		29	1.04		25	367.2659	27220.48	367.2657	27220.49	0.0969	8378.91	17	35599.50	17	1
510?	-272		202	1.08	80	61	367.9177	27172.25	367.9175	27172.27	0.1189	8427.11	15	35599.50	17	1
901-			78	0.78	80	61	367.9710	27168.32	367.9708	27168.34						
210?	-120		23	1.44	80	61	368.2550	27147.37	368.2548	27147.39	-0.0271	9741.28	19	36888.64	19	1
958+	853	nlc	21	1.4			368.3387	27141.20	368.3385	27141.22	0.0649	0.00	15	27141.28	13	1
213?			125	0.72	70	61	369.0646	27087.79	369.0648	27087.81						
352?			67	0.82	40	61	369.1952	27078.25	369.1948	27078.27						
730?			76	1	50	61	370.0040	27019.04	370.0038	27019.06						
613?			60	0.79	130	15	370.1252	27010.21	370.1248	27010.23						
372?	-104	nlc	28	1.27			370.1630	27007.44	370.1628	27007.46	0.064	8427.11	15	35434.63	13	1
495?	-325	nlc	24	1.33			370.4556	26986.11	370.4554	26986.13	0.165	13082.93	11	40069.22	13	1
1636+	1339	nlc	5	1.67			370.8456	26957.723	370.8454	26957.75	-0.046	0.00	15	26957.70	15	2
406?			130	0.71	40	61	370.9735	26948.75	370.9738	26948.42						
471-			86	1.37	50	61	371.3203	26925.54	371.2888	26925.56						
750?			167	0.93	50	61	372.0711	26868.95	372.0708	26868.97						
510?			141	0.72	120	61	373.1428	26791.76	373.1428	26791.78						
481?			94	0.95	40	61	373.2135	26786.66	373.2138	26786.68						
440?			184	0.68	90	61	373.6340	26756.55	373.6338	26756.57						
380?			65	0.82	40	61	376.9083	26524.14	376.9078	26524.16						
696?	-691		5	1		25	377.1164	26509.48	377.1162	26509.50	0.0543	8378.91	17	34888.46	15	1
519?			50	1.14		25	377.4234	26487.94	377.4228	26487.96						
618?	-483		69	1.21		25	377.4881	26483.38	377.4879	26483.39	0.1863	5419.70	13	31903.28	11	1
554?	-410		44	1.22		25	377.6176	26474.30	377.6174	26474.31	0.0383	8378.91	17	34853.26	15	1
841?	-389		11	1		25	377.8033	26461.28	377.8031	26461.30	0.0503	8427.11	15	34888.46	15	1
510?	-350		12	1.33		25	378.3069	26426.35	378.3061	26426.12	0.0334	8427.11	15	34853.26	15	1
467?	-362	nlc	27	1.17			378.7522	26394.99	378.7520	26395.01	-0.0166	0.00	15	26394.99	17	1
695-	-550		17	1.21		25	379.1551	26366.94	379.1549	26366.96	0.0704	9147.08	13	35514.11	11	1
730+	498		13	1.08		25	379.2830	26358.05	379.2828	26358.07	0.1324	8378.91	17	34737.11	19	1

Tablo4.3 (devamı):

W (mK)	ΔW_{hfs} (mK)	Yorum	S/N (Ar)	R	Şiddet	Ref.	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹) vak.	λ_{hava} (nm) hesaplanan	σ (cm ⁻¹) hesaplanan	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E _{alt} (cm ⁻¹)	2*J _a	E _{üst} (cm ⁻¹)	2*J _{üst}	npt
525?			10	1.43		28	380.4278	26278.74	380.4276	26278.75						
131?	-50	nlc	30	1.11			381.1830	26226.67	381.1828	26226.69	-0.2395	8427.11	15	34653.56	13	1
308?	-241		5	0.71	300	15	382.1685	26159.04	382.1683	26159.06	-0.0505	8378.91	17	34537.92	17	1
430?	-258		10	1.11	40	61	382.9250	26107.37	382.9248	26107.38	0.0376	8427.11	15	34534.53	13	1
472?	49	nc	68	1	30	61	384.9852	25967.66	384.9850	25967.68	0.0146	0.00	15	25967.69	15	2
504?	-259		53	1.13	40	61	385.7695	25914.87	385.7693	25914.88	0.1177	8378.91	17	34293.91	17	1
785+	1110	nlc	6	1.5			386.0096	25898.75	386.0094	25898.76	0.2367	8378.91	17	34277.91	19	1
738-	815	nlc	5	1.25			386.0314	25897.29	386.0312	25897.30	-0.1813	12344.55	13	38241.67	13	1
248?	-182	nc	90	1.29	60	61	386.2602	25881.96	386.2598	25881.97	0.0657	8427.11	15	34309.15	13	1
709?	-310		8	1.14		25	386.4888	25866.64	386.4886	25866.65	0.1477	8427.11	15	34293.91	17	1
221?			12	1		25	386.6195	25857.89	386.6193	25857.91						
700?			23	1.28		28	387.3140	25811.53	387.3138	25811.55						
366?	-198	nlc	20	1.11			387.3637	25808.22	387.3635	25808.24	-0.1647	10695.75	9	36504.15	7	1
531?	-344		11	1.38		25	388.1092	25758.64	388.1090	25758.66	0.0508	8427.11	15	34185.82	13	1
510?	-310	nlc	2	1			388.3676	25741.51	388.3674	25741.52	-0.1412	9147.08	13	34888.46	15	1
482?			117	1.11	60	61	389.0427	25696.82	389.0428	25696.84						
993+	880	nlc	58	1.38			389.9968	25633.97	389.9966	25633.99	0.1309	8378.91	17	34013.03	19	1
735?	-215	b	314	1.24	320	15	390.4418	25604.76	390.4416	25604.77	-0.0041	8378.91	17	33983.68	15	?
584?	-309	nlcb	28	1.33			390.4481	25604.34	390.4479	25604.36	0.1299	8378.91	17	33983.4	17	1
929+	811		124	1.28		25	390.9563	25571.06	390.9561	25571.08	0.0719	0.00	15	25571.15	13	2
569?	-427	nlc	13	1.44			391.0164	25567.13	391.0162	25567.15	0.0619	9147.08	13	34714.29	11	1
464+	376		20	0.95		25	391.0303	25566.22	391.0301	25566.24	0.0909	11322.31	21	36888.64	19	1
340?	-253	ncb	147	1.28	40	61	391.1789	25556.51	391.1787	25556.53	0.0429	8427.11	15	33983.68	15	2
496+	363	nlcb	58	1.32			391.1828	25556.26	391.1826	25556.27	0.0169	8427.11	15	33983.40	17	2
670?	-54		285	1.11	40	61	391.9432	25506.68	391.9430	25506.69	-0.2131	9147.08	13	34653.56	13	1
570?	369	nlc	35	1.17			393.0125	25437.28	393.0123	25437.30	0.054	9147.08	13	34584.43	13	1
587?	-188		10	1.11		25	393.7851	25387.37	393.7849	25387.39	0.06	9147.08	13	34534.53	13	1
561?	-136		98	1.26		28	393.8790	25381.32	393.8788	25381.34	0.212	8605.16	11	33986.71	11	1
747?			156	1.31	25	61	393.8858	25380.87	393.8858	25380.89						
798+	537		17	1		25	394.2420	25357.95	394.2418	25357.97	0.112	11530.56	17	36888.64	19	1

Tablo4.3 (devamı):

W (mK)	ΔW_{hfs} (mK)	Yorum	S/N (Ar)	R	Şiddet	Ref.	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹) vak.	λ_{hava} (nm) hesaplanan	σ (cm ⁻¹) hesaplanan	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	$2*J_a$	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	$2*J_{\text{üst}}$	npt
392?			220	1.29	180	15	394.2551	25357.12	394.2548	25357.14						
244?	-122		81	1.21		25	394.9021	25315.57	394.9019	25315.58	-0.1451	10695.75	9	36011.48	11	1
404?	311	nlc	12	0.8			394.9389	25313.21	394.9387	25313.22	-0.0329	12339.04	15	37652.23	17	1
429?	-251		189	1.17	25	61	395.0519	25305.97	395.0517	25305.99	0.1341	10695.75	9	36001.87	7	1
442?	-115		118	1.37		25	395.1127	25302.07	395.1125	25302.09	0.1511	8605.16	11	33907.40	13	1
632-	-447		1770	1.52	70	61	395.5708	25272.77	395.5706	25272.79	-0.1579	0.00	15	25272.63	15	1
553?	485	nlcb	23	1			396.7325	25198.77	396.7323	25198.79	0.0841	11689.77	19	36888.64	19	2
1170+	989	nlc	13	1			397.5485	25147.05	397.5482	25147.06	0.1852	11530.56	17	36677.81	19	1
247?			710	1.21	25	61	397.5880	25144.55	397.5877	25144.57						
563?		b	288	1.22	40	61	397.6907	25138.04	397.6907	25138.06						
265?	-139	nlc	5	1			398.2336	25103.79	398.2333	25103.80	0.1262	15130.31	17	40234.24	15	1
781+	779	nlc	7	1.4			398.5025	25086.85	398.5022	25086.86	0.1152	12339.04	15	37426.02	17	1
508?	-262		161	1.38		25	399.2698	25038.64	399.2695	25038.65	0.0852	9147.08	13	34185.82	13	1
569-	-454		1290	1.18		25	399.8265	25003.78	399.8262	25003.79	0.1062	5419.70	13	30423.60	11	1
875+	784		208	1.18	40	61	399.9520	24995.93	399.9517	24995.95	-0.1177	9741.28	19	34737.11	19	1
690?			384	1.14	380	15	399.9588	24995.51	399.9585	24995.52						

Tablo 4.4: Ho II olarak tanımlanan bütün çizgilerin listesi, W; çizgi desen genişliği, nl; yeni spektral çizgi, nc; yeni sınıflandırma, nlc; yeni spektral çizgi ve yeni sınıflandırma, S/N; spektral geçişin FT’de gözlenen şiddet/gürültü oranı, R; S/N Ne/S/N Ar, λ_{hava} ; havadaki ağırlık merkezi dagaboyuları, σ ; vakumdaki dalga sayısı, $\Delta\sigma$; $\Delta\sigma = \sigma_{vak} - |E_{\bar{u}} - E_a|$, enerji seviyesinin J değeri, npt; mümkün çizgi sayısı, λ_{hava} hesap; kalibrasyon sonucunda hesaplanan dalgaboyu, σ hesap; kalibrasyon sonucunda hesaplanan dalga sayısı

W (mK)	ΔW_{hfs} (mK)	Yorum	S/N (Ne)	R	Şid.	Ref.	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E _{alt} (cm ⁻¹)	J _{alt}	E _{üst} (cm ⁻¹)	J _{üs} t	npt
1559+	1427		6	3.17	28	27	328.1986	30461.05	328.1984	30460.60	0.0038	637.753	7	31098.354	6	1
601?			4	1.75	25	61	328.8454	30400.67	328.8452	30400.69						
1467+	1354		2	3	10	27	329.0980	30377.33	329.0978	30377.35	-0.0021	637.753	7	31015.105	6	1
1913+	1720		3	2.67	9	27	330.5154	30247.07	330.5152	30247.09	-0.0041	637.753	7	30884.835	7	1
300?			1	3	200	15	333.1943	30003.89	333.1938	30003.93						
799+	1364		1	4	2	27	333.6317	29964.55	333.6315	29964.57	-0.0289	637.753	7	30602.296	6	1
1535+	1403		9	2.67	24	27	333.7230	29956.36	333.7228	29956.37	0.0131	637.753	7	30594.14	6	1
2125-	-1717		3	3.33	7	27	333.8835	29941.96	333.8833	29941.97	0.0152	5617.4509	7	35559.44	8	1
2012-	-1867		6	3.83	19	27	334.3569	29899.56	334.3567	29899.58	-0.0048	0.0000	8	29899.577	7	1
670?			3	2	200	15	334.4470	29891.51	334.4468	29891.53						
392?			3	3.33	360	15	335.0465	29838.03	335.0463	29838.04						
979?			2	3	320	15	335.2082	29823.63	335.2080	29823.65						
2249-	-2097		7	2.71	17	27	335.3489	29811.12	335.3487	29811.14	-0.0258	0.0000	8	29811.113	7	1
1400?			2	3	320	15	335.4548	29801.71	335.4546	29801.73						
771?		b	1	5	320	15	335.7895	29772.01	335.7893	29772.02						
1095+			2	3.5	320	15	336.4254	29715.73	336.4252	29715.75						
1100+			3	1.67	290	15	337.0859	29657.51	337.0857	29657.53						
975?			2	2.5	230	15	337.4099	29629.03	337.4097	29629.05						
1470+	1277		2	2	3	27	337.4348	29626.84	337.4346	29626.86	-0.0027	8850.552	5	38477.412	5	1
1488+	1343		1	5	3	27	338.9533	29494.12	338.9531	29494.14	0.0192	10838.856	4	40333.015	5	1
1700+	1641		3	2.67	6	27	339.0709	29483.89	339.0707	29483.91	0.0004	8850.552	5	38334.463	6	1
1998+	1837	nlc	2	4			339.2124	29471.59	339.2122	29471.61	-0.0078	10838.856	4	40310.46	4	1
1787-	-1658		2	3	6	27	339.4595	29450.14	339.4593	29450.16	0.0065	5617.4509	7	35067.617	6	1
1696-	-1547		52	2.63	98	27	339.8941	29412.49	339.8939	29412.50	0.0015	0.0000	8	29412.506	8	1
1360-	-1359		2	3.5	4	27	340.8188	29332.69	340.8186	29332.71	0.0029	9001.7536	6	38334.463	6	1
1953-	-1826		3	2.33	5	27	340.9043	29325.33	340.9041	29325.35	-0.0015	0.0000	8	29325.348	7	1

Tablo 4.4 (devamı):

W (mK)	ΔW_{hfs} (mK)	Yorum	S/N (Ne)	R	Şid.	Ref.	λ_{hava} (nm)	σ (cm^{-1})	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm^{-1}) hesap.	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	E_{alt} (cm^{-1})	J_{alt}	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$J_{\text{üs}}$ _t	npt
1702-			12	3.25	50	61	341.0211	29315.29	341.0209	29315.31						
1753-	-1544		6	3	13	27	341.0633	29311.66	341.0631	29311.68	0.0016	5617.4509	7	34929.131	6	1
1680-	-1567		11	3.36	38	27	341.4878	29275.22	341.4876	29275.24	-0.0034	0.0000	8	29275.239	8	1
1362+	1216		38	2.74	84	27	341.6445	29261.80	341.6443	29261.82	0.0086	637.753	7	29899.577	7	1
1486+	1383		6	3.17	20	27	342.1602	29217.70	342.1600	29217.71	0.0023	5849.9003	6	35067.617	6	1
1679-	-1531		12	2.92	38	27	342.5321	29185.97	342.5319	29185.99	0.0027	5617.4509	7	34803.446	8	1
1192+	986		3	2.33	5	27	342.6805	29173.34	342.6803	29173.35	0.0066	637.753	7	29811.113	7	1
1676-	-1494		9	3.33	31	27	342.8144	29161.94	342.8142	29161.96	0.0047	5617.4509	7	34779.415	7	1
1275-	-1092		4	3.25	10	27	342.9168	29153.23	342.9166	29153.25	0.0087	5617.4509	7	34770.711	6	1
1706-	-1617		3	2.67	6	27	343.2084	29128.46	343.2082	29128.48	-0.0016	11204.534	5	40333.015	5	1
1356-	-1123		2	2.5	3	27	343.4744	29105.91	343.4742	29105.93	0.0005	11204.534	5	40310.460	4	1
1446+	1498		2	2.5	4	27	343.7899	29079.20	343.7897	29079.22	0.0154	5849.9003	6	34929.131	6	1
1316+	1200		38	3.21	74	27	345.3109	28951.11	345.3107	28951.13	0.0018	637.753	7	29588.887	6	1
1658+	1547		5	4.2	17	27	345.5689	28929.50	345.5687	28929.52	-0.0035	5849.9003	6	34779.415	7	1
1624-	-1488		112	2.03	155	27	345.6013	28926.79	345.6011	28926.81	0.0068	0.0000	8	28926.813	9	1
1418+	1302		9	3.78	29	27	346.1935	28877.31	346.1933	28877.33	-0.0035	5849.9003	6	34727.223	5	1
1400?			3	4	360	15	346.7072	28834.52	346.7068	28834.56						
1600+	1499		2	2	3	27	347.0744	28804.02	347.0742	28804.04	-0.0364	5849.9003	6	34653.899	5	1
1630-		b	7	3.14	50	61	347.3894	28777.90	347.3888	28777.95						
1656+	1536		42	2.69	80	27	347.4277	28774.73	347.4275	28774.75	0.0079	637.753	7	29412.506	8	1
1375+	1256		58	2.88	109	27	348.4828	28687.61	348.4826	28687.63	-0.0311	637.753	7	29325.348	7	1
1453+	1314		4	4.25	10	27	348.9574	28648.59	348.9572	28648.61	0.008	8850.552	5	37499.171	5	1
2198+	1516		8	2.5	7	27	349.0929	28637.47	349.0927	28637.49	-0.005	637.753	7	29275.239	8	1
1303+	1202		7	2.71	13	27	349.3088	28619.77	349.3086	28619.79	0.0047	5849.9003	6	34469.697	5	1
1694+			19	3.58	150	61	349.4783	28605.89	349.4781	28605.91						
1723-		b	7	3.71	50	61	349.8898	28572.25	349.8898	28572.26						
1585-			4	4.5	25	61	350.6938	28506.74	350.6936	28506.77						
1000-		b	5	3.2	320	15	350.9365	28487.03	350.9368	28487.01						
1707+	1572		58	3.07	91	27	351.5570	28436.76	351.5568	28436.77	0.0041	637.753	7	29074.531	6	2
2348-			3	2.67	25	61	351.9888	28401.87	351.9888	28401.88						
1998-	-1848		2	2.5	3	27	353.6892	28265.33	353.6890	28265.35	0.0043	5617.4509	7	33882.804	6	1

Tablo 4.4 (devamı):

W (mK)	ΔW_{hfs} (mK)	Yorum	S/N (Ne)	R	Şid.	Ref.	λ_{hava} (nm)	σ (cm^{-1})	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm^{-1}) hesap.	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	E_{alt} (cm^{-1})	J_{alt}	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$J_{\text{üs}}$ _t	npt
671?	519		7	2.57	8	27	353.8909	28249.22	353.8907	28249.24	-0.0221	5849.9003	6	34099.118	6	1
1308+	1146		10	3.6	17	27	354.0763	28234.43	354.0761	28234.45	-0.0001	5849.9003	6	34084.349	5	1
795+	655		39	3.36	56	27	354.6015	28192.61	354.6013	28192.63	0.0022	637.753	7	28830.387	6	1
822+	1403		18	3.33	29	27	355.6748	28107.54	355.6746	28107.56	0.005	5849.9003	6	33957.464	5	1
639+			8	3.38	25	61	356.0146	28080.71	356.0144	28080.73						
1535+	1428		12	2.08	8	27	356.3495	28054.32	356.3493	28054.34	0.0043	637.753	7	28692.1	6	1
1368+	1194		4	3	5	27	356.6220	28032.89	356.6218	28032.91	-0.002	5849.9003	6	33882.804	6	1
1448+			12	2.5	25	61	357.3276	27977.53	357.3274	27977.55						
1479-			9	2.56	40	61	357.4811	27965.52	357.4809	27965.54						
569?	463		13	2.77	14	27	358.0755	27919.10	358.0753	27919.12	-0.0009	5849.9003	6	33769.018	5	1
436?		b	110	0.8	25	61	358.1849	27910.57	358.1847	27910.59						
1600?	-1672	b	1	3	1	27	358.8668	27857.54	358.8678	27857.47	0.0078	9001.7536	6	36859.229	5	2
1720-			20	2.5	40	61	359.2243	27829.82	359.2241	27829.84						
2053+	1988		48	3.19	57	27	359.8815	27778.99	359.8813	27779.01	0.0035	637.753	7	28416.771	6	1
1420-		b	7	3.57	30	61	360.0975	27762.34	360.0973	27762.35						
2010+	1871		4	4	5	27	360.2596	27749.84	360.2594	27749.86	0.0065	8850.552	5	36600.42	5	1
1187-			6	3	20	61	361.3296	27667.67	361.3294	27667.69						
1972-	-1839		7	2.14	7	27	361.6910	27640.03	361.6908	27640.04	-0.0024	0.0000	8	27640.041	9	1
1420+	1113		2	3	2	27	361.8073	27631.14	361.8071	27631.16	0.0166	8850.552	5	36481.728	5	1
2060-			5	3.6	25	61	362.6655	27565.76	362.6653	27565.78						
1482-			8	2.75	30	61	362.7211	27561.53	362.7209	27561.55						
1872-			7	2.57	25	61	363.1761	27527.00	363.1759	27527.02						
1420-	-1886	nlc	3	1.67			363.7979	27479.96	363.7977	27479.97	0.0011	9001.7536	6	36481.728	5	1
1518-			10	2.3	25	61	363.8274	27477.73	363.8272	27477.75						
690?		b ^b	182	0.73	320	15	366.9083	27247.01	366.9081	27247.02						
1200			3	4	5	27	367.4691	27205.42	367.4689	27205.44						
1646-	-1331		5	3.4	7	27	367.9967	27166.42	367.9968	27166.42	0.01	5617.4509	7	32783.877	7	1
648?		b ^b	53	1	25	61	368.5172	27128.05	368.5170	27128.07						
500?	429	b	2	2.5	2	27	370.1775	27006.38	370.1773	27006.40	0.1267	16749.204	7	43755.728	7	1
1349+			19	3.05	30	61	370.2345	27002.22	370.2343	27002.24						
2320-	-2167		89	3.35	185	27	374.8237	26671.63	374.8235	26671.64	0.0062	0.0000	8	26671.65	7	1

Tablo 4.4 (devamı):

W (mK)	ΔW_{hfs} (mK)	Yorum	S/N (Ne)	R	Şid.	Ref.	λ_{hava} (nm)	σ (cm^{-1})	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm^{-1}) hesap.	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	E_{alt} (cm^{-1})	J_{alt}	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$J_{\text{üst}}$ _t	npt
1500+	1416		2	2	3	27	374.9828	26660.31	374.9826	26660.33	-0.013	10838.856	4	37499.171	5	1
1653+		b	9	2.67	320	15	375.3771	26632.31	375.3768	26632.33						
850?			3	2.67	320	15	378.8067	26391.19	378.8065	26391.21						
1443-	-1273		29	2.69	275	27	379.6729	26330.98	379.6727	26331.00	0.0084	0.0000	8	26331.009	8	1
180?		b	5	2.2		28	380.9454	26243.03	380.9452	26243.05						
1074-	-954		18	3	378	27	381.0716	26234.34	381.0714	26234.36	0.0065	0.0000	8	26234.363	7	1
1616+	1431		1	3	37	27	381.3231	26217.03	381.3229	26217.05	0.0105	8850.552	5	35067.617	6	1
1704-	-1774		2	3.5	85	27	383.7504	26051.21	383.7502	26051.23	0.0117	5617.4509	7	31668.693	6	1
1646+	1432		2	2	30	27	384.2057	26020.34	384.2055	26020.36	0.0144	10838.856	4	36859.229	5	3
873-	-750		5	3.2	107	27	384.3861	26008.13	384.3859	26008.15	0.0006	0.0000	8	26008.148	7	1
1341+	1469		1	3	12	27	385.1521	25956.41	385.1519	25956.42	0.0036	8850.552	5	34806.978	5	1
1521-	-1404		7	2.86	104	27	385.4085	25939.14	385.4083	25939.16	0.0028	5617.4509	7	31556.609	7	2
2124+	1997		2	4	30	27	385.6910	25920.14	385.6908	25920.16	0.0027	8850.552	5	34770.711	6	1
2025-	-1791		11	4.09	144	27	386.1712	25887.91	386.1710	25887.93	0.0038	5617.4509	7	31505.381	6	2
1394+	1267		3	4	21	27	387.2052	25818.88	387.2050	25818.80	-0.0036	5849.9003	6	31668.693	6	1
1632-	-1530	b	4	3.25	32	27	387.4088	25805.21	387.4086	25805.23	-0.0029	9001.7536	6	34806.978	5	1
2081+	1547		1	5	11	27	387.4370	25803.33	387.4368	25803.35	-0.0023	8850.552	5	34653.899	5	1
1006+			11	4.18	40	61	387.4686	25801.23	387.4684	25801.24						
1249-	-1003		3	3.67	15	27	387.9541	25768.94	387.9539	25768.96	0.0002	9001.7536	6	34770.711	6	1
2277+	1973		2	4	12	27	388.0655	25761.54	388.0653	25761.56	0.0046	10838.856	4	36600.42	5	1
537?			2	3.5	30	61	388.1627	25755.09	388.1628	25755.09						
1765+	1637		42	3.33	220	27	388.8935	25706.70	388.8933	25706.71	-0.0025	5849.9003	6	31556.609	7	2
1941+	1810		186	2.75	668	27	389.0972	25693.24	389.0970	25693.25	0.0018	637.753	7	26331.009	8	1
1794-	-1686		4	5.5	31	27	389.3018	25679.73	389.3016	25679.75	0.0026	11204.534	5	36884.288	4	1
1350+	1250		7	3.57	34	27	389.6701	25655.55	389.6699	25655.48	0.0005	5849.9003	6	31505.381	6	2
895-	-1528		6	2.5	18	27	389.6820	25654.68	389.6818	25654.70	-0.0014	11204.534	5	36859.229	5	2
1550-	-1453		6	3.5	33	27	389.7208	25652.13	389.7206	25652.14	0.0032	9001.7536	6	34653.899	5	1
1322+	1216	b	4	2.75	15	27	389.8617	25642.86	389.8615	25642.87	-0.0004	10838.856	4	36481.728	5	1
1188+	1249	b	8	2.38	25	27	390.2228	25619.13	390.2226	25619.14	0.0019	8850.552	5	34469.697	5	1
2228+	2128		34	3.53	116	27	390.5664	25596.59	390.5662	25596.61	0.0049	637.753	7	26234.363	7	1

Tablo 4.4 (devamı):

W (mK)	ΔW_{hfs} (mK)	Yorum	S/N (Ne)	R	Şid.	Ref.	λ_{hava} (nm)	σ (cm^{-1})	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm^{-1}) hesap.	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	E_{alt} (cm^{-1})	J_{alt}	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$J_{\text{üs}}$ t	npt
1500-	-1508	nldb	3	2.33			392.3265	25481.76	392.3263	25481.77	0.0059	0.0000	8	25481.779	7	1
2293-	1699	b	3	3	7	27	392.3399	25480.89	392.3397	25480.90	0	5617.4509	7	31098.354	6	1
162?	3		9	2.67	7	27	393.1111	25430.90	393.1109	25430.92	0.0011	5617.4509	7	31048.368	7	1
1968-	-1773	nldb	4	3.5			393.6258	25397.65	393.6256	25397.66	-0.0099	5617.4509	7	31015.105	6	1
2050+		b	15	2.6	320	15	393.6447	25396.43	393.6445	25396.44						
920-	-986	nldb	3	2.67			393.6531	25395.89	393.6529	25395.90	-0.0172	11204.534	5	36600.42	5	1
2453+	2332		40	3.25	89	27	394.0489	25370.38	394.0487	25370.39	0.001	637.753	7	26008.148	7	1
1800-	-1745	nldb	4	1.75			395.5018	25277.18	395.5016	25277.20	-0.0031	11204.534	5	36481.728	5	1
650?	567		7	2.86	15	27	395.9503	25248.55	395.9501	25248.56	0.0011	8850.552	5	34099.118	6	2
1230+	1194		2	2	3	27	396.1820	25233.78	396.1818	25233.80	-0.0029	8850.552	5	34084.349	5	1
1482+	1104		3	2.33	4	27	396.4440	25217.11	396.4438	25217.12	-0.0241	10838.856	4	36055.956	4	1
3201+	3045	b	4	3.5	10	27	396.7375	25198.45	396.7373	25198.47	-0.0012	5849.9003	6	31048.368	7	2
1356+	1269		5	3.2	12	27	397.2619	25165.19	397.2616	25165.21	-0.0022	5849.9003	6	31015.105	6	1
1286+	1451		2	3.5	5	27	398.1841	25106.91	398.1838	25106.93	-0.0138	8850.552	5	33957.464	5	1
1544-	-2433		2	3	4	27	398.3359	25097.34	398.3356	25097.36	0.0076	9001.7536	6	34099.118	6	1
2026-	-1806		13	3.31	32	27	398.5704	25082.58	398.5701	25082.59	0.0036	9001.7536	6	34084.349	5	1
1549+	1562		9	1.78	10	27	399.2824	25037.85	399.2821	25037.86	-0.0001	5849.9003	6	30887.765	5	1
1341+	1241		9	3	32	27	399.3719	25032.24	399.3716	25032.25	-0.0018	8850.552	5	33882.804	6	1

Tablo 4.5: Ho III olarak tanımlanan tüm çizgilerin listesi, W; çizgi desen genişliği, nl; yeni spektral çizgi, nc; yeni sınıflandırma, nlc; yeni spektral çizgi ve yeni sınıflandırma, S/N; spektral geçişin FT’de gözlenen şiddet/gürültü oranı, λ_{hava} ; havadaki ağırlık merkezi dalga boyuları, σ ; vakumdaki dalga sayısı, $\Delta\sigma$; $\Delta\sigma = \sigma_{\text{vak}} - |E_{\text{ü}} - E_{\text{a}}|$, enerji seviyesinin J değeri, npt; mümkün çizgi sayısı, λ_{hava} hesap; kalibrasyon sonucunda hesaplanan dalga boyu, σ hesap; kalibrasyon sonucunda hesaplanan dalga sayısı

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	Ref.	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹) vak.	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E _{alt} (cm ⁻¹)	2*J _{alt}	E _{üst} (cm ⁻¹)	2*J _{üst}	npt
155?		13	62	0.21	37	358.1451	27913.68	358.1449	27913.69	-0.0174	0.00	15	27913.71	13	
140?		1	4	0.25	37	366.7300	27260.25	366.7298	27260.27	-0.0072	0.00	15	27260.26	17	
185?		23	90	0.26	37	369.2479	27074.37	369.2477	27074.39	-0.0034	0.00	15	27074.39	15	
150?	b	1	4	0.25	37	370.6008	26975.54	370.6006	26975.55	-0.0875	10770.40	9	37746.04	9	
310?		2	8	0.25	37	371.4975	26910.43	371.4973	26910.44	-0.1579	5438.53	13	32349.13	11	
180?		1	11	0.09	37	377.7585	26464.42	377.7583	26464.44	-0.0927	5438.53	13	31903.06	13	
150?		5	23	0.22	37	389.0068	25699.21	389.0066	25699.22	-0.0055	0.00	15	25699.23	13	
165?	b ^a	4	10	0.40	37	391.1605	25557.71	391.1603	25557.73	-0.0203	0.00	15	25557.75	17	
250?		1	7	0.14	37	399.0505	25052.40	399.0502	25052.42	-0.0450	10770.40	9	35822.86	9	

4.4. Ho I'İN AŞIRI İNCE YAPISI

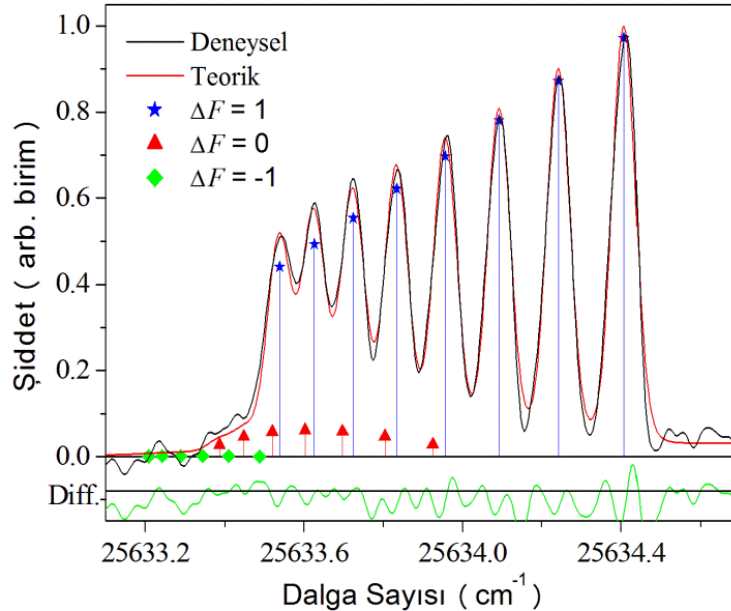
Bu tez çalışmasının amaçlarından biri holmiyumun atomik ince yapı enerji seviyelerinin manyetik dipol ve elektrik kuadrupol aşırı ince yapı sabitlerini belirlemektir. Bu amaçla öncelikle referans taraması yapılarak holmiyum atomunun aşırı ince yapısı bilinmeyen enerji seviyeleri belirlendi. Daha sonra klasifikasyon programı yardımı ile bu seviyeleri içeren 315 - 400 nm aralığında bulunan holmiyumun atomik spektral çizgileri incelendi. Bu özelliği taşıyan çizgilerden analiz etmeye uygun gürültü düzeyi çok yüksek olmayan spektral çizgiler Fourier transform spektrumlarından yine aynı program ile belirlendi. Bu tanıma uygun analiz için seçilen 42 adet Ho I çizgisi tablo (4.6)'te verildi.

Bu tabloda $\sigma_{vak.}$ çizgilerin vakumdaki dalgasayısı, üçüncü sütunda listelenen W çizginin aşırı ince yapı genişliğidir. W çizgi genişliği, aşırı ince yapı bileşenlerinin çözünürlüğünün bir göstergesidir. W değerinin büyük olması çizginin daha iyi ayrılmış olduğunu, sonuç olarak alt ve üst enerji seviyelerinin manyetik dipol aşırı ince yapı sabitlerinin büyük olduğunu göstergesidir. W çizgi genişliği, çizgilerin S/N oranlarına göre belirlendi. S/N oranı 5 ten küçük olan çizgiler için gürültünün hemen üstünden çizginin sağ ve sol kenarındaki dalgasayısı değerleri birbirinden çıkartılarak mK cinsinden belirlendi. S/N oranı 5 ten büyük spektral çizgiler için ise S/N oranının $1/e^2$ değeri belirlenerek, bu değerdeki spektral çizginin sağ ve sol kenarı arasındaki dalgasayısı farkı mK cinsinden verildi.

Tablo(4.6)'nın dördüncü sütununda Ho-Ne ve beşinci sütununda Ho-Ar FT spektrumlarının S/N değerleri verildi. Ayrıca bu tabloda çizginin alt ve üst enerji seviyeleri, bu seviyelerin ait oldukları konfigürasyon, spektral terim ve J bilgileri gösterildi. Spektral çizgiler Doppler genişlemeleri sebebi ile tam olarak ayrılmadıklarından, bir spektral çizginin alt ve üst enerji seviyelerinin aşırı ince yapı sabitlerini aynı anda belirlemek mümkün değildir. İncelenen çizgilerin genellikle alt enerji seviyelerinin manyetik dipol ve elektrik kuadrupol aşırı ince yapı sabitleri olan A ve B değerleri daha önceki çalışmalardan bilinmektedir [6,14, 16, 19]. Fitter programı ile yapılan fit işlemi sırasında spektral çizgilerin alt seviyelerinin A ve B değerleri bu değerlerde sabit tutuldu. Sabit tutulan tüm A ve B değerleri listesi tablo (4.7)'te enerji,

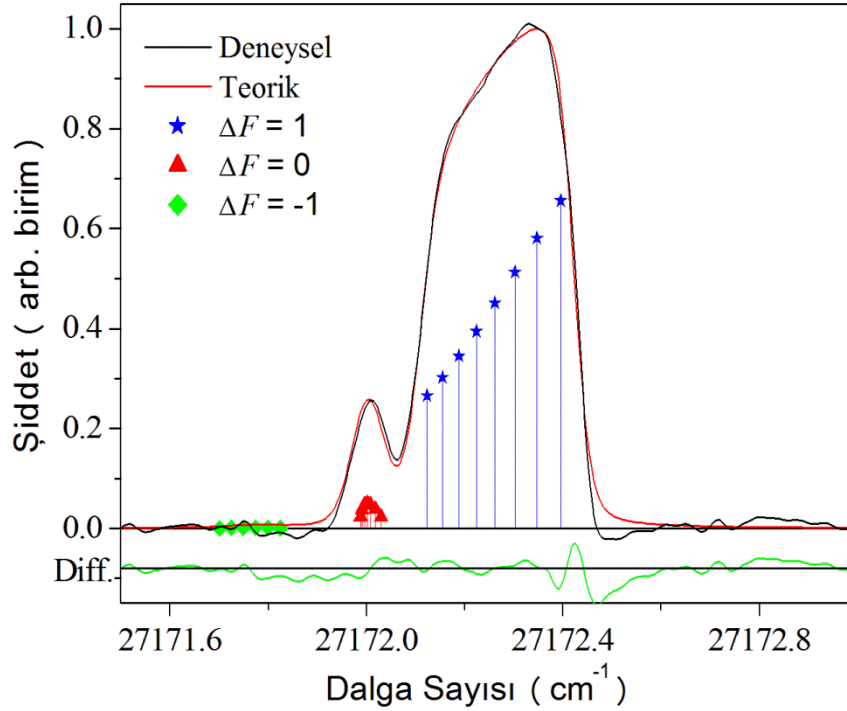
konfigürasyon, spektral terim, elde edildikleri deneysel metod ve refransları ile birlikte verildi.

Tablo (4.6)'da yer alan çizgilerin her biri FT spektrumlarından ayrı ayrı kesildi. Her çizgi 5 yada 3 ölçümden kesildi ve aşırı ince yapı sabitlerinin standart sapmaları bu ölçümlerden elde edildi. Spektrumlardan alınan çizgilerin x ekseninde dalga sayısı y ekseninde ise S/N değerleri yer alır. Fitter programında analiz yapılabilmesi için x ekseninin frekans cinsinden olması gerekir. Bu nedenle her bir spektrumun x eksenine frekansa çevrilerek fitter için gerekli olan “par” giriş dataları oluşturuldu. İncelenen çizgilerden tamamen ayrılmış olmakla birlikte oldukça iyi ayrılmış sayılabilecek çizgiye örnek olarak $\lambda = 389.9968 \text{ nm}$ ($\sigma = 25633.7961 \text{ cm}^{-1}$) dalgaboyundaki çizgi şekil 4.8 de verildi. Burada siyah spektrum deneysel, kırmızı spektrum fit sonucu oluşan teorik spektrum, yeşil spektrum ise deneysel ve teorik spektrum arasındaki farkı göstermektedir. Her bir spektral çizginin aşırı ince yapı geçişlerinde $\Delta F = 0, \pm 1$ kuralı geçerlidir. Şekillerde; $\Delta F = 0$ geçişleri kırmızı, $\Delta F = +1$ geçişleri mavi, $\Delta F = -1$ geçişleri yeşil renkte çizgilerle gösterildi.



Şekil 4.8: $\lambda=389.9968 \text{ nm}$; dalgaboyundaki fit edilen oldukça iyi ayrılmış spektruma bir örnek. $\sigma = 25633.7961 \text{ cm}^{-1}$, $E_{\text{alt}} = 8378.91 \text{ cm}^{-1}$, $J = 17/2 \rightarrow E_{\text{üst}} = 34013.03 \text{ cm}^{-1}$, $J = 19/2$.

Hemen hemen ayrıışmamış fakat oldukça iyi fit olmuş bir çizgiye örnek Şekil 4.9'da verildi.



Şekil 4.9: $\lambda=367.9177$ nm dalgaboyundaki fit edilen hemen hemen ayrıışmamış spektruma bir örnek. $\sigma = 27172.2576$ cm⁻¹, $E_{alt} = 8427.1$ cm⁻¹, $J = 15/2 \rightarrow E_{üst} = 35599.5$ cm⁻¹, $J = 19/2$.

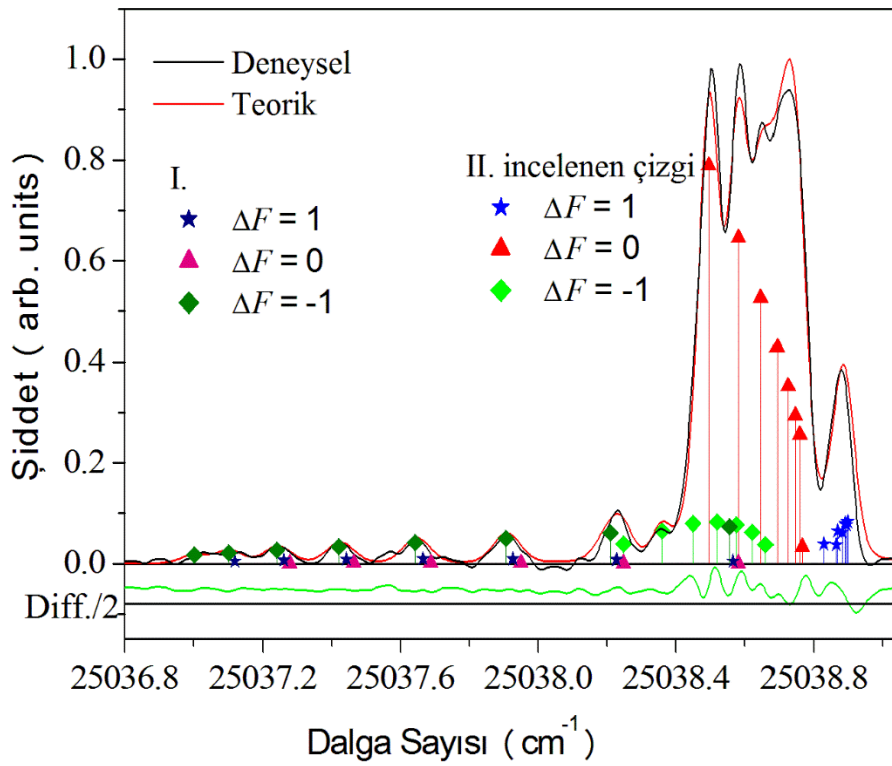
İncelenen çizgilerden bazıları bir başka çizgi ile üst üste binmiş durumdadır. Bu incelediğimiz çizgi ile çakışan çizginin özellikleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

1. Aşırı ince yapı yarılmayı gösteren Holmiyum atom yada iyon çizgisi olabilir
2. Ayrıışma göstermeyen Holmiyum atom yada iyon çizgisi olabilir
3. Bilinmeyen bir çizgi olabilir.
4. Asal gaz çizgisi olabilir.

Birinci duruma uygun fit edilmiş bir örnek Şekil 4.10 a) ve Şekil 4.10b)'de verildi. Her iki şekilde de az şiddetli olarak gözlenen birinci çizginin alt ve üst enerji seviyelerine ait aşırı ince yapı sabitleri bilindiğinden her iki çizgi aynı anda fit edilerek sağda daha şiddetli olarak gözlenen çizginin üst seviyesinin aşırı ince yapı sabitleri elde edildi. Bu gruptaki

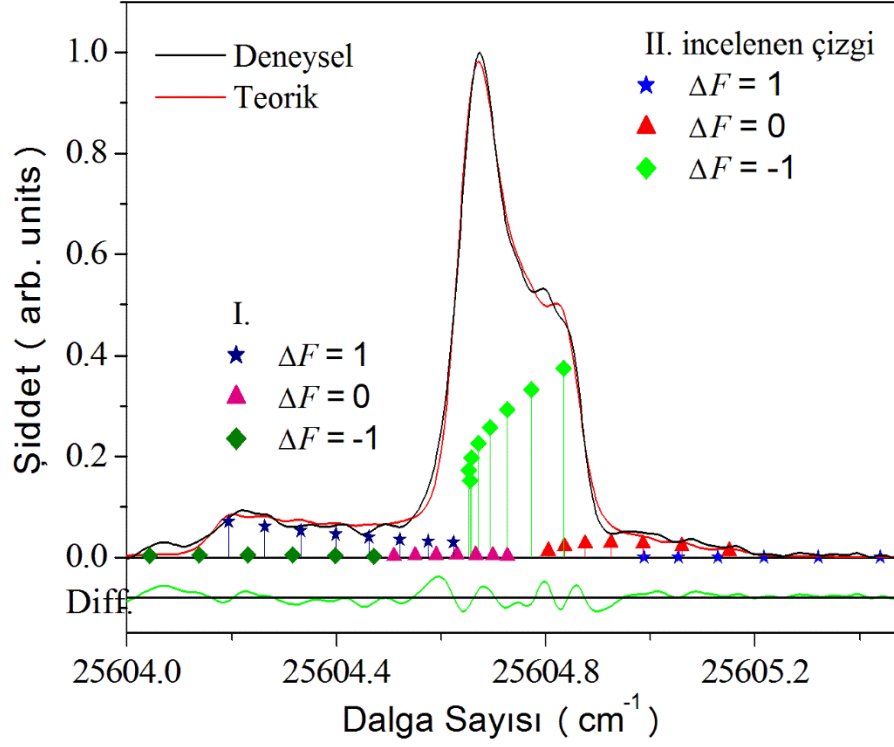
bir diğer örnek Şekil (4.11)'de verildi. Burada birbirinden ayrı gibi görünsede fit işlemi yapıldığında küçük aşırı ince yapı bileşenlerinin birbirine karıştığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle her iki çizgi aynı anda fit edilerek her iki çizginin üst enerji seviyelerine ait aşırı ince yapı sabitleri belirlendi.

a)

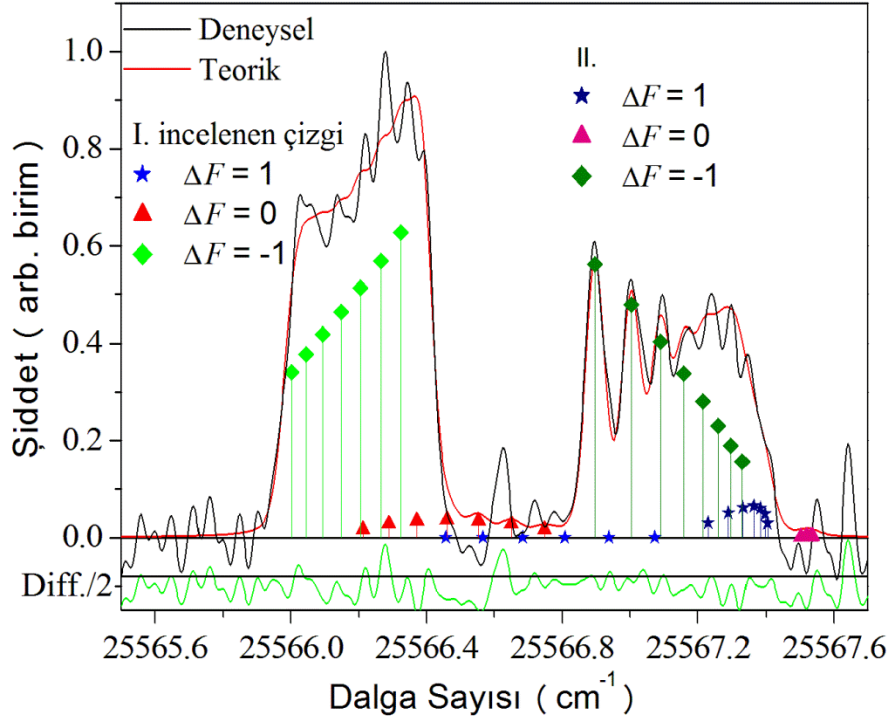


Şekil 4.10 a) Oldukça iyi ayrılmış Ho II çizgi ile birlikte fit edilen $\lambda=399.2698$ nm; dalgaboyundaki Holmiyum atom çizgisi ($\sigma = 25038.6395$ cm⁻¹, $E_{alt} = 9147.08$ cm⁻¹, $J=13/2 \rightarrow E_{üst} = 34185.820$ cm⁻¹, $J = 13/2$).

b)

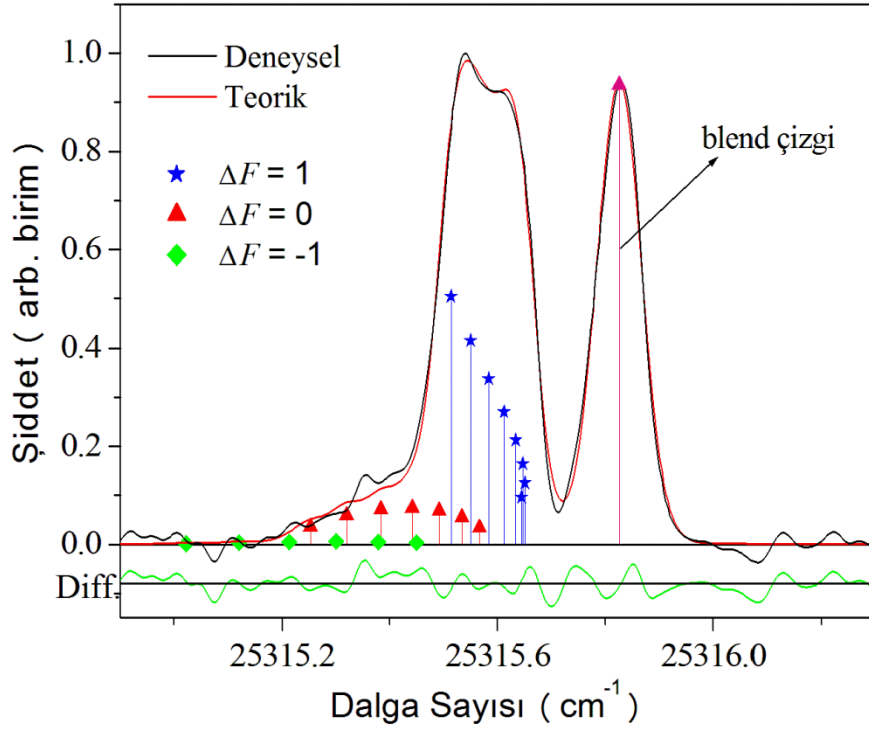


Şekil 4.10 b) Bir başka Ho çizgisi ile karışmış birlikte fit edilen $\lambda = 390.4418 \text{ nm}$; dalgaboyundaki Holmiyum atom çizgisi ($\sigma = 25604.7575 \text{ cm}^{-1}$, $E_{\text{alt}} = 8378.91 \text{ cm}^{-1}$, $J = 17/2 \rightarrow E_{\text{üst}} = 33983.68 \text{ cm}^{-1}$, $J = 15/2$).



Şekil 4.11: $\lambda=391.0303$ nm; fit edilen aşırı ince yapı yarılması gösteren Holmiyum atom çizgisi. ($\sigma = 25566.2265$ cm⁻¹ $E_{alt} = 11322.31$ cm⁻¹, $J = 21/2 \rightarrow E_{üst} = 36888.64$ cm⁻¹, $J = 19/2$).

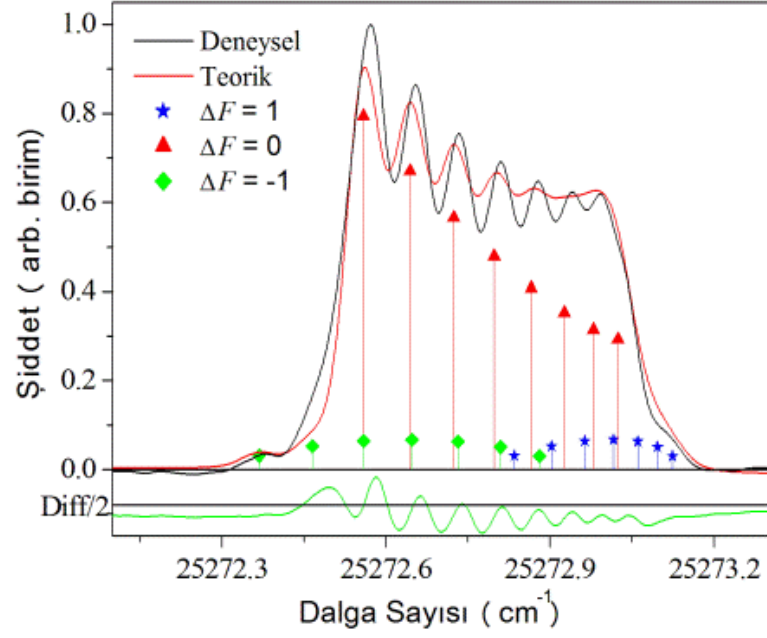
Üçüncü duruma örnek Şekil 4.12’de verildi. Burada tek bir pik halinde gözlenen çizgi de dikkate alınarak fit işlemi yapıldı. Bu karışmış çizgi bilinmeyen bir çizgidir.



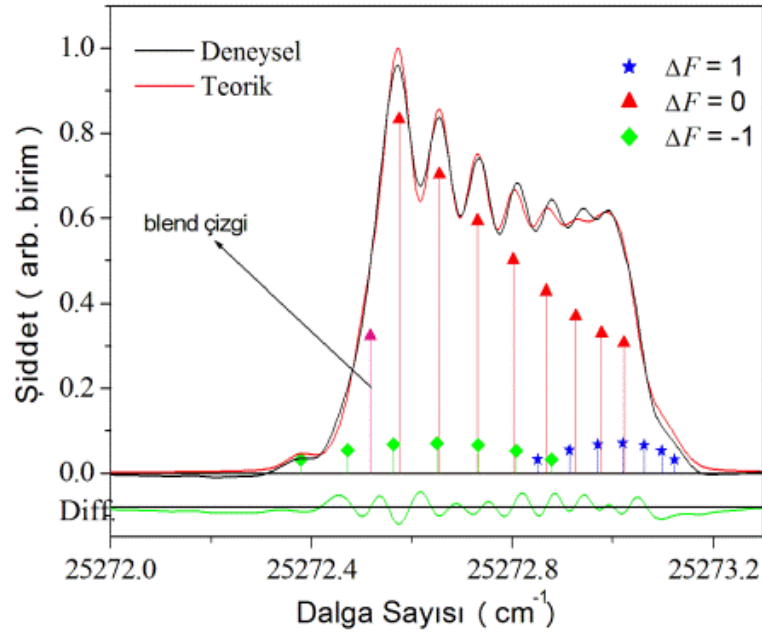
Şekil 4.12: $\lambda=394.9024$ nm yanında bilinmeyen bir çizgi ile fit edilen bir çizgi. ($\sigma=25315.5499$ cm⁻¹ $E_{alt} = 10695.75$ cm⁻¹, $J = 9/2 \rightarrow E_{üst} = 36011.48$ cm⁻¹, $J = 11/2$).

Dördüncü duruma bir örnek Şekil 4.13 a) ve b) de verildi. Burada aslında fit işlemi yapılmadan karışmış bir çizginin olduğu anlaşılamamakla birlikte a) şeklinde bu karışmış çizgi (blend) dikkate alındığında ve b) şeklinde ise blend olan çizgi dikkate alınmadığı durumdaki fitler gösterildi. Buradan da anlaşılabileceği gibi fit işleminde karışmış çizgileri dikkate almak aşırı ince yapı sabitlerinin doğru olarak elde edilmeleri için zorunludur. Yine aynı sınıfta yer alan fakat gürültü oranı yüksek olan çizgiye örnek Şekil 4.14’de verildi.

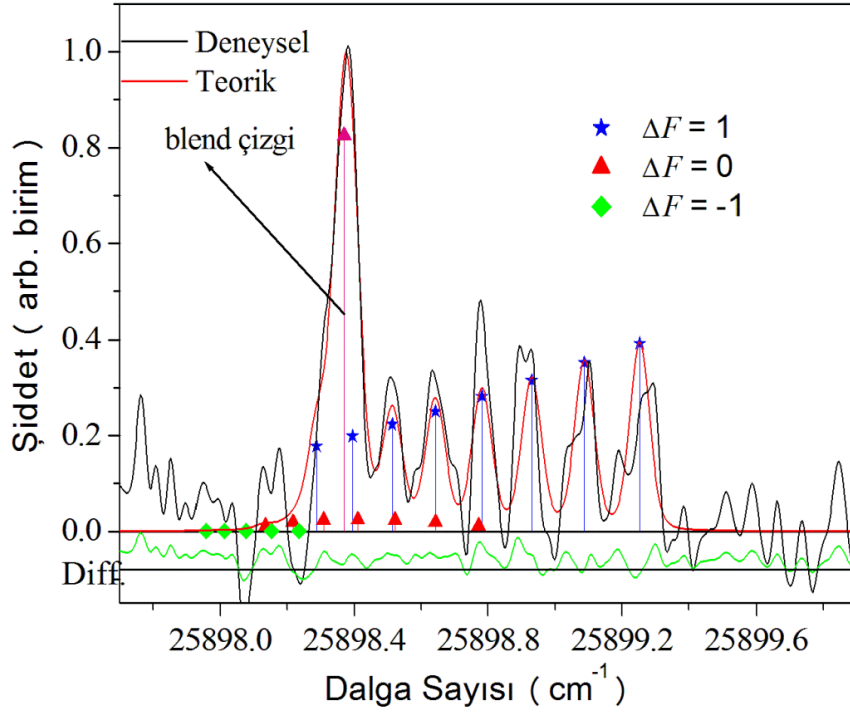
a)



b)



Şekil 4.13: $\lambda = 395.5708 \text{ nm}$; fit edilen karışmış çizgi içinde bir asal gaz çizgi olabilir ($\sigma = 25272.7717 \text{ cm}^{-1}$, $E_{\text{alt}} = 0.00 \text{ cm}^{-1}$, $J = 15/2 \rightarrow E_{\text{üst}} = 25272.630 \text{ cm}^{-1}$, $J = 15/2$). a) karışmış çizgi (blend) dikkate alınmadığında b) karışmış çizgi (blend) dikkate alındığında.



Şekil 4.14: $\lambda = 386.0096$ nm; fit edilen asal gaz çizgi olabilir ($\sigma = 25898.7471$ cm⁻¹, $E_{\text{alt}} = 8378.91$ cm⁻¹, $J = 16/2 \rightarrow E_{\text{üst}} = 34277.910$ cm⁻¹, $J = 19/2$).

İncelenen spektral çizgiler tamamen ayrışmadığından daha önce de belirtildiği gibi her çizginin alt enerji seviyeleri daha önceden literatürden bilinen değerlerinde sabit tutuldu. Ayrıca çizgi içindeki aşırı ince yapı bileşenlerinin şiddetleri eğer tamamen ayrışmamış ise en şiddetli bileşenen teorik değerine kuplaj yapıldı. Böylece fit işlemi gerçeğe daha uygun yapılmış oldu. Aksi takdirde fit işlemi matematiksel bir işlem olduğundan en iyi uyumu sağlamak için program bileşenlerin şiddetlerini rastgele arttırarak en iyi fiti elde edebilir. Sabit tutulan bu değerler tablo 4.7’de verildi.

Holmiyum elementinin elektrik kuadrupol momentu $Q = +2.64b$ olması sebebi ile elektrik kuadrupol etkileşmesi oldukça güçlüdür ve Doppler genişlemeli spektroskopik metodla yapılan ölçümde bile bu etkileşme gözlenebilir. Bu nedenle incelenen çizgilerin manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A larla birlikte elektrik kuadrupol aşırı ince yapı sabiti olan B ’ler de elde edildi. Ancak ayrışmanın çok az olduğu $\lambda = 3415.12$ nm, 3584.558 nm,

3589.575 nm, 3701.63 nm, 3771.164 nm, 3778.033 nm, 3783.063 nm, 3811.83 nm, 3860.096 nm, 3873.6365 nm, 3919.432 nm, 3967.326 nm, 3992.698 nm çizgilerinde $B = 0$ değerinde sabit tutuldu. Bu çizgilerden elde edilen A sabitlerinin hataları fit sonucunda elde edilen standart sapmanın 10 kat fazlası verildi.

Spektral çizgilerin analizi sonucunda ilk defa bu çalışmada elde edilen, spektral çizgilerin üst enerji seviyelerine ait manyetik dipol A ve elektrik kuadrupol B aşırı ince yapı sabitleri çift pariteli enerji seviyeleri için Tablo 4.8 de, tek pariteli enerji seviyeleri için de Tablo 4.9'da verildi. Bu tablolarda her bir enerji, dalga sayısı (σ) cinsinden cm^{-1} biriminde, konfigürasyonu, terim gösterimi ve J toplam açısal momentum değeri verildi. Aşırı ince yapı sabitlerinin elde edildiği çizginin dalgaboyu λ_{hava} değerleri beşinci kolonda verildi. Eğer bir seviyenin aşırı ince yapı sabitleri birden fazla çizgiden elde edilmişse A ve B sabitleri ağırlıklı ortalama değeri hesaplanarak verildi.

Bu çalışmada Fourier Transform Spektroskopi yöntemi ile ölçülerek analiz edilen tüm spektral çizgilere ait en iyi fit sonuçlarını veren spektrumlar enerji seviyeleri göre sıralanarak EK-2'de verildi.

Tablo 4.6: Aşırı ince yapı analizi yapılan Holmiyum I çizgeleri. λ_{hava} : havadaki dalgaboyu; σ_{vakum} : spektral çizginin vakumdaki dalgasayısı; W: deneysel çizgi genişliği (1 mK = 0.001 cm⁻¹); S/N: sinyal/gürültü oranı Ne ve Ar ile alınan spektrumlar için; E_{alt}: alt seviyenin enerjisi, J_{alt}: alt seviyenin J değeri, E_{üst}: üst seviyenin enerji değeri, J_{üst}: üst seviyenin J değeri, terim, konfigürasyon. Ref: Konfigürasyonların alındığı referanslar

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	W (mK)	S/N (Ne)	S/N (Ar)	E _{alt} (cm ⁻¹)	Konf.	Terim	J _{alt}	E _{üst} (cm ⁻¹)	Konf.	Ref.	Terim	J _{üst}
323.1752	30934.04234	909?	70	45	12344.55	$4f^{10}(^5I_7)5d_{3/2}6s^2$	(7, ³ / ₂)	13/2	43278.51	$4f^{10}5d^26p$	22		15/2
341.5120	29273.15005	626?	13	13	8378.91	$4f^{10}(^5I_8)5d_{3/2}6s^2$	(8, ³ / ₂)	17/2	37652.23				17/2
343.6982	29086.95472	643?	10	13	11689.77	$4f^{10}(^5I_8)5d_{5/2}6s^2$	(8, ⁵ / ₂)	19/2	40776.90				17/2
353.2723	28298.68656	1105+	39	36	8378.91	$4f^{10}(^5I_8)5d_{3/2}6s^2$	(8, ³ / ₂)	17/2	36677.81	$4f^{10}5d6s6p$	22		19/2
358.4558	27889.48478	171?	27	32	12344.55	$4f^{10}(^5I_7)5d_{3/2}6s^2$	(7, ³ / ₂)	13/2	40234.24	$4f^{10}5d^26p$	22		15/2
358.9575	27850.50199	590?	43	33	8378.91	$4f^{10}(^5I_8)5d_{3/2}6s^2$	(8, ³ / ₂)	17/2	36229.59	$4f^{10}5d6s6p$	22		19/2
366.6656	27265.04007	483?	230	256	8427.11	$4f^{10}(^5I_8)5d_{3/2}6s^2$	(8, ³ / ₂)	15/2	35692.30	$4f^{10}5d6s6p$	22		17/2
367.9177	27172.25761	510?	202	187	8427.11	$4f^{10}(^5I_8)5d_{3/2}6s^2$	(8, ³ / ₂)	15/2	35599.50	$4f^{10}5d6s6p$	22		17/2
368.2594	27147.04202	767?	111	115	9741.28	$4f^{10}(^5I_8)5d_{5/2}6s^2$	⁵ I	19/2	36888.64	$4f^{10}5d6s6p$	22		19/2
368.3387	27141.20135	958+	21	15	0.00	$4f^{11}6s^2$	⁴ I°	15/2	27141.28	$4f^{11}6s6p$	16	⁶ I	13/2
370.1630	27007.43926	372?	28	22	8427.11	$4f^{10}(^5I_8)5d_{3/2}6s^2$	(8, ³ / ₂)	15/2	35434.63	$4f^{10}5d6s6p$	22		13/2
370.4556	26986.1083	495?	24	18	13082.93	$4f^{10}(^5I_7)5d_{3/2}6s^2$	(7, ³ / ₂)	11/2	40069.22	$4f^{10}5d^26p$	22		13/2
377.1164	26509.47933	696?	5	5	8378.91	$4f^{10}(^5I_8)5d_{3/2}6s^2$	(8, ³ / ₂)	17/2	34888.46	$4f^{10}5d6s6p$	22		15/2
377.4881	26483.38047	618?	69	57	5419.70	$4f^{11}6s^2$	⁴ I°	13/2	31903.28	$4f^{10}5d6s^2$	22		11/2
377.6176	26474.29499	554?	44	36	8378.91	$4f^{10}(^5I_8)5d_{3/2}6s^2$	(8, ³ / ₂)	17/2	34853.26	$4f^{10}5d6s6p$	22		15/2
377.8033	26461.28252	841?	11	11	8427.11	$4f^{10}(^5I_8)5d_{3/2}6s^2$	(8, ³ / ₂)	15/2	34888.46	$4f^{10}5d6s6p$	22		15/2
378.3063	26426.05827	510?	12	9	8427.11	$4f^{10}(^5I_8)5d_{3/2}6s^2$	(8, ³ / ₂)	15/2	34853.26	$4f^{10}5d6s6p$	22		15/2
379.1551	26366.94252	695-	17	14	9147.08	$4f^{10}(^5I_8)5d_{3/2}6s^2$	(8, ³ / ₂)	13/2	35514.11				11/2
379.2830	26358.05487	730+	13	12	8378.91	$4f^{10}(^5I_8)5d_{3/2}6s^2$	(8, ³ / ₂)	17/2	34737.11	$4f^{10}5d6s6p$	22		19/2
381.1830	26226.67675	131?	30	27	8427.11	$4f^{10}(^5I_8)5d_{3/2}6s^2$	(8, ³ / ₂)	15/2	34653.56				13/2
385.1796	25954.55674	175?	26	22	11204.53	$4f^{11}(^4I^{\circ}_{9/2})6s_{1/2}$	(⁹ / ₂ , ¹ / ₂)°	5	37159.20				5/1

Tablo4.6 (devam):

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	W (mK)	S/N (Ne)	S/N (Ar)	E_{alt} (cm^{-1})	Konf.	Terim	J_{alt}	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	Konf.	Ref.	Terim	$J_{\text{üst}}$
386.0096	25898.74705	785+	6	4	8378.91	$4f^{10}(^5\text{I}_8)5d_{3/2}6s^2$	$(8,^{3/2})$	17/2	34277.91	$4f^{10}5d6s6p$	22		19/2
386.2602	25881.95811	255?	90	70	8427.11	$4f^{10}(^5\text{I}_8)5d_{3/2}6s^2$	$(8,^{3/2})$	15/2	34309.15	$4f^{10}5d6s6p$	22		13/2
387.3637	25808.21872	366?	20	18	10695.75	$4f^{11}6s^2$	4I°	9/2	36504.15				7/2
388.1092	25758.64279	531?	11	8	8427.11	$4f^{10}(^5\text{I}_8)5d_{3/2}6s^2$	$(8,^{3/2})$	15/2	34185.82	$4f^{10}5d6s6p$	22		13/2
389.5226	25665.17855	343?	32	24	8605.16	$4f^{11}6s^2$	4I°	11/2	34270.67				11/2
389.9968	25633.97607	993+	58	42	8378.91	$4f^{10}(^5\text{I}_8)5d_{3/2}6s^2$	$(8,^{3/2})$	17/2	34013.03	$4f^{10}5d6s6p$	22		19/2
390.4418	25604.75752	735?	314	253	8378.91	$4f^{10}(^5\text{I}_8)5d_{3/2}6s^2$	$(8,^{3/2})$	17/2	33983.68	$4f^{10}5d6s6p$	22		15/2
391.0164	25567.13209	569?	13	9	9147.08	$4f^{10}(^5\text{I}_8)5d_{3/2}6s^2$	$(8,^{3/2})$	13/2	34714.29	$4f^{10}5d6s6p$	22		11/2
391.0303	25566.22654	464+	20	21	11322.31	$4f^{10}(^5\text{I}_8)5d_{5/2}6s^2$	$(8,^{5/2})$	21/2	36888.64	$4f^{10}5d6s6p$	22		19/2
391.9432	25506.67994	670?	285	256	9147.08	$4f^{10}(^5\text{I}_8)5d_{3/2}6s^2$	$(8,^{3/2})$	13/2	34653.56				13/2
393.0125	25437.28346	570?	35	30	9147.08	$4f^{10}(^5\text{I}_8)5d_{3/2}6s^2$	$(8,^{3/2})$	13/2	34584.43	$4f^{10}5d6s6p$	22		13/2
394.2420	25357.9522	798+	17	17	11530.56	$4f^{10}(^5\text{I}_8)5d_{5/2}6s^2$	$(8,^{5/2})$	17/2	36888.64	$4f^{10}5d6s6p$	22		19/2
394.9024	25315.54994	244?	81	67	10695.75	$4f^{11}6s^2$	4I°	9/2	36011.48				11/2
395.0533	25305.87707	429?	189	162	10695.75	$4f^{11}6s^2$	4I°	9/2	36001.87				7/2
395.1127	25302.07275	442?	118	89	8605.16	$4f^{11}6s^2$	4I°	11/2	33907.40	$4f^{10}5d6s^2$	22		13/2
395.5708	25272.77174	632-	1766	1178	0.00	$4f^{11}6s^2$	4I°	15/2	25272.63	$4f^{10}5d6s^2$	16	^8H	15/2
396.7326	25198.76405	553?	23	23	11689.77	$4f^{10}(^5\text{I}_8)5d_{5/2}6s^2$	$(8,^{5/2})$	19/2	36888.64	$4f^{10}5d6s6p$	sw		19/2
397.5485	25147.05221	1170+	13	13	11530.56	$4f^{10}(^5\text{I}_8)5d_{5/2}6s^2$	$(8,^{5/2})$	17/2	36677.81	$4f^{10}5d6s6p$	22		19/2
398.5029	25086.82723	781+	7	5	12339.04	$4f^{10}(^5\text{I}_8)5d_{5/2}6s^2$	$(8,^{5/2})$	15/2	37426.02				17/2
399.2698	25038.63945	508?	161	117	9147.08	$4f^{10}(^5\text{I}_8)5d_{3/2}6s^2$	$(8,^{3/2})$	13/2	34185.82	$4f^{10}5d6s6p$	22		13/2
399.8265	25003.78068	569-	1293	1101	5419.70	$4f^{11}6s^2$	4I°	13/2	30423.60	$4f^{11}6s6p$	22		11/2

Tablo 4.7: Spektral çizgilerin analizinde literatürden alınarak sabit tutulan Ho I enerji seviyelerinin *A* manyetik dipol ve *B* elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitleri, enerji, konfigürasyon, spektral terimleri, *J* değeri ve seviyenin paritesi; deneysel metodlar ve referansları ABMR; Atomik Işın Manyetik Rezonans, LOGS: Laser optogalvanik spektroskopisi, FTS: Fourier Transform Spektroskopisi,

E (cm ⁻¹)	konf.	Terim	<i>J</i>	<i>A</i> (MHz)	<i>B</i> (MHz)	yöntem	Ref.
0.00	4f ¹¹ 6s ²	4I°	15/2 o	800.5828(14)	1668.100(91)	ABMR	14
5419.70	4f ¹¹ 6s ²	4I°	13/2 o	940.5(40)	-1222(19)	LOGS	6
8378.91	4f ¹⁰ (⁵ I ₈)5d _{3/2} 6s ²	(8, ³ / ₂)	17/2 e	776(5)	570(300)	FTS	16
8427.11	4f ¹⁰ (⁵ I ₈)5d _{3/2} 6s ²	(8, ³ / ₂)	15/2 e	842(5)	800(300)	FTS	16
8605.16	4f ¹¹ 6s ²	4I°	11/2 o	1039.9(50)	-1052(16)	LOGS	6
9147.08	4f ¹⁰ (⁵ I ₈)5d _{3/2} 6s ²	(8, ³ / ₂)	13/2 e	912.0(60)	2659(20)	LOGS	6
9741.28	4f ¹⁰ (⁵ I ₈)5d _{5/2} 6s ²	⁵ I	19/2 e	740.1(70)	1672(28)	LOGS	6
10695.75	4f ¹¹ 6s ²	4I°	9/2 o	1138.1(5)	-491(4)	LF	19
11322.31	4f ¹⁰ (⁵ I ₈)5d _{5/2} 6s ²	(8, ⁵ / ₂)	21/2 e	711.3(90)	3360(31)	LOGS	6
11530.56	4f ¹⁰ (⁵ I ₈)5d _{5/2} 6s ²	(8, ⁵ / ₂)	17/2 e	770(3)	1295(150)	FTS	16
11689.77	4f ¹⁰ (⁵ I ₈)5d _{5/2} 6s ²	(8, ⁵ / ₂)	19/2 e	756.1(70)	2606(24)	LOGS	6
12339.04	4f ¹⁰ (⁵ I ₈)5d _{5/2} 6s ²	(8, ⁵ / ₂)	15/2 e	807(3)	243(150)	FTS	16
12344.55	4f ¹⁰ (⁵ I ₇)5d _{3/2} 6s ²	(7, ³ / ₂)	13/2 e	906.86(3)	753(150)	FTS	16
13082.93	4f ¹⁰ (⁵ I ₇)5d _{3/2} 6s ²	(7, ³ / ₂)	11/2 e	1037(5)	2548(300)	FTS	16

Tablo 4.8: Ho I'in üst enerji seviyelerine ait “çift pariteli” enerji seviyesinin bu çalışmada bulunan manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A ve elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B değerleri. E enerji, konfigürasyon, terim, J toplam açısal momentum değerleri,

E (cm ⁻¹)	Konf.	Terim	J	λ_{hava} (nm)	A (MHz)	B (MHz)	Yorum
25272.63	$4f^{10}5d6s^2$	⁸ H	15/2	3955.7080	562(1)	-970(60)	Bilinmeyen çizgi karışmış
27141.28	$4f^{11}6s6p$	⁶ I	13/2	3683.3865	1445(3)	-2160(320)	
30423.60	$4f^{11}6s6p$		11/2	3998.2645	792(1)	-1550(45)	Bilinmeyen çizgi karışmış
31903.28	$4f^{10}5d6s^2$		11/2	3774.8805	758(1)	330(90)	
33907.40	$4f^{10}5d6s^2$		13/2	3951.1270	833(1)	770(75)	
34270.67			11/2	3895.2260	1042(16)	-50(330)	
36001.87			7/2	3950.5330	1159(17)	75(630)	
36011.48			11/2	3949.0235	859(1)	330(55)	
36504.15			7/2	3873.6365	1260(170)	0	

Tablo 4.9: Ho I'in üst enerji seviyelerine ait “tek pariteli” enerji seviyesinin ilk defa bu çalışmada elde edilen manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A ve elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B değerleri. $A_{\text{ort.}}$ ve $B_{\text{ort.}}$ birden fazla spektral çizgiden elde edilen A ve B sabitlerinin ağırlıklı ortalama değeri, E enerji, J toplam açısal momentum, Konf: konfigürasyon.

E (cm^{-1})	Konf.	Terim	J	λ_{hava} (nm)	A (MHz)	$A_{\text{ort.}}$	B (MHz)	$B_{\text{ort.}}$
33983.68	$4f^{10}5d6s6p$		15/2	3904.418	972 (2)		1970(180)	
34013.03	$4f^{10}5d6s6p$		19/2	3899.968	1071.8(2)		1716(21)	
34185.82	$4f^{10}5d6s6p$		13/2	3992.698	740(10)	744(2)	0	935(30)
	$4f^{10}5d6s6p$		13/2	3881.092	745(4)		935(30)	
34277.91	$4f^{10}5d6s6p$		19/2	3860.096	1125(150)		0	
34309.15	$4f^{10}5d6s6p$		13/2	3862.602	1048.4(1)		2261(11)	
34584.43	$4f^{10}5d6s6p$		13/2	3930.125	1126(5)		2170(60)	
34653.56	$4f^{10}5d6s6p$		13/2	3919.432	905(440)	945(16)	0	0
	$4f^{10}5d6s6p$		13/2	3811.830	950(180)		0	
34714.29	$4f^{10}5d6s6p$		11/2	3910.164	746(3)		50(125)	
34737.11	$4f^{10}5d6s6p$		19/2	3792.830	916(5)		1590(470)	
34853.26	$4f^{10}5d6s6p$		15/2	3776.176	649(2)	649.0(1)	830(115)	830(115)
	$4f^{10}5d6s6p$		15/2	3783.063	652(50)		0	
34888.46	$4f^{10}5d6s6p$		15/2	3771.164	575(150)	574 (1)	0	
	$4f^{10}5d6s6p$		15/2	3778.033	575 (270)		0	
35434.63	$4f^{10}5d6s6p$		13/2	3701.630	900(30)		0	
35514.11			11/2	3791.551	659 (2)		1060(80)	

Tablo 4.9 (devam):

E (cm⁻¹)	Konf.	Terim	<i>J</i>	λ_{hava} (nm)	A (MHz)	<i>A</i>_{ort.}	B (MHz)	<i>B</i>_{ort.}
35599.50	$4f^{10}5d6s6p$		17/2	3672.659	873(3)	879(2)	1330(310)	1450(20)
	$4f^{10}5d6s6p$		17/2	3679.177	880(1)		1460(50)	
35692.30	$4f^{10}5d6s6p$		17/2	3666.656	862.4(3)		2210(30)	
36229.59	$4f^{10}5d6s6p$		19/2	3589.575	521(4)		0	
36888.640	$4f^{10}5d6s6p$		19/2	3682.596	925.7(4)		1425(80)	
	$4f^{10}5d6s6p$		19/2	3910.303	945.3(7)	939(7)	1635(210)	1450(50)
	$4f^{10}5d6s6p$		19/2	3942.420	932(11)		1430(890)	
	$4f^{10}5d6s6p$		19/2	3967.326	950(4)		0	
37426.02			17/2	3985.029	986(14)		1430(770)	
37652.23			17/2	3415.120	974(40)		0	
40069.22	$4f^{10}5d^26p$		13/2	3704.556	659(7)		3740(370)	
40234.24	$4f^{10}5d^26p$		15/2	3584.558	835(70)		0	
40776.90			17/2	3436.982	588(6)		-155(60)	
43278.51	$4f^{10}5d^26p$		15/2	3231.752	725(3)		8330(460)	

5.TARTIŞMA VE SONUÇ

Fourier Transform spektroskopisi metodu ile Ho spektrumunda yapılan incelemeler sonucunda 24500 cm^{-1} ile 31500 cm^{-1} ($315\text{ nm} - 400\text{ nm}$) mor ötesi spektral bölgede toplam 1033 Ho çizgisi bulundu. Ho I'a ait 71 atomik çizgi sınıflandırıldı. Argon ve Neon gazları ile alınan iki ayrı Ho spektrumundaki sinyal gürültü oranlarına bakılarak 370 spektral çizgi Ho I olarak tanımlandı. Bu toplam $71+402=473$ Ho I çizgisinden 404 çizgi ilk defa bu çalışmada verildi. "Ho I yada Ho II" ve "Ho I yada Ho III" olarak verilen toplam 200 çizgi mevcuttur. Ho I olarak tanımlanan 441 çizgiden sadece 71 çizginin alt ve üst enerji seviyesi belirlenerek sınıflandırılabilir. Bunun anlamı şudur: atomik holmiyum'un pek çok enerji seviyesi hala bilinmemektedir.

Ho II olarak 97 çizgi, Ho III olarak 9 çizgi sınıflandırılabilir. Bu 97 Ho II çizgisinden sadece altı tanesi literatürde yoktur. Sınıflandırılmayan ancak literatürde mevcut olan 39 Ho II çizgisi bulundu. Bu 39 çizginin R-değerleri literatürde var olan ve sınıflandırılan çizgilerin R-değerleri ile uyum içindedir. Literatürde yer almayan 215 çizgi R-değerine bakılarak Ho II olarak sınıflandırılmadı. Ayrıca klasifikasyon programı ile deneysel spektrum ile teorik spektrumun ağırlık merkezleri arasındaki fark büyük olmasına rağmen alt ve üst A ve B sabitleri bilinen çizgiler için her iki spektrumunda son derece birbiri ile uyum içinde olması, Holmiyumun bilinen ince yapı enerji seviyelerinin düzeltilmesi gerektiği sonucuna verir.

Fourier transform spektroskopisi ile birlikte laser spektroskopik metodlar da kullanılması Ho I'ın bilinmeyen enerji seviyelerinin bulunması ve enerji seviyelerinin düzeltilmesi için mükemmel bir yöntem olacaktır. Laserle uyarılmış floresans spektroskopisi metodu enerji seviyesi bulmak için en uygun methodtur.

Bu çalışma kapsamında verilen tüm Ho I, Ho II ve Ho III çizgileri astrofizikte yıldızların bolluk analizlerinin saptanmasına katkı sağlayacaktır.

Fourier transform spektrumundan kesilerek aşırı ince yapı analizi yapılan **42** spektral çizgi mevcuttur. Bu çizgilerin analizi sonucunda çift pariteli **dokuz** enerji seviyesinin

manyetik dipol A ve **sekiz** elektrik kuadropol B aşırı ince yapı sabiti ilk defa bu çalışmada elde edildi. Tek pariteli **23** enerji seviyesinin manyetik dipol aşırı ince yapı A sabiti ve **16** elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B ilk defa bu çalışmada elde edildi. Bu çalışmada bulunan aşırı ince yapı sabitleri H_0 I enerji seviyelerinin eksik olan aşırı ince yapı sabitlerinin bir kısmını tamamlamış ve atom fiziğine katkı sağlamıştır.



KAYNAKLAR

- [1]. Haken, H., Wolf, H.C., 2000, *The Physics of Atoms and Quanta, Introduction to Experiments and Theory*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 3- 540-67274-5.
- [2]. Sansonetti, J.E., MARTÍN, W.C., 2005, *Handbook of Basic Atomic Spectroscopic Data*, American Institute of Physics.
- [3]. Guthöhrlein, G., 2004, Fitter, University of Bundeswehr Hamburg, unpublished.
- [4]. Commission on Isotopic Abundances and Atomic Weights Standard Atomic Weights 2013
- [5]. Schiller, H., Schmih, T., 1935, *Naturwissenschaften* 23, 69.
- [6]. Reddy, M.N., 1992, *Laser Optogalvanic Spectroscopy of Holmium*, J.Opt.Soc.Am.B, Vol.9, No.1, 22-26.
- [7]. Stone, N. J., 2005, *At. Data Nucl. Data Tables*, 90, 75
- [8]. Sugar, J., OPT, J., 1968, *Soc. Am.* 58 1519
- [9]. Goodman, L.S., Schlöfmann, K., *Physik, Z.*, 1964, 178, 235.
- [10]. Ebersold, P., et.al., 1974, *Phys. Letts.* 53-BB, 48.
- [11]. Power, R.J., et.al., 1976, *Nucl. Phys.* A262, 493.
- [12]. Cheng, C., et.al., 1978, *Hyperfine Interact.* 4, 145.
- [13]. Burghardt, B., et.al., 1982, *Hyperfine Structure Measurements in Metastable States of ^{165}Ho* , *Zeitschrift für Physik A Atoms and Nuclei* Volume 307, Issue 3 , pp 193-200.
- [14]. Merzyn, G., et.al., 1972, *The Hyperfine Structure of the Ground State of Ho^{165}* , *Zeitschrift für Physik*, Volume 252, Issue 5 , pp 412-420,

- [15]. Meggers, W.F., Corliss, C.H., Scribner, B.F., 1975, *Tables of spectral-line intensities*, NBS Monograph 145, Part I (National Bureau of Standards, Washington, D.C.), pp. 105–113.
- [16]. Wyart, J.F., 1977, *Etude Du Spectre De l'Holmium Atomique-I*, Physica 92C, 377-396.
- [17]. Wyart, J.F., Camus, P., 1978, *Etude Du Spectre De l'Holmium Atomique-II*, Physica 93C, 227-236.
- [18]. Martin, W.C., et.al., 1978, *Atomic Energy Levels—The Rare Earth Elements*, Institute for Basic Standards, National Bureau of Standards, Washington, D.C.20231.
- [19]. Childs, W.J., et.al., 1983, *New Line Classifications in Ho I Based on High-Precision Hyperfine-Structure Measurement of Low Level*, Optical Society of America, Vol.73, No.2,151-155.
- [20]. Worm, P. Chl., Poulsen, O., 1990, *Lifetimes and Hyperfine Structures in Ho II*, Phys. Scr. 42, 569–573.
- [21]. Smirnovs, yu. M., 1994, Spectrochim. Acta B 49 469.
- [22]. Kroger, S., et.al., 1997, *Theoretical Interpretation of Hyperfine Structures in Doubly-Excited Configurations $4f^{10}5d6s6p$ and $4f^{10}5d^26s$ and New Energy Levels in Neutral Holmium (Ho I)*, Physica Scripta. Vol. 55, 579-585.
- [23]. Den Hartog, E. A., et.al., 1999, *Radiative lifetimes of HoI and HoII*, J. Opt. Soc. Am. B/ Vol. 16, No. 12.
- [24]. Morton, D.C., 2000, *Atomic Data for Resonance Absorption Lines II. Wavelengths Longward of The Lyman Limit for Heavy Elements*, Astrophys. J., Suppl. Ser. 130, 403.
- [25]. Nave, G., 2003, *Atomic Transition Rates for Neutral Holmium (Ho I)*, Opt. Soc. Am.B, Vol.20, No.10, 2193-2202.
- [26]. Lawler, J. E., et.al., 2004, Astrophys. J. 604 850.

- [27]. Gurell, J., et.al., 2009, *Wavelengths Energy Levels and Hyperfine Structure Constants in HoII*, Physica Scripta,79,1-14.
- [28]. Smirnov, YU. M., 2013, *Excitation of Low-Lying Even Levels of Holmium Atom in the Electron-Atom Collisions*, Opt.Spe., Vol.114, No.4, 485-491.
- [29]. Taylor, J.R., Zafaritos, C.D., 1991, *Modern Physics for Scientists and Engineers*, Prentice-Hall Inc.
- [30]. Aygün, E., Zengin, D. M., 2000, *Kuantum Fiziği*, Bilim Yayınları, Ankara, 975-556-005.
- [31]. Woodgate, G. K., 1970, *Elementary Atomic Structure*, McGraw-Hill Publishing Company Limited, England, 07-094137-8.
- [32]. Eisberg, R., Resnick, R., 1974, *Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei and Particles*, John Wiley & Sons, Inc., United States of America, 0-471-23464-8
- [33]. Demtröder, W., 2006, *Atoms, Molecules and Photons, An Introduction to Atomic, Molecular and Quantum Physics*, Springer, Verlag Berlin Heidelberg, 13978-3-540-20631-6.
- [34]. Bransden, B. H., Joachain, C. J., 1999, *Atom ve Molekül Fiziği*, Bilim Yayınları, Ankara, 975-7636-03-7.
- [35]. Kopfermann, H., Schneider, E.E., 1958, *Nuclear Moments*, Academic Press Inc, Catalog Number 56-6607
- [36]. Elton, R.C., 1990. *X-Ray Lasers*, Academic Press.
- [37]. Zhang, Z. G., Somesfalean, G., Svanberg, S., Palmeri, P., Quinet, P., Biemont, E., 2002, A&A, 384, 364
- [38]. Cowley et al., 2004, A, A, 419, 1087.
- [39]. Gray, R.O., Corbally, C.J., 2009, *Stellar Spectral Classification*, Princeton University Press, ISBN: 978-0-691-12510-7.
- [40]. Landstreet, J. D., 2004, in *The S-Star Puzzle*, IAU Symposium No.224, eds. J. Zverko, J. Ziznovsky, S. J. Adelman, W. W. Weiss (Cambridge University Press), P. 423.

- [41]. Sneden, C., McWilliam, A., Preston, G. W., Cowan, J. J., Burris, D. L., Armosky, B. J., 1996, *ApJ*, 467, 819
- [42]. Gravesse, N., Sauval, A. J., 1998, *Space Sci. Rev.*, 85, 161.
- [43]. Bord, D.J. & Cowley, C.R., 2002, *Solar Physics*, 211, 3.
- [44]. Asplund, M., Grevesse, N., Sauval, A.J., Scott, P., 2009, *Annual Review of Astronomy, Astrophysics*, 47, 1, 481.
- [45]. Lodders, K., Palme, H., Gail, H. P., 2009, *Abundances of the Elements in the Solar System*, Landolt-Brnstein - Group VI Astronomy and Astrophysics Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology Volume.
- [46]. Adelman, S. J., Bidelman, W. P., Pyper, D. M., 1979, *ApJS*, 40, 371.
- [47]. Cowley, C.R., Crosswhite, H.M., 1978, *PASP*, 90, 108.
- [48]. Ryabchikova, T. A., Davidova, E. S., Adelman, S. J., 1990, *PASP*, 102, 581.
- [49]. Bidelman, W. P., Cowley, C. R., Iler, A. L., 1995, *Wavelength Identification in the Magnetic CP star HR 465* (Publ. Obs. Michigan USA), vol. XII, No.3.
- [50]. Worm, T., Shi, P., Poulsen, O. 1990, *Phys. Scr.*, 42, 569.
- [51].Minhagen, L., 1973, *J. Opt. Soc. Am.*, 63, 1185.
- [52]. Palmeri. P. & Biemont, E., 1995, *Phys. Scr.*, 51, 76
- [53]. SalomaN, E. B., 2010, *J. Chem. Ref. Data*, 39, 033101.
- [54]. Saloman, E. B. , Sansonetti, C. J., 2004, *J. Phys. Chem. Ref. Data* 33, 1113.
- [55]. Kramida, E. A. , Nave, G., 2006, *Eur. Phys. J. D* 39, 331350

- [56]. Leaner, R.N.M., 1988, Wave Length Calibration of Fourier-Transform emission spectra with application to Fe I, Opt. Soc. Am. B, Vol. 5, No. 10, 2045-2059.
- [57]. Nist Atomic Spectra Database (ver. 5.3), [Online]. Available: <http://physics.nist.gov/asd> [2016, March 5]. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.
- [58]. Messnarz, D., Guthöhrlein, G. H., 2000, Eur. Phys. J. D, 12, 269.
- [59]. Windholz, L., Guthöhrlein, G. H., 2003, Phys. Scr., T 105, 55.
- [60]. Windholz, L., 2015, private communication.
- [61]. Sansonetti, J., E., Martin, W., C., 2005, American Institute of Physics
- [62]. Smirnov, Yu., M., 1994, Spectrochim. Acta B, 49, 469.
- [63]. Biemont, E., Palmeri, P., Quinet, P., Paquin G., Zhang, Z. G., Somesfalean, G., Svanberg, S., 2001, Mnras, 328, 1085.

Ek-1: Ho'un bütün kalan çizgilerin listesi, W; çizgi desen genişliği, nl; yeni spektral çizgi, nc; yeni sınıflandırma, nlc; yeni spektral çizgi ve yeni sınıflandırma, Eğer iki çizgi kendi çizgi desen genişliği içerisinde çıkışıyorsa, (b) blend olarak SNR; spektral geçişin FT'de gözlenen şiddet/gürültü oranı, λ_{hava} ; havadaki ağırlık merkezi dalga boyları, σ ; vakumdaki dalga sayısı,

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	iyoniz.
166?	nl	5	14	0.36	372.3350	26849.90	372.3348	26849.92	Ho I veya Ho III
331?	nl	2	5	0.40	400.0101	24992.31	400.0097	24992.33	Ho I veya Ho III
587?	nl	2	4	0.50	319.4172	31297.99	319.4168	31298.01	Ho I veya Ho III
400?	nl	2	4	0.50	342.7110	29170.74	342.7108	29170.76	Ho I veya Ho III
950?	nl	2	4	0.50	348.1570	28714.45	348.1568	28714.47	Ho I veya Ho III
400?	nl	3	6	0.50	350.3580	28534.07	350.3578	28534.09	Ho I veya Ho III
160?	nl	5	10	0.50	370.0194	27017.95	370.0188	27017.97	Ho I veya Ho III
200?	nlb	3	6	0.50	370.1778	27006.36	370.1776	27006.38	Ho I veya Ho III
348?	nl	2	4	0.50	371.5781	26904.60	371.5778	26904.62	Ho I veya Ho III
361?	nl	11	22	0.50	372.3435	26849.25	372.3438	26849.27	Ho I veya Ho III
2211-	nlb	3	6	0.50	399.5332	25022.15	399.5327	25022.17	Ho I veya Ho III
132?	nl	16	30	0.53	369.1641	27080.52	369.1638	27080.54	Ho I veya Ho III
430?	nl	6	11	0.55	367.3016	27217.80	367.3018	27217.82	Ho I veya Ho III
402?	nl	5	9	0.56	376.6834	26539.98	376.6828	26540.00	Ho I veya Ho III
1236+	nl	5	9	0.56	396.2040	25232.38	396.2038	25232.40	Ho I veya Ho III
1054?	nl	4	7	0.57	322.9459	30955.99	322.9458	30956.01	Ho I veya Ho III
275?	nl	4	7	0.57	366.8137	27254.01	366.8138	27254.03	Ho I veya Ho III

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	iyoniz.
211?	nl	4	7	0.57	371.0202	26945.06	371.0198	26945.08	Ho I veya Ho III
142?	nl	11	19	0.58	366.3951	27285.18	366.3948	27285.20	Ho I veya Ho III
200?	nlb	10	17	0.59	368.3138	27143.02	368.3138	27143.04	Ho I veya Ho III
128?	nl	3	5	0.60	319.0058	31338.33	319.0056	31338.35	Ho I veya Ho III
654?	nl	3	5	0.60	320.1005	31231.11	320.1008	31231.13	Ho I veya Ho III
143?	nl	3	5	0.60	355.4066	28128.72	355.4068	28128.74	Ho I veya Ho III
174?	nl	12	20	0.60	364.0719	27459.27	364.0718	27459.29	Ho I veya Ho III
353?	nl	3	5	0.60	364.6143	27418.45	364.6138	27418.47	Ho I veya Ho III
413?	nl	6	10	0.60	368.0656	27161.31	368.0658	27161.33	Ho I veya Ho III
1310?	nl	3	5	0.60	370.5605	26978.43	370.5608	26978.45	Ho I veya Ho III
731?	nl	3	5	0.60	371.7510	26892.08	371.7508	26892.10	Ho I veya Ho III
397?	nl	3	5	0.60	375.4215	26629.12	375.4218	26629.14	Ho I veya Ho III
604?	nl	3	5	0.60	388.0370	25763.44	388.0368	25763.46	Ho I veya Ho III
612-	nl	6	10	0.60	391.8831	25510.59	391.8828	25510.61	Ho I veya Ho III
375?	nl	3	5	0.60	393.3802	25413.52	393.3798	25413.54	Ho I veya Ho III
128?	nl	3	5	0.60	394.0349	25371.27	394.0348	25371.29	Ho I veya Ho III
380?	nl	3	5	0.60	394.2955	25354.48	394.2958	25354.50	Ho I veya Ho III
631?	nl	37	61	0.61	373.4973	26766.36	373.4968	26766.38	Ho I veya Ho III
212?	nl	8	13	0.62	370.2017	27004.59	370.2018	27004.61	Ho I veya Ho III
127?	nl	39	63	0.62	365.8472	27326.05	365.8468	27326.07	Ho I veya Ho III
175?	nl	5	8	0.63	354.2220	28222.82	354.2218	28222.84	Ho I veya Ho III
700?	nl	5	8	0.63	366.8226	27253.34	366.8228	27253.36	Ho I veya Ho III
149?	nl	17	27	0.63	375.3106	26637.03	375.3108	26637.02	Ho I veya Ho III
1050+	nl	7	11	0.64	366.3235	27290.46	366.3238	27290.48	Ho I veya Ho III
474?	nl	28	44	0.64	373.2618	26783.22	373.2618	26783.24	Ho I veya Ho III

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	iyoniz.
220?	nl	7	11	0.64	375.5054	26623.24	375.5048	26623.26	Ho I veya Ho III
165?	nl	7	11	0.64	397.0963	25175.69	397.0957	25175.72	Ho I veya Ho III
371?	nl	9	14	0.64	348.3888	28695.33	348.3888	28695.35	Ho I veya Ho III
777-	nl	9	14	0.64	394.6281	25333.15	394.6278	25333.17	Ho I veya Ho III
422?	nl	2	3	0.67	337.0505	29660.623	337.0503	29660.64	Ho I veya Ho III
319?	nl	2	3	0.67	340.5273	29357.82	340.5268	29357.84	Ho I veya Ho III
215?	nl	6	9	0.67	354.2944	28217.08	354.2938	28217.10	Ho I veya Ho III
788?	nl	2	3	0.67	354.5101	28199.89	354.5098	28199.91	Ho I veya Ho III
299?	nl	6	9	0.67	356.7391	28023.69	356.7388	28023.71	Ho I veya Ho III
210?	nl	4	6	0.67	358.5234	27884.25	358.5228	27884.27	Ho I veya Ho III
800?	nl	4	6	0.67	361.5761	27648.82	361.5758	27648.84	Ho I veya Ho III
835-	nl	10	15	0.67	366.2431	27296.49	366.2428	27296.52	Ho I veya Ho III
916+	nl	6	9	0.67	367.9412	27170.53	367.9408	27170.55	Ho I veya Ho III
396?	nl	10	15	0.67	369.3461	27067.18	369.3458	27067.20	Ho I veya Ho III
834?	nl	12	18	0.67	369.5665	27050.99	369.5668	27051.01	Ho I veya Ho III
370?	nl	4	6	0.67	376.3231	26565.37	376.3228	26565.39	Ho I veya Ho III
327?	nl	4	6	0.67	398.7519	25071.15	398.7517	25071.17	Ho I veya Ho III
195?	nl	58	86	0.67	372.4494	26841.68	372.4488	26841.70	Ho I veya Ho III
1117+	nl	17	25	0.68	367.6133	27194.78	367.6128	27194.80	Ho I veya Ho III
335?	nl	7	10	0.70	336.9808	29666.74	336.9808	29666.76	Ho I veya Ho III
394?	nl	7	10	0.70	359.9035	27777.26	359.9038	27777.28	Ho I veya Ho III
1040+	nl	7	10	0.70	366.7755	27256.83	366.7758	27256.85	Ho I veya Ho III
274?	nl	7	10	0.70	367.1426	27229.59	367.1428	27229.61	Ho I veya Ho III
160?	nl	24	34	0.71	370.8973	26953.99	370.8968	26954.01	Ho I veya Ho III
181?	nl	12	17	0.71	378.8367	26389.08	378.8368	26389.10	Ho I veya Ho III

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	iyoniz.
469?	nl	12	17	0.71	399.7613	25007.87	399.7607	25007.89	Ho I veya Ho III
233?	nl	5	7	0.71	340.6798	29344.64	340.6798	29344.66	Ho I veya Ho III
159?	nl	5	7	0.71	345.8404	28906.82	345.8398	28906.84	Ho I veya Ho III
173?	nl	10	14	0.71	362.8220	27553.87	362.8218	27553.89	Ho I veya Ho III
495?	nl	5	7	0.71	365.0789	27383.53	365.0788	27383.55	Ho I veya Ho III
802+	nl	10	14	0.71	366.9951	27240.57	366.9948	27240.59	Ho I veya Ho III
239?	nl	10	14	0.71	371.5445	26906.98	371.5448	26907.00	Ho I veya Ho III
457?	nl	5	7	0.71	391.4010	25542.01	391.4008	25542.03	Ho I veya Ho III
103?	nl	5	7	0.71	394.5952	25335.27	394.5948	25335.29	Ho I veya Ho III
149?	nl	18	25	0.72	366.1728	27301.72	366.1728	27301.74	Ho I veya Ho III
467?	nl	44	61	0.72	364.0189	27463.27	364.0188	27463.29	Ho I veya Ho III
294?	nlb	48	66	0.73	364.1252	27455.27	364.1248	27455.29	Ho I veya Ho III
153?	nl	8	11	0.73	370.6359	26972.97	370.6358	26972.99	Ho I veya Ho III
338?	nl	8	11	0.73	373.1251	26793.05	373.1248	26793.07	Ho I veya Ho III
167?	nl	41	56	0.73	371.4676	26912.59	371.4674	26912.61	Ho I veya Ho III
174?	nl	33	45	0.73	371.8827	26882.53	371.8828	26882.55	Ho I veya Ho III
137?	nl	32	43	0.74	372.5093	26837.36	372.5088	26837.38	Ho I veya Ho III
159?	nl	3	4	0.75	388.1452	25756.27	388.1448	25756.29	Ho I veya Ho III
472?	nl	6	8	0.75	322.0117	31045.78	322.0118	31045.80	Ho I veya Ho III
515+	nl	6	8	0.75	346.8098	28825.98	346.8098	28826.00	Ho I veya Ho III
593?	nl	6	8	0.75	348.4170	28693.03	348.4168	28693.05	Ho I veya Ho III
448?	nl	9	12	0.75	350.3198	28537.17	350.3198	28537.19	Ho I veya Ho III
270?	nl	3	4	0.75	355.0967	28153.28	355.0968	28153.30	Ho I veya Ho III
291?	nl	3	4	0.75	356.4213	28048.67	356.4208	28048.72	Ho I veya Ho III
238?	nl	3	4	0.75	360.8161	27707.05	360.8158	27707.07	Ho I veya Ho III

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	iyoniz.
128?	nlb	6	8	0.75	364.1219	27455.50	364.1218	27455.52	Ho I veya Ho III
350?	nl	12	16	0.75	367.0707	27234.93	367.0708	27234.95	Ho I veya Ho III
652?	nl	6	8	0.75	369.3707	27065.35	369.3708	27065.37	Ho I veya Ho III
270?	nl	9	12	0.75	370.4778	26984.48	370.4778	26984.50	Ho I veya Ho III
138?	nl	9	12	0.75	371.6376	26900.25	371.6378	26900.27	Ho I veya Ho III
417?	nl	3	4	0.75	375.9393	26592.50	375.9388	26592.52	Ho I veya Ho III
458?	nl	6	8	0.75	379.4642	26345.48	379.4638	26345.50	Ho I veya Ho III
125?	nl	6	8	0.75	388.8785	25707.65	388.8788	25707.67	Ho I veya Ho III
921+	nl	6	8	0.75	393.9775	25374.94	393.9778	25374.96	Ho I veya Ho III
994-	nl	9	12	0.75	399.8826	25000.24	399.8827	25000.26	Ho I veya Ho III
293?	nl	34	45	0.76	364.7380	27409.13	364.7378	27409.15	Ho I veya Ho III
309?	nl	10	13	0.77	341.1199	29306.79	341.1198	29306.81	Ho I veya Ho III
304?	nl	10	13	0.77	367.3971	27210.76	367.3968	27210.78	Ho I veya Ho III
171?	nl	24	31	0.77	350.8649	28492.84	350.8648	28492.86	Ho I veya Ho III
327?	nl	7	9	0.78	362.6077	27570.13	362.6078	27570.15	Ho I veya Ho III
1335?	nlb	7	9	0.78	363.0588	27535.88	363.0588	27535.90	Ho I veya Ho III
512?	nl	7	9	0.78	369.6216	27046.97	369.6218	27046.99	Ho I veya Ho III
512?	nl	7	9	0.78	369.6794	27042.80	369.6788	27042.82	Ho I veya Ho III
508?	nl	7	9	0.78	371.1501	26935.62	371.1498	26935.64	Ho I veya Ho III
629?	nl	7	9	0.78	374.0166	26729.15	374.0168	26729.17	Ho I veya Ho III
161?	nl	14	18	0.78	386.0152	25898.38	386.0148	25898.40	Ho I veya Ho III
211?	nlb	11	14	0.79	377.0160	26516.61	377.0148	26516.63	Ho I veya Ho III
160?	nl	11	14	0.79	395.3264	25288.42	395.3258	25288.44	Ho I veya Ho III
961+	nl	11	14	0.79	398.7766	25069.58	398.7767	25069.60	Ho I veya Ho III
187?	nl	26	33	0.79	350.7970	28498.36	350.7968	28498.38	Ho I veya Ho III

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	iyoniz.
392?	nl	31	39	0.79	397.4557	25152.90	397.4557	25152.92	Ho I veya Ho III
1050-	nl	4	5	0.80	326.8471	30586.54	326.8468	30586.56	Ho I veya Ho III
745+	nl	8	10	0.80	327.6491	30511.66	327.6489	30511.68	Ho I veya Ho III
136?	nl	4	5	0.80	353.6035	28272.14	353.6038	28272.16	Ho I veya Ho III
500?	nl	4	5	0.80	354.1248	28230.55	354.1248	28230.57	Ho I veya Ho III
460?	nl	4	5	0.80	367.2211	27223.80	367.2208	27223.82	Ho I veya Ho III
282?	nl	4	5	0.80	367.3551	27213.87	367.3548	27213.89	Ho I veya Ho III
677?	nl	12	15	0.80	368.6080	27121.37	368.6078	27121.39	Ho I veya Ho III
272?	nl	4	5	0.80	368.8856	27100.93	368.8858	27100.95	Ho I veya Ho III
442?	nl	4	5	0.80	371.3203	26923.29	371.3198	26923.31	Ho I veya Ho III
326?	nl	8	10	0.80	371.3640	26920.10	371.3638	26920.12	Ho I veya Ho III
1196?	nl	4	5	0.80	371.4381	26914.74	371.4378	26914.76	Ho I veya Ho III
352?	nl	8	10	0.80	372.8252	26814.61	372.8248	26814.63	Ho I veya Ho III
230?	nlb	4	5	0.80	374.3922	26702.38	374.3918	26702.40	Ho I veya Ho III
499?	nl	4	5	0.80	385.2131	25952.30	385.2128	25952.32	Ho I veya Ho III
214?	nl	50	62	0.81	368.3778	27138.30	368.3778	27138.32	Ho I
205?	nl	17	21	0.81	356.2674	28060.82	356.2668	28060.84	Ho I
159?	nl	22	27	0.81	362.9631	27543.16	362.9628	27543.18	Ho I
564?	nl	31	38	0.82	371.8613	26884.12	371.8608	26884.14	Ho I
1164+	nl	9	11	0.82	374.2018	26715.94	374.2018	26715.96	Ho I
192?	nlb	92	111	0.83	360.0962	27762.45	360.0958	27762.47	Ho I
439?	nl	5	6	0.83	363.5901	27495.67	363.5898	27495.69	Ho I
527?	nl	5	6	0.83	369.5043	27055.61	369.5038	27055.63	Ho I
160?	nl	10	12	0.83	371.3836	26918.65	371.3838	26918.67	Ho I
618?	nl	10	12	0.83	373.1338	26792.40	373.1338	26792.42	Ho I

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm⁻¹) hesap.	iyoniz.
170?	nl	5	6	0.83	375.5950	26616.86	375.5948	26616.88	Ho I
228?	nl	5	6	0.83	380.7834	26254.42	380.7798	26254.44	Ho I
791?	nl	5	6	0.83	394.3415	25351.52	394.3418	25351.54	Ho I
572?	nl	11	13	0.85	369.1139	27084.19	369.1138	27084.21	Ho I
104?	nl	22	26	0.85	393.1740	25426.83	393.1738	25426.85	Ho I
321?	nl	11	13	0.85	394.9149	25314.74	394.9148	25314.76	Ho I
600?	nl	6	7	0.86	355.8076	28097.02	355.8078	28097.04	Ho I
169?	nl	12	14	0.86	369.0613	27088.08	369.0608	27088.10	Ho I
796?	nl	6	7	0.86	371.7162	26894.593	371.7160	26894.61	Ho I
448?	nl	31	36	0.86	395.1962	25296.74	395.1958	25296.76	Ho I
154?	nl	19	22	0.86	377.5393	26479.79	377.5391	26479.80	Ho I
118?	nl	13	15	0.87	390.2461	25617.60	390.2458	25617.62	Ho I
331?	nl	7	8	0.88	360.5469	27727.72	360.5468	27727.74	Ho I
488?	nl	7	8	0.88	367.6579	27191.45	367.6578	27191.47	Ho I
295?	nl	7	8	0.88	372.6040	26830.51	372.6038	26830.53	Ho I
150?	nl	7	8	0.88	391.7596	25518.60	391.7598	25518.62	Ho I
181?	nlb	7	8	0.88	393.5931	25399.76	393.5928	25399.78	Ho I
151?	nlb	15	17	0.88	373.4129	26772.39	373.4128	26772.41	Ho I
425?	nl	23	26	0.88	362.5867	27571.73	362.5868	27571.75	Ho I
408?	nl	16	18	0.89	353.3345	28293.67	353.3348	28293.69	Ho I
345?	nl	8	9	0.89	368.8289	27105.12	368.8288	27105.14	Ho I
719?	nl	8	9	0.89	376.5761	26547.52	376.5758	26547.54	Ho I
340?	nl	48	54	0.89	377.4608	26485.28	377.4608	26485.30	Ho I
159?	nl	17	19	0.89	371.9005	26881.23	371.9008	26881.25	Ho I
734?	nl	9	10	0.90	369.0336	27090.06	369.0338	27090.08	Ho I

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	iyoniz.
339?	nl	22	24	0.92	326.0837	30658.13	326.0835	30658.15	Ho I
520?	nl	23	25	0.92	366.9596	27243.17	366.9598	27243.19	Ho I
435?	nl	24	26	0.92	368.4518	27132.85	368.4518	27132.87	Ho I
640?	nl	47	50	0.94	374.2445	26712.87	374.2448	26712.89	Ho I
327?	nl	62	65	0.95	374.8345	26670.82	374.8348	26670.84	Ho I
620+	nl	111	115	0.97	368.2596	27147.03	368.2594	27147.04	Ho I
450?	nl	70	71	0.99	360.5774	27725.42	360.5768	27725.44	Ho I
300?	nlb	5	5	1.00	380.9442	26243.11	380.9440	26243.13	Ho I
189?	nl	28	28	1.00	385.2369	25950.69	385.2367	25950.71	Ho I
350?	nlb	4	4	1.00	391.1599	25557.81	391.1588	25557.83	Ho I
800?	nlb	4	4	1.00	335.7910	29771.96	335.7898	29771.98	Ho I
709+	nl	17	17	1.00	329.5613	30334.63	329.5611	30334.65	Ho I
308?	nl	2	2	1.00	337.2663	29641.67	337.2658	29641.69	Ho I
318?	nl	8	8	1.00	341.3140	29290.13	341.3138	29290.15	Ho I
556?	nl	5	5	1.00	344.5916	29011.55	344.5914	29011.56	Ho I
797?	nl	5	5	1.00	345.1659	28963.27	345.1658	28963.29	Ho I
645?	nl	8	8	1.00	345.4365	28940.55	345.4368	28940.57	Ho I
300?	nl	3	3	1.00	346.7723	28829.13	346.7718	28829.15	Ho I
282?	nl	4	4	1.00	347.1940	28794.10	347.1938	28794.12	Ho I
430?	nl	11	11	1.00	347.8171	28742.52	347.8168	28742.54	Ho I
200?	nlb	6	6	1.00	348.0504	28723.25	348.0502	28723.27	Ho I
490?	nlb	5	5	1.00	348.0509	28723.21	348.0507	28723.22	Ho I
402?	nl	6	6	1.00	348.8995	28653.31	348.8998	28653.33	Ho I
410?	nl	20	20	1.00	349.2132	28627.62	349.2128	28627.64	Ho I
942?	nl	7	7	1.00	349.3614	28615.50	349.3608	28615.52	Ho I

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	iyoniz.
314?	nl	4	4	1.00	352.4802	28362.29	352.4798	28362.31	Ho I
482-	nl	18	18	1.00	352.6819	28346.05	352.6818	28346.07	Ho I
1760?	nl	2	2	1.00	352.8745	28330.55	352.8748	28330.57	Ho I
450?	nl	15	15	1.00	353.2131	28303.44	353.2128	28303.46	Ho I
760+	nl	11	11	1.00	353.5216	28278.70	353.5218	28278.72	Ho I
424?	nl	9	9	1.00	353.5596	28275.66	353.5598	28275.68	Ho I
1078?	nl	3	3	1.00	353.8492	28252.57	353.8488	28252.59	Ho I
574?	nl	20	20	1.00	354.0232	28238.68	354.0228	28238.70	Ho I
870+	nlb	30	30	1.00	354.1338	28229.83	354.1338	28229.85	Ho I
1076+	nlb	33	33	1.00	356.7765	28020.71	356.7768	28020.73	Ho I
1120+	nl	8	8	1.00	357.0003	28003.21	356.9998	28003.23	Ho I
290?	nl	8	8	1.00	357.2742	27981.73	357.2738	27981.75	Ho I
382?	nl	5	5	1.00	358.2980	27901.76	358.2978	27901.78	Ho I
444?	nl	7	7	1.00	358.3605	27896.86	358.3608	27896.88	Ho I
319?	nl	7	7	1.00	358.3847	27895.01	358.3845	27895.03	Ho I
458?	nl	4	4	1.00	358.7432	27867.15	358.7428	27867.17	Ho I
600?	nlb	4	4	1.00	358.8663	27857.60	358.8658	27857.62	Ho I
582?	nl	9	9	1.00	358.9150	27853.80	358.9148	27853.82	Ho I
340?	nl	4	4	1.00	359.8439	27781.89	359.8438	27781.91	Ho I
778?	nl	5	5	1.00	360.1763	27756.28	360.1758	27756.30	Ho I
180?	nlb	4	4	1.00	361.3596	27665.57	361.3568	27665.59	Ho I
518?	nl	3	3	1.00	362.2074	27600.65	362.2068	27600.67	Ho I
640?	nl	55	55	1.00	362.3609	27588.92	362.3608	27588.94	Ho I
440?	nl	32	32	1.00	362.4328	27583.44	362.4328	27583.46	Ho I
480?	nlb	9	9	1.00	363.0555	27536.11	363.0558	27536.13	Ho I

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	iyoniz.
681?	nl	19	19	1.00	363.3921	27510.65	363.3918	27510.67	Ho I
290?	nl	7	7	1.00	364.3767	27436.28	364.3768	27436.30	Ho I
835+	nl	8	8	1.00	364.4120	27433.65	364.4118	27433.67	Ho I
1035+	nl	8	8	1.00	365.1798	27375.95	365.1798	27375.97	Ho I
599?	nl	8	8	1.00	365.2958	27367.26	365.2958	27367.28	Ho I
382?	nl	5	5	1.00	365.4076	27358.87	365.4078	27358.89	Ho I
725?	nl	13	13	1.00	365.5601	27347.42	365.5608	27347.44	Ho I
478?	nl	6	6	1.00	365.7001	27337.03	365.6998	27337.05	Ho I
209?	nl	5	5	1.00	365.9813	27316.04	365.9808	27316.06	Ho I
463?	nl	10	10	1.00	366.0705	27309.32	366.0708	27309.34	Ho I
723?	nl	4	4	1.00	366.1611	27302.61	366.1608	27302.63	Ho I
223?	nl	59	59	1.00	366.4635	27280.04	366.4638	27280.06	Ho I
260?	nl	4	4	1.00	367.0670	27235.23	367.0668	27235.24	Ho I
674?	nl	4	4	1.00	367.3434	27214.76	367.3428	27214.78	Ho I
548?	nl	34	34	1.00	367.5083	27202.54	367.5078	27202.56	Ho I
702?	nl	3	3	1.00	367.7367	27185.61	367.7368	27185.63	Ho I
539?	nl	11	11	1.00	368.0743	27160.72	368.0738	27160.74	Ho I
596?	nl	5	5	1.00	368.4670	27131.75	368.4668	27131.77	Ho I
140?	nl	5	5	1.00	368.5854	27123.06	368.5848	27123.08	Ho I
478?	nl	6	6	1.00	368.7308	27112.32	368.7308	27112.34	Ho I
660?	nl	4	4	1.00	369.6447	27045.29	369.6448	27045.31	Ho I
1370?	nl	4	4	1.00	369.6655	27043.75	369.6658	27043.77	Ho I
768?	nl	5	5	1.00	369.7174	27040.02	369.7168	27040.04	Ho I
219?	nl	4	4	1.00	369.9873	27020.26	369.9871	27020.28	Ho I
840?	nl	4	4	1.00	370.0323	27016.98	370.0318	27017.02	Ho I

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	iyoniz.
612?	nl	6	6	1.00	370.3217	26995.84	370.3218	26995.86	Ho I
248?	nl	3	3	1.00	370.4308	26987.90	370.4308	26987.92	Ho I
624?	nl	65	65	1.00	371.0107	26945.71	371.0108	26945.73	Ho I
1235-	nl	60	60	1.00	371.9859	26875.09	371.9858	26875.11	Ho I
649?	nl	5	5	1.00	372.4776	26839.59	372.4778	26839.61	Ho I
913?	nl	4	4	1.00	372.8479	26812.95	372.8478	26812.97	Ho I
439?	nl	4	4	1.00	372.878	26810.80	372.8778	26810.82	Ho I
596?	nl	3	3	1.00	372.9972	26802.24	372.9968	26802.26	Ho I
718?	nl	3	3	1.00	373.2321	26785.37	373.2318	26785.39	Ho I
452?	nlb	6	6	1.00	373.4088	26772.67	373.4088	26772.69	Ho I
490?	nl	3	3	1.00	373.8358	26742.09	373.8358	26742.11	Ho I
200?	nl	24	24	1.00	374.0005	26730.30	374.0008	26730.32	Ho I
1390?	nl	3	3	1.00	374.0549	26726.44	374.0548	26726.46	Ho I
428?	nl	4	4	1.00	374.1973	26716.30	374.1968	26716.32	Ho I
1100?	nl	4	4	1.00	374.4139	26700.81	374.4138	26700.83	Ho I
1255-	nl	17	17	1.00	374.4350	26699.31	374.4348	26699.33	Ho I
470?	nl	5	5	1.00	374.5040	26694.39	374.5038	26694.41	Ho I
214?	nl	20	20	1.00	374.7705	26675.41	374.7703	26675.43	Ho I
434?	nl	4	4	1.00	374.9176	26664.92	374.9178	26664.94	Ho I
800?	nl	3	3	1.00	374.9324	26663.90	374.9322	26663.91	Ho I
256?	nl	5	5	1.00	374.9637	26661.65	374.9638	26661.67	Ho I
160?	nlb	14	14	1.00	375.3717	26632.67	375.3718	26632.69	Ho I
400?	nl	8	8	1.00	375.4445	26627.49	375.4448	26627.51	Ho I
470?	nl	6	6	1.00	375.7131	26608.50	375.7128	26608.52	Ho I
632?	nl	6	6	1.00	377.1850	26504.66	377.1848	26504.68	Ho I

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	iyoniz.
667?	nl	21	21	1.00	377.2383	26500.93	377.2378	26500.95	Ho I
232?	nl	7	7	1.00	377.3301	26494.47	377.3298	26494.49	Ho I
100?	nl	9	9	1.00	377.4544	26485.74	377.4542	26485.76	Ho I
407?	nl	4	4	1.00	377.6737	26470.34	377.6738	26470.36	Ho I
470?	nl	4	4	1.00	377.6893	26469.29	377.6888	26469.31	Ho I
133?	nl	36	36	1.00	378.5224	26411.04	378.5218	26411.06	Ho I
445?	nl	11	11	1.00	379.2329	26361.53	379.2328	26361.55	Ho I
167?	nl	3	3	1.00	379.5339	26340.62	379.5338	26340.64	Ho I
378?	nl	7	7	1.00	384.6252	25991.98	384.6248	25992.00	Ho I
396?	nl	3	3	1.00	385.8949	25906.44	385.8948	25906.46	Ho I
366?	nl	3	3	1.00	387.3906	25806.40	387.3908	25806.42	Ho I
1345+	nl	11	11	1.00	388.5149	25731.74	388.5148	25731.76	Ho I
509?	nl	3	3	1.00	388.8085	25712.28	388.8088	25712.30	Ho I
522?	nl	3	3	1.00	389.1510	25689.69	389.1508	25689.71	Ho I
1050?	nl	5	5	1.00	389.6955	25653.76	389.6958	25653.78	Ho I
816?	nl	6	6	1.00	389.7542	25649.94	389.7538	25649.96	Ho I
665?	nl	8	8	1.00	391.5252	25533.92	391.5248	25533.94	Ho I
230?	nl	13	13	1.00	391.530	25533.59	391.5298	25533.61	Ho I
463?	nl	4	4	1.00	391.5925	25529.49	391.5928	25529.51	Ho I
313?	nl	7	7	1.00	391.8034	25515.80	391.8028	25515.82	Ho I
794-	nl	7	7	1.00	391.8480	25512.87	391.8478	25512.89	Ho I
450?	nl	3	3	1.00	391.9887	25503.70	391.9888	25503.72	Ho I
1027+	nlb	8	8	1.00	392.1517	25493.10	392.1518	25493.12	Ho I
427?	nl	3	3	1.00	392.9322	25442.49	392.9318	25442.51	Ho I
639?	nl	3	3	1.00	393.5761	25400.86	393.5758	25400.88	Ho I

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	iyoniz.
639?	nlb	13	13	1.00	393.5977	25399.44	393.5978	25399.46	Ho I
342?	nl	3	3	1.00	393.7241	25391.31	393.7238	25391.33	Ho I
438?	nl	4	4	1.00	393.7741	25388.09	393.7738	25388.11	Ho I
714?	nl	5	5	1.00	394.1395	25364.51	394.1398	25364.53	Ho I
180?	nl	4	4	1.00	394.3064	25353.84	394.3058	25353.86	Ho I
579?	nl	3	3	1.00	394.3778	25349.21	394.3778	25349.23	Ho I
1182-	nl	4	4	1.00	394.5484	25338.29	394.5478	25338.31	Ho I
726+	nl	5	5	1.00	394.5586	25337.58	394.5588	25337.60	Ho I
135?	nl	19	19	1.00	394.6937	25328.91	394.6938	25328.93	Ho I
487?	nl	95	95	1.00	395.0377	25306.88	395.0375	25306.90	Ho I
121?	nl	20	20	1.00	395.1062	25302.50	395.1058	25302.52	Ho I
587?	nl	5	5	1.00	396.0058	25245.01	396.0058	25245.02	Ho I
236?	nl	5	5	1.00	396.2379	25230.22	396.2378	25230.24	Ho I
900?	nl	6	6	1.00	396.3713	25221.75	396.3708	25221.77	Ho I
267?	nl	18	18	1.00	396.6854	25201.79	396.6848	25201.81	Ho I
247?	nl	4	4	1.00	397.0661	25177.61	397.0657	25177.63	Ho I
146?	nl	13	13	1.00	397.2170	25168.04	397.2167	25168.06	Ho I
626?	nl	3	3	1.00	397.5159	25149.10	397.5157	25149.12	Ho I
505?	nl	4	4	1.00	398.0820	25113.35	398.0817	25113.37	Ho I
806?	nl	6	6	1.00	398.4522	25090.03	398.4517	25090.05	Ho I
970+	nl	9	9	1.00	398.7226	25072.98	398.7227	25073.00	Ho I
987+	nl	8	8	1.00	398.8135	25067.26	398.8137	25067.28	Ho I
678?	nl	11	11	1.00	398.9452	25059.02	398.9447	25059.04	Ho I
338?	nl	4	4	1.00	399.4172	25029.41	399.4167	25029.43	Ho I
1034+	nl	5	5	1.00	399.4513	25027.28	399.4507	25027.30	Ho I

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	iyoniz.
130?	nl	21	20	1.05	368.1813	27152.82	368.1808	27152.84	Ho I
395?	nl	53	50	1.06	362.7598	27558.58	362.7598	27558.60	Ho I
816?	nl	16	15	1.07	368.6933	27115.12	368.6928	27115.14	Ho I
682?	nl	16	15	1.07	369.2917	27071.14	369.2918	27071.16	Ho I
313?	nl	15	14	1.07	343.9545	29065.24	343.9548	29065.26	Ho I
558?	nl	118	110	1.07	390.1164	25626.11	390.1162	25626.13	Ho I
346?	nl	14	13	1.08	376.5192	26551.54	376.5188	26551.56	Ho I
748?	nlb	24	22	1.09	367.4386	27207.65	367.4388	27207.67	Ho I
979-	nl	35	32	1.09	325.8039	30684.46	325.8037	30684.48	Ho I
423?	nl	22	20	1.10	318.6408	31374.23	318.6406	31374.25	Ho I
557?	nl	43	39	1.10	393.0041	25437.82	393.0039	25437.84	Ho I
480?	nl	64	58	1.10	367.7878	27181.84	367.7878	27181.86	Ho I
380?	nl	32	29	1.10	375.4495	26627.14	375.4498	26627.16	Ho I
268?	nl	10	9	1.11	323.2354	30928.31	323.2348	30928.33	Ho I
196?	nlb	100	90	1.11	356.7765	28020.71	356.7768	28020.73	Ho I
438?	nl	29	26	1.12	370.2587	27000.44	370.2588	27000.46	Ho I
386?	nlb	18	16	1.13	370.6036	26975.30	370.6038	26975.32	Ho I
364?	nl	18	16	1.13	377.8168	26460.32	377.8168	26460.34	Ho I
560	nlb	9	8	1.13	392.5093	25469.91	392.5088	25469.93	Ho I
587?	nl	44	39	1.13	359.9137	27776.49	359.9138	27776.51	Ho I
130?	nlb	26	23	1.13	364.0899	27457.91	364.0898	27457.93	Ho I
418?	nl	43	38	1.13	359.2906	27824.65	359.2908	27824.67	Ho I
387?	nl	16	14	1.14	393.8010	25386.35	393.8008	25386.37	Ho I
754?	nl	8	7	1.14	349.1930	28629.26	349.1928	28629.28	Ho I
375?	nl	8	7	1.14	350.0186	28561.70	350.0188	28561.72	Ho I

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	iyoniz.
204?	nl	38	33	1.15	370.5230	26981.20	370.5228	26981.22	Ho I
559?	nl	15	13	1.15	348.7034	28669.49	348.7028	28669.51	Ho I
697-	nl	15	13	1.15	371.1889	26932.79	371.1888	26932.81	Ho I
566+	nl	15	13	1.15	394.5212	25340.02	394.5208	25340.04	Ho I
447?	nl	15	13	1.15	398.3513	25096.39	398.3507	25096.41	Ho I
953+	nl	7	6	1.17	347.2841	28786.63	347.2838	28786.65	Ho I
174?	nl	7	6	1.17	355.3016	28137.03	355.3018	28137.05	Ho I
159?	nl	7	6	1.17	371.5991	26903.07	371.5988	26903.09	Ho I
216?	nl	14	12	1.17	384.7640	25982.59	384.7638	25982.61	Ho I
684?	nl	21	18	1.17	389.7096	25652.84	389.7098	25652.86	Ho I
579?	nl	7	6	1.17	392.0636	25498.82	392.0638	25498.84	Ho I
1150+	nlb	7	6	1.17	396.5882	25207.95	396.5878	25207.97	Ho I
317?	nl	140	120	1.17	396.8653	25190.36	396.8647	25190.38	Ho I
543?	nl	7	6	1.17	397.7988	25131.21	397.7987	25131.23	Ho I
374?	nl	68	58	1.17	376.2958	26567.27	376.2958	26567.29	Ho I
664?	nl	34	29	1.17	399.5834	25019.01	399.5827	25019.03	Ho I
294?	nl	20	17	1.18	349.9151	28570.19	349.9148	28570.21	Ho I
175?	lc	26	22	1.18	385.1796	25954.55	385.1794	25954.57	Ho I
794+	nl	13	11	1.18	388.6689	25721.54	388.6688	25721.56	Ho I
862?	nl	13	11	1.18	394.1989	25360.72	394.1988	25360.74	Ho I
552?	nl	13	11	1.18	396.9190	25186.93	396.9187	25186.95	Ho I
555+	nl	32	27	1.19	372.4207	26843.70	372.4208	26843.72	Ho I
526+	nl	19	16	1.19	317.4328	31493.62	317.4326	31493.64	Ho I
1477-	nlb	19	16	1.19	390.2225	25619.25	390.2208	25619.27	Ho I
472?	nl	440	370	1.19	395.9672	25247.48	395.9668	25247.50	Ho I

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	iyoniz.
1030+	nl	94	79	1.19	366.7970	27255.79	366.7898	27255.81	Ho I
385?	nl	25	21	1.19	374.4533	26698.03	374.4528	26698.05	Ho I
455?	nl	31	26	1.19	366.0614	27310.07	366.0608	27310.09	Ho I
450?	nl	31	26	1.19	397.3136	25161.89	397.3137	25161.91	Ho I
1489?	nl	6	5	1.20	337.8273	29592.45	337.8268	29592.47	Ho I
407?	nl	6	5	1.20	343.2289	29126.72	343.2288	29126.74	Ho I
815-	nl	6	5	1.20	346.8217	28824.98	346.8218	28825.00	Ho I
429?	nl	18	15	1.20	348.3120	28701.68	348.3118	28701.70	Ho I
138?	nl	6	5	1.20	361.1146	27684.11	361.1148	27684.13	Ho I
257?	nl	6	5	1.20	363.6139	27493.85	363.6138	27493.87	Ho I
686?	nlb	6	5	1.20	364.0878	27458.06	364.0878	27458.08	Ho I
874+	nl	12	10	1.20	367.3310	27215.65	367.3308	27215.67	Ho I
440?	nl	6	5	1.20	369.1014	27085.14	369.1008	27085.16	Ho I
447?	nl	6	5	1.20	372.2035	26859.35	372.2038	26859.37	Ho I
143?	nl	108	90	1.20	374.4053	26701.45	374.4048	26701.47	Ho I
549?	nl	12	10	1.20	376.9895	26518.37	376.9898	26518.39	Ho I
169?	nl	6	5	1.20	377.2934	26497.07	377.2928	26497.09	Ho I
444?	nl	36	30	1.20	379.7236	26327.44	379.7238	26327.46	Ho I
194?	nl	6	5	1.20	386.2854	25880.28	386.2848	25880.30	Ho I
760?	nl	6	5	1.20	388.9390	25703.69	388.9388	25703.71	Ho I
387?	nl	6	5	1.20	390.2815	25615.24	390.2818	25615.26	Ho I
157?	nl	6	5	1.20	390.9462	25571.72	390.9460	25571.74	Ho I
103?	nl	6	5	1.20	394.4421	25345.09	394.4418	25345.11	Ho I
913+	nl	36	30	1.20	398.4860	25087.89	398.4857	25087.91	Ho I
443?	nl	95	79	1.20	355.1982	28145.27	355.1978	28145.29	Ho I

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	iyoniz.
396?	nl	53	44	1.20	385.9328	25903.89	385.9328	25903.91	Ho I
608?	nl	70	58	1.21	369.4654	27058.46	369.4648	27058.48	Ho I
483-	nl	23	19	1.21	396.8047	25194.17	396.8048	25194.19	Ho I
428?	nl	40	33	1.21	317.0735	31529.30	317.0733	31529.32	Ho I
500?	nl	33	27	1.22	355.1878	28146.06	355.1878	28146.08	Ho I
330?	nl	11	9	1.22	356.8361	28016.08	356.8358	28016.10	Ho I
560?	nl	71	58	1.22	353.8070	28255.92	353.8068	28255.94	Ho I
181?	nl	27	22	1.23	399.9261	24997.56	399.9257	24997.58	Ho I
265?	nl	16	13	1.23	363.5431	27499.22	363.5428	27499.24	Ho I
1010+	nl	160	130	1.23	399.2532	25039.69	399.2527	25039.71	Ho I
247?	nlb	210	170	1.24	354.1361	28229.67	354.1358	28229.69	Ho I
117?	nl	26	21	1.24	392.2274	25488.22	392.2268	25488.24	Ho I
276?	nl	5	4	1.25	350.9556	28485.45	350.9558	28485.47	Ho I
332?	nl	5	4	1.25	355.7589	28100.89	355.7588	28100.91	Ho I
350?	nl	5	4	1.25	362.2358	27598.44	362.2358	27598.46	Ho I
752?	nl	150	120	1.25	366.2174	27298.44	366.2168	27298.46	Ho I
676?	nl	15	12	1.25	368.7470	27111.15	368.7468	27111.17	Ho I
401?	nl	15	12	1.25	380.4270	26279.27	380.4198	26279.29	Ho I
622?	nl	5	4	1.25	380.4806	26275.06	380.4808	26275.08	Ho I
169?	nl	5	4	1.25	384.5763	25995.29	384.5758	25995.31	Ho I
278?	nl	5	4	1.25	393.0686	25433.62	393.0688	25433.64	Ho I
224?	nl	5	4	1.25	394.8681	25317.75	394.8678	25317.77	Ho I
613+	nl	150	120	1.25	395.7398	25261.97	395.7398	25261.99	Ho I
593-	nl	5	4	1.25	396.0765	25240.47	396.0768	25240.49	Ho I
354?	nl	5	4	1.25	397.5358	25147.84	397.5357	25147.86	Ho I

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm⁻¹) hesap.	iyoniz.
365?	nl	200	160	1.25	398.7621	25070.52	398.7617	25070.54	Ho I
469-	nl	15	12	1.25	399.7941	25005.81	399.7937	25005.83	Ho I
132?	nlb	44	35	1.26	399.5348	25022.02	399.5347	25022.04	Ho I
407?	nl	43	34	1.26	393.3904	25412.87	393.3898	25412.89	Ho I
554?	nl	38	30	1.27	375.0170	26657.88	375.0168	26657.90	Ho I
744?	nl	85	67	1.27	398.1502	25109.06	398.1497	25109.08	Ho I
698+	nl	14	11	1.27	363.1263	27530.8	363.1258	27530.82	Ho I
158?	nl	14	11	1.27	364.9032	27396.74	364.9028	27396.76	Ho I
110?	nl	14	11	1.27	393.5368	25403.38	393.5368	25403.40	Ho I
182?	nl	9	7	1.29	362.9949	27540.74	362.9948	27540.76	Ho I
505?	nl	9	7	1.29	387.9321	25770.41	387.9318	25770.43	Ho I
524?	nlb	27	21	1.29	395.5018	25277.3	395.4998	25277.32	Ho I
209?	nl	22	17	1.29	397.3576	25159.13	397.3573	25159.15	Ho I
470?	nl	13	10	1.30	370.5564	26978.80	370.5558	26978.82	Ho I
432?	nl	13	10	1.30	394.0110	25372.82	394.0108	25372.84	Ho I
668?	nl	13	10	1.30	398.3710	25095.13	398.3707	25095.15	Ho I
975-	nl	65	50	1.30	398.5996	25080.71	398.5997	25080.73	Ho I
620?	nl	60	46	1.30	363.6343	27492.34	363.6338	27492.36	Ho I
765-	nl	17	13	1.31	377.3821	26490.82	377.3818	26490.84	Ho I
556?	nl	34	26	1.31	393.1395	25429.03	393.1398	25429.05	Ho I
134?	nlb	34	26	1.31	396.5910	25207.76	396.5908	25207.78	Ho I
874+	nl	21	16	1.31	367.4498	27206.84	367.4498	27206.86	Ho I
420?	nl	25	19	1.32	365.4556	27355.28	365.4558	27355.30	Ho I
171?	nl	33	25	1.32	389.5848	25661.07	389.5848	25661.09	Ho I
611?	nl	70	53	1.32	390.0802	25628.49	390.0800	25628.51	Ho I

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm⁻¹) hesap.	iyoniz.
704-	nl	78	59	1.32	396.9613	25184.27	396.9607	25184.29	Ho I
172?	nl	44	33	1.33	323.7500	30879.12	323.7498	30879.14	Ho I
508?	nl	4	3	1.33	326.1083	30655.85	326.1078	30655.87	Ho I
421?	nl	4	3	1.33	334.0524	29926.85	334.0518	29926.87	Ho I
134?	nl	4	3	1.33	334.5377	29883.405	334.5375	29883.42	Ho I
291?	nl	4	3	1.33	336.5040	29708.79	336.5038	29708.81	Ho I
520?	nl	4	3	1.33	336.6831	29692.99	336.6828	29693.02	Ho I
876?	nl	4	3	1.33	346.2373	28873.68	346.2368	28873.70	Ho I
919+	nl	8	6	1.33	350.6471	28510.55	350.6468	28510.57	Ho I
1228?	nlb	4	3	1.33	350.9212	28488.28	350.9210	28488.29	Ho I
700?	nl	4	3	1.33	351.5446	28437.73	351.5448	28437.75	Ho I
185?	nl	24	18	1.33	352.7903	28337.37	352.7898	28337.39	Ho I
288?	nl	4	3	1.33	353.6288	28270.14	353.6288	28270.16	Ho I
166?	nl	4	3	1.33	355.9594	28085.10	355.9588	28085.12	Ho I
181?	nl	4	3	1.33	356.0949	28074.37	356.0948	28074.39	Ho I
550?	nl	8	6	1.33	357.2288	27985.26	357.2288	27985.28	Ho I
496?	nl	4	3	1.33	361.8748	27625.97	361.8748	27625.99	Ho I
1113+	nl	12	9	1.33	362.1875	27602.10	362.1878	27602.12	Ho I
241?	nl	4	3	1.33	363.4319	27507.62	363.4318	27507.64	Ho I
550?	nl	4	3	1.33	364.1912	27450.30	364.1908	27450.32	Ho I
330?	nl	4	3	1.33	365.1315	27379.55	365.1318	27379.57	Ho I
356?	nl	4	3	1.33	367.0373	27237.45	367.0368	27237.47	Ho I
1590?	nl	4	3	1.33	367.1622	27228.18	367.1618	27228.20	Ho I
207?	nl	8	6	1.33	367.3722	27212.61	367.3718	27212.63	Ho I
499?	nl	4	3	1.33	374.4681	26696.96	374.4678	26696.98	Ho I

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	iyoniz.
881?	nl	12	9	1.33	378.0364	26444.99	378.0358	26445.01	Ho I
546?	nl	4	3	1.33	382.5793	26130.98	382.5788	26131.00	Ho I
883+	nl	8	6	1.33	388.0016	25765.76	388.0018	25765.78	Ho I
1507?	nl	4	3	1.33	389.8205	25645.53	389.8208	25645.55	Ho I
341?	nl	4	3	1.33	390.3288	25612.16	390.3288	25612.18	Ho I
477?	nl	8	6	1.33	391.2986	25548.67	391.2988	25548.69	Ho I
1357?	nl	4	3	1.33	393.3391	25416.17	393.3388	25416.19	Ho I
155?	nl	8	6	1.33	393.7017	25392.73	393.7018	25392.75	Ho I
505?	nl	24	18	1.33	395.4752	25278.88	395.4750	25278.90	Ho I
1064+	nl	4	3	1.33	399.6700	25013.57	399.6697	25013.59	Ho I
343?	nl	32	24	1.33	389.5226	25665.18	389.5224	25665.20	Ho I
147?	nl	35	26	1.35	349.9573	28566.74	349.9571	28566.76	Ho I
712?	nl	62	46	1.35	392.9823	25439.25	392.9818	25439.27	Ho I
609-	nl	58	43	1.35	395.0000	25309.29	394.9998	25309.31	Ho I
353?	nl	190	140	1.36	345.1215	28966.96	345.1218	28966.98	Ho I
745-	nl	190	140	1.36	357.0353	28000.46	357.0348	28000.48	Ho I
444?	nl	34	25	1.36	370.6694	26970.57	370.6688	26970.59	Ho I
761?	nl	49	36	1.36	395.3694	25285.67	395.3688	25285.69	Ho I
633?	nl	64	47	1.36	346.5633	28846.52	346.5628	28846.54	Ho I
458-	nl	11	8	1.38	336.9589	29668.68	336.9588	29668.70	Ho I
164?	nl	14	10	1.40	340.7532	29338.35	340.7528	29338.37	Ho I
700?	nl	7	5	1.40	366.0181	27313.28	366.0178	27313.30	Ho I
763?	nl	7	5	1.40	372.4584	26841.03	372.4578	26841.05	Ho I
437?	nl	7	5	1.40	385.7046	25919.20	385.7048	25919.22	Ho I
1003+	nl	17	12	1.42	365.4891	27352.81	365.4888	27352.83	Ho I

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	iyoniz.
220?	nlb	17	12	1.42	387.4053	25805.46	387.4048	25805.48	Ho I
719?	nl	10	7	1.43	347.9276	28733.35	347.9278	28733.37	Ho I
510?	nl	10	7	1.43	361.1009	27685.19	361.1007	27685.21	Ho I
283?	nl	10	7	1.43	376.0452	26585.01	376.0448	26585.03	Ho I
168?	nl	13	9	1.44	336.0111	29752.37	336.0109	29752.39	Ho I
460?	nl	26	18	1.44	375.9729	26590.10	375.9728	26590.12	Ho I
891+	nl	13	9	1.44	392.0149	25502.01	392.0148	25502.03	Ho I
1070+	nl	13	9	1.44	397.7428	25134.75	397.7427	25134.77	Ho I
647?	nl	35	24	1.46	344.8376	28990.82	344.8378	28990.84	Ho I
450?	nlb	41	28	1.46	349.8859	28572.56	349.8858	28572.58	Ho I
225?	nl	3	2	1.50	319.3563	31303.94	319.3561	31303.96	Ho I veya Ho II
214?	nl	3	2	1.50	328.0819	30471.40	328.0818	30471.42	Ho I veya Ho II
450?	nl	3	2	1.50	334.7994	29860.08	334.7988	29860.10	Ho I veya Ho II
379?	nl	9	6	1.50	340.6276	29349.12	340.6278	29349.14	Ho I veya Ho II
900?	nl	3	2	1.50	347.4805	28770.31	347.4808	28770.33	Ho I veya Ho II
361?	nl	18	12	1.50	349.2495	28624.59	349.2498	28624.61	Ho I veya Ho II
1142+	nl	6	4	1.50	353.8741	28250.57	353.8738	28250.59	Ho I veya Ho II
418?	nl	9	6	1.50	355.8932	28090.31	355.8928	28090.33	Ho I veya Ho II
516?	nl	3	2	1.50	360.3103	27745.96	360.3098	27745.98	Ho I veya Ho II
404?	nl	6	4	1.50	365.7202	27335.53	365.7198	27335.55	Ho I veya Ho II
1130?	nl	3	2	1.50	367.9053	27173.19	367.9048	27173.21	Ho I veya Ho II
401?	nl	6	4	1.50	370.3438	26994.24	370.3438	26994.26	Ho I veya Ho II
1090?	nl	3	2	1.50	372.6185	26829.43	372.6188	26829.45	Ho I veya Ho II
1080?	nl	3	2	1.50	373.7962	26744.96	373.7958	26744.98	Ho I veya Ho II
288?	nl	3	2	1.50	377.2528	26499.88	377.2528	26499.90	Ho I veya Ho II

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm⁻¹) hesap.	iyoniz.
1025+	nl	6	4	1.50	377.4390	26486.82	377.4388	26486.84	Ho I veya Ho II
275?	nl	3	2	1.50	390.7142	25586.92	390.7138	25586.94	Ho I veya Ho II
438?	nl	3	2	1.50	390.8923	25575.27	390.8918	25575.29	Ho I veya Ho II
880+	nlb	6	4	1.50	392.1552	25492.90	392.1548	25492.92	Ho I veya Ho II
1882-	nl	6	4	1.50	392.4542	25473.48	392.4538	25473.50	Ho I veya Ho II
1531-	nlb	6	4	1.50	392.5602	25466.60	392.5598	25466.62	Ho I veya Ho II
412?	nl	3	2	1.50	394.0974	25367.28	394.0968	25367.30	Ho I veya Ho II
222?	nl	12	8	1.50	397.3040	25162.52	397.3037	25162.54	Ho I veya Ho II
481?	nl	6	4	1.50	397.6316	25141.77	397.6317	25141.79	Ho I veya Ho II
353?	nl	3	2	1.50	398.5265	25085.31	398.5267	25085.33	Ho I veya Ho II
678?	nl	3	2	1.50	398.9809	25056.76	398.9807	25056.78	Ho I veya Ho II
170?	nl	14	9	1.56	369.1466	27081.77	369.1468	27081.79	Ho I veya Ho II
980?	nl	14	9	1.56	375.7198	26608.02	375.7198	26608.02	Ho I veya Ho II
604?	nl	11	7	1.57	375.0451	26655.89	375.0448	26655.91	Ho I veya Ho II
557?	nl	8	5	1.60	369.4500	27059.56	369.4498	27059.58	Ho I veya Ho II
733?	nl	8	5	1.60	376.5079	26552.31	376.5078	26552.33	Ho I veya Ho II
139?	nl	16	10	1.60	379.7294	26327.09	379.7288	26327.11	Ho I veya Ho II
779?	nlb	16	10	1.60	392.2921	25483.99	392.2918	25484.02	Ho I veya Ho II
311?	nlb	8	5	1.60	392.554	25466.99	392.5538	25467.01	Ho I veya Ho II
1350?	nlb	7	2	1.60	350.9070	28489.43	350.9068	28489.45	Ho I veya Ho II
504?	nl	13	8	1.63	385.7510	25916.11	385.7508	25916.13	Ho I veya Ho II
313?	nl	5	3	1.67	334.1193	29920.85	334.1188	29920.87	Ho I veya Ho II
350?	nl	5	3	1.67	334.7362	29865.70	334.7358	29865.72	Ho I veya Ho II
926?	nl	5	3	1.67	338.3790	29544.18	338.3788	29544.20	Ho I veya Ho II
631?	nl	5	3	1.67	340.1601	29389.49	340.1599	29389.51	Ho I veya Ho II

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm⁻¹) hesap.	iyoniz.
2238-	nl	5	3	1.67	341.4287	29280.27	341.4288	29280.29	Ho I veya Ho II
685?	nl	5	3	1.67	345.9076	28901.14	345.9078	28901.16	Ho I veya Ho II
261?	nl	5	3	1.67	350.4532	28526.34	350.4528	28526.36	Ho I veya Ho II
773?	nl	5	3	1.67	350.5414	28519.17	350.5408	28519.19	Ho I veya Ho II
423?	nl	5	3	1.67	354.4687	28203.15	354.4688	28203.17	Ho I veya Ho II
574?	nl	10	6	1.67	358.9864	27848.29	358.9858	27848.31	Ho I veya Ho II
129?	nl	5	3	1.67	362.4046	27585.57	362.4048	27585.59	Ho I veya Ho II
1286-	nl	5	3	1.67	364.5854	27420.63	364.5848	27420.65	Ho I veya Ho II
306?	nl	5	3	1.67	366.0916	27307.76	366.0918	27307.78	Ho I veya Ho II
109?	nl	5	3	1.67	370.4499	26986.52	370.4497	26986.54	Ho I veya Ho II
150?	nlb	5	3	1.67	374.3883	26702.67	374.3878	26702.69	Ho I veya Ho II
519?	nl	5	3	1.67	379.9763	26309.98	379.9758	26310.00	Ho I veya Ho II
571?	nl	5	3	1.67	387.9812	25767.15	387.9808	25767.17	Ho I veya Ho II
570?	nl	5	3	1.67	390.5410	25598.25	390.5408	25598.27	Ho I veya Ho II
265?	nl	5	3	1.67	392.9607	25440.61	392.9608	25440.63	Ho I veya Ho II
258?	nl	5	3	1.67	393.9271	25378.23	393.9268	25378.25	Ho I veya Ho II
997?	nl	5	3	1.67	394.1832	25361.75	394.1828	25361.77	Ho I veya Ho II
1518-	nl	10	6	1.67	395.0189	25308.08	395.0187	25308.10	Ho I veya Ho II
1688-	nl	10	6	1.67	398.4233	25091.85	398.4227	25091.87	Ho I veya Ho II
1150+	nl	5	3	1.67	398.8602	25064.36	398.8597	25064.38	Ho I veya Ho II
185?	nl	7	4	1.75	389.2689	25681.90	389.2688	25681.92	Ho I veya Ho II
850+	nl	7	4	1.75	393.9523	25376.62	393.9518	25376.64	Ho I veya Ho II
549?	nl	7	4	1.75	398.0652	25114.42	398.0647	25114.44	Ho I veya Ho II
889+	nl	18	10	1.80	330.2438	30271.92	330.2438	30271.94	Ho I veya Ho II
511?	nl	9	5	1.80	361.9928	27616.97	361.9928	27616.99	Ho I veya Ho II

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	iyoniz.
130?	nl	9	5	1.80	362.0861	27609.87	362.0858	27609.89	Ho I veya Ho II
1128+	nl	9	5	1.80	388.1340	25757.00	388.1338	25757.02	Ho I veya Ho II
426?	nlb	20	11	1.82	396.3306	25224.30	396.3308	25224.32	Ho II
335?	nl	74	38	1.95	397.4486	25153.37	397.4483	25153.39	Ho II
900?	nl	4	2	2.00	327.8188	30495.85	327.8188	30495.87	Ho II
1215?	nl	4	2	2.00	334.4737	29889.10	334.4738	29889.12	Ho II
323?	nl	8	4	2.00	338.2249	29557.63	338.2248	29557.65	Ho II
667?	nl	4	2	2.00	339.6419	29434.32	339.6418	29434.34	Ho II
1600?	nl	6	3	2.00	343.5626	29098.40	343.5628	29098.42	Ho II
335?	nl	4	2	2.00	345.5419	28931.75	345.5418	28931.77	Ho II
843+	nl	8	4	2.00	346.1356	28882.10	346.1358	28882.12	Ho II
1000?	nl	6	3	2.00	347.4699	28771.22	347.4698	28771.24	Ho II
1500?	nl	4	2	2.00	347.8042	28743.60	347.8038	28743.62	Ho II
1570?	nl	6	3	2.00	354.0020	28240.36	354.0018	28240.38	Ho II
1000?	nl	4	2	2.00	354.3851	28209.84	354.3848	28209.86	Ho II
833?	nl	4	2	2.00	363.3337	27515.04	363.3338	27515.06	Ho II
634?	nl	6	3	2.00	364.0094	27464.02	364.0088	27464.04	Ho II
165?	nl	4	2	2.00	365.3139	27365.91	365.3138	27365.93	Ho II
613?	nl	4	2	2.00	365.7676	27331.95	365.7678	27331.97	Ho II
675?	nl	8	4	2.00	367.0289	27238.05	367.0288	27238.07	Ho II
1260?	nl	4	2	2.00	367.8609	27176.44	367.8608	27176.46	Ho II
955?	nl	4	2	2.00	368.9144	27098.87	368.9138	27098.89	Ho II
168?	nl	4	2	2.00	370.2712	26999.56	370.2708	26999.58	Ho II
140?	nl	18	9	2.00	372.1341	26864.40	372.1338	26864.42	Ho II
612?	nl	4	2	2.00	372.5960	26831.09	372.5958	26831.11	Ho II

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	iyoniz.
544?	nl	6	3	2.00	373.6697	26753.97	373.6698	26753.99	Ho II
1102-	nl	8	4	2.00	373.7665	26747.03	373.7668	26747.05	Ho II
1200?	nl	4	2	2.00	374.1509	26719.58	374.1508	26719.60	Ho II
480?	nl	4	2	2.00	375.6960	26609.70	375.6958	26609.72	Ho II
1096?	nl	4	2	2.00	376.0195	26586.77	376.0198	26586.79	Ho II
651?	nl	4	2	2.00	379.8246	26320.47	379.8244	26320.48	Ho II
1439?	nl	4	2	2.00	380.1296	26299.32	380.1298	26299.34	Ho II
228?	nl	4	2	2.00	380.7035	26259.67	380.7038	26259.69	Ho II
1400?	nl	4	2	2.00	387.2895	25813.13	387.2898	25813.15	Ho II
948?	nl	4	2	2.00	388.4172	25738.23	388.4168	25738.25	Ho II
641?	nl	4	2	2.00	389.0007	25699.59	389.0008	25699.61	Ho II
250?	nl	4	2	2.00	390.6309	25592.36	390.6308	25592.38	Ho II
223?	nl	4	2	2.00	390.7492	25584.63	390.7488	25584.65	Ho II
981?	nlb	8	4	2.00	392.3349	25481.21	392.3347	25481.23	Ho II
721?	nl	4	2	2.00	392.3728	25478.74	392.3728	25478.76	Ho II
1190?	nl	4	2	2.00	397.2044	25168.86	397.2037	25168.88	Ho II
714?	nlb	14	7	2.00	397.8687	25126.79	397.8687	25126.81	Ho II
2073-	nl	9	4	2.25	347.2263	28791.44	347.2258	28791.46	Ho II
795?	nl	9	4	2.25	389.9665	25635.93	389.9668	25635.95	Ho II
1159+	nl	9	4	2.25	397.3838	25157.46	397.3837	25157.48	Ho II
911+	nl	7	3	2.33	344.3349	29033.16	344.3348	29033.18	Ho II
850?	nlb	7	3	2.33	348.0504	28723.20	348.0502	28723.27	Ho II
1629?	nl	7	3	2.33	348.6334	28675.25	348.6328	28675.27	Ho II
290?	nl	7	3	2.33	356.9345	28008.31	356.9348	28008.33	Ho II
1500?	nl	7	3	2.33	366.7050	27262.11	366.7048	27262.13	Ho II

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	iyoniz.
878-	nl	7	3	2.33	371.1286	26937.14	371.1288	26937.16	Ho II
2065+	nl	7	3	2.33	394.8574	25318.46	394.8568	25318.48	Ho II
2378+	nl	28	12	2.33	398.6588	25077.01	398.6587	25077.02	Ho II
315?	nl	12	5	2.40	398.2040	25105.65	398.2037	25105.67	Ho II
341?	nl	5	2	2.50	324.7929	30779.96	324.7928	30779.98	Ho II
1250?	nl	5	2	2.50	334.7705	29862.58	334.7708	29862.60	Ho II
300?	nl	5	2	2.50	334.8589	29854.74	334.8587	29854.76	Ho II
896?	nl	5	2	2.50	337.3346	29635.61	337.3348	29635.63	Ho II
676?	nl	5	2	2.50	337.5070	29620.51	337.5068	29620.53	Ho II
915?	nl	5	2	2.50	338.5815	29526.46	338.5818	29526.48	Ho II
295?	nl	5	2	2.50	344.1688	29047.18	344.1686	29047.20	Ho II
1900?	nl	5	2	2.50	344.8944	28986.08	344.8942	28986.09	Ho II
316?	nl	5	2	2.50	346.9057	28818.02	346.9058	28818.02	Ho II
190?	nl	5	2	2.50	347.4913	28769.49	347.4908	28769.51	Ho II
108?	nl	5	2	2.50	347.7538	28747.73	347.7538	28747.75	Ho II
945?	nl	5	2	2.50	350.3407	28535.45	350.3408	28535.47	Ho II
673?	nl	5	2	2.50	353.1208	28310.81	353.1208	28310.83	Ho II
373?	nl	5	2	2.50	354.9679	28163.51	354.9678	28163.53	Ho II
935?	nl	5	2	2.50	356.7220	28025.03	356.7218	28025.05	Ho II
1460?	nl	15	6	2.50	363.4733	27504.52	363.4728	27504.54	Ho II
1580-	nl	10	4	2.50	372.1274	26864.90	372.1268	26864.92	Ho II
748?	nl	5	2	2.50	378.2653	26428.99	378.2648	26429.01	Ho II
800?	nl	5	2	2.50	391.2449	25552.19	391.2448	25552.21	Ho II
532?	nl	10	4	2.50	392.4586	25473.15	392.4588	25473.17	Ho II
1519-	nl	5	2	2.50	393.2752	25420.30	393.2748	25420.32	Ho II

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	iyoniz.
567-	nl	5	2	2.50	393.9008	25379.90	393.9008	25379.92	Ho II
641?	nl	5	2	2.50	397.0120	25181.03	397.0117	25181.05	Ho II
602?	nl	98	38	2.58	359.8642	27780.35	359.8638	27780.37	Ho II
215?	nl	31	12	2.58	354.4810	28202.20	354.4808	28202.22	Ho II
1228+	nl	13	5	2.60	364.2388	27446.68	364.2388	27446.70	Ho II
2414-	nl	39	15	2.60	369.1334	27082.80	369.1328	27082.82	Ho II
2070-	nl	8	3	2.67	358.2837	27902.85	358.2838	27902.87	Ho II
1950+	nl	16	6	2.67	358.9759	27849.07	358.9758	27849.09	Ho II
1525+	nl	16	6	2.67	395.0307	25307.32	395.0305	25307.34	Ho II
134?	nl	24	9	2.67	395.9828	25246.46	395.9828	25246.48	Ho II
166?	nl	8	3	2.67	396.1523	25235.69	396.1518	25235.71	Ho II
2408+	nlb	108	40	2.70	397.6954	25137.79	397.6947	25137.81	Ho II
1200?	nl	19	7	2.71	367.4817	27204.47	367.4818	27204.49	Ho II
1859-	nl	11	4	2.75	348.5855	28679.12	348.5858	28679.14	Ho II
1636-	nl	11	4	2.75	353.9252	28246.50	353.9248	28246.52	Ho II
2962+	nl	22	8	2.75	363.2512	27521.33	363.2508	27521.35	Ho II
1855-	nl	22	8	2.75	372.1808	26861.01	372.1808	26861.03	Ho II
674+	nl	14	5	2.80	363.2921	27518.22	363.2918	27518.24	Ho II
1482-	nlb	9	3	3.00	347.3910	28777.85	347.3898	28777.87	Ho II
784?	nl	3	1	3.00	318.7093	31367.48	318.7091	31367.50	Ho II
128?	nl	3	1	3.00	318.8550	31353.15	318.8548	31353.17	Ho II
98?	nl	3	1	3.00	318.9651	31342.33	318.9649	31342.35	Ho II
676?	nl	3	1	3.00	319.4498	31294.76	319.4498	31294.78	Ho II
241?	nl	3	1	3.00	322.2716	31020.73	322.2718	31020.75	Ho II
1336?	nl	3	1	3.00	322.5183	30997.07	322.5178	30997.09	Ho II

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	iyoniz.
797?	nl	3	1	3.00	322.6048	30988.71	322.6048	30988.73	Ho II
557?	nl	3	1	3.00	322.6172	30987.56	322.6168	30987.58	Ho II
959?	nl	3	1	3.00	327.7379	30503.39	327.7378	30503.41	Ho II
784?	nl	3	1	3.00	329.1271	30374.66	329.1268	30374.68	Ho II
549?	nl	6	2	3.00	333.3159	29992.94	333.3157	29992.96	Ho II
287?	nl	3	1	3.00	333.6560	29962.37	333.6558	29962.39	Ho II
373?	nl	6	2	3.00	335.6977	29780.12	335.6978	29780.14	Ho II
266?	nl	3	1	3.00	335.9456	29758.14	335.9458	29758.16	Ho II
1050-	nl	3	1	3.00	336.8353	29679.60	336.8348	29679.62	Ho II
650?	nl	3	1	3.00	337.3931	29630.51	337.3928	29630.53	Ho II
1553?	nl	6	2	3.00	338.4929	29534.23	338.4928	29534.25	Ho II
421?	nl	3	1	3.00	340.9815	29318.65	340.9818	29318.67	Ho II
1860?	nl	6	2	3.00	341.1580	29303.52	341.1578	29303.54	Ho II
1450-	nl	6	2	3.00	345.3820	28945.155	345.3818	28945.17	Ho II
1750?	nlb	13	8	3.00	350.9038	28489.67	350.9038	28489.69	Ho II
650?	nl	12	4	3.00	351.0449	28478.23	351.0448	28478.25	Ho II
1759-	nl	12	4	3.00	352.0189	28399.44	352.0188	28399.46	Ho II
1600-	nl	9	3	3.00	354.6192	28191.22	354.6188	28191.24	Ho II
2200-	nl	6	2	3.00	355.0573	28156.45	355.0568	28156.47	Ho II
1095+	nl	12	4	3.00	361.2988	27670.01	361.2988	27670.03	Ho II
712?	nlb	3	1	3.00	361.3596	27665.34	361.3598	27665.36	Ho II
1678-	nl	12	4	3.00	362.0003	27616.43	361.9998	27616.45	Ho II
1483+	nl	18	6	3.00	362.5468	27574.77	362.5468	27574.79	Ho II
1434-	nl	6	2	3.00	364.9615	27392.31	364.9618	27392.33	Ho II
514+	nlb	18	6	3.00	367.4350	27207.95	367.4348	27207.97	Ho II

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	iyoniz.
2100?	nlb	6	2	3.00	368.3124	27143.17	368.3118	27143.19	Ho II
691?	nl	9	3	3.00	368.6748	27116.44	368.6748	27116.46	Ho II
1542+	nl	6	2	3.00	370.6795	26969.77	370.6798	26969.79	Ho II
2035-	nl	15	5	3.00	370.9235	26952.03	370.9238	26952.05	Ho II
1350+	nl	9	3	3.00	371.0709	26941.35	371.0708	26941.37	Ho II
1580?	nl	3	1	3.00	371.1681	26934.31	371.1678	26934.33	Ho II
2020?	nl	6	2	3.00	371.3748	26919.30	371.3748	26919.32	Ho II
743?	nl	3	1	3.00	373.9887	26731.15	373.9888	26731.17	Ho II
835?	nl	3	1	3.00	377.3042	26496.30	377.3038	26496.32	Ho II
675?	nl	6	2	3.00	379.0992	26370.83	379.0990	26370.85	Ho II
404?	nl	3	1	3.00	385.3138	25945.50	385.3138	25945.52	Ho II
472?	nl	3	1	3.00	387.8581	25775.33	387.8578	25775.35	Ho II
1653?	nl	3	1	3.00	389.5419	25663.90	389.5418	25663.92	Ho II
900?	nlb	3	1	3.00	389.8589	25643.03	389.8588	25643.05	Ho II
548?	nl	3	1	3.00	391.5299	25533.20	391.5358	25533.22	Ho II
1158+	nl	6	2	3.00	391.9601	25505.58	391.9598	25505.60	Ho II
1631?	nl	6	2	3.00	392.9916	25438.61	392.9918	25438.63	Ho II
826-	nl	3	1	3.00	393.5280	25403.96	393.5278	25403.98	Ho II
936?	nl	3	1	3.00	396.2246	25231.05	396.2248	25231.07	Ho II
1419?	nl	3	1	3.00	396.4061	25219.52	396.4058	25219.54	Ho II
210?	nl	6	2	3.00	396.4509	25216.67	396.4507	25216.68	Ho II
399?	nl	6	2	3.00	397.3906	25157.02	397.3907	25157.04	Ho II
565?	nl	3	1	3.00	398.9116	25061.10	398.9117	25061.12	Ho II
1600+	nl	6	2	3.00	399.0648	25051.49	399.0647	25051.51	Ho II
1521+	nl	9	3	3.00	399.6170	25016.89	399.6167	25016.91	Ho II

EK-1 (devamı):

W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	iyoniz.
3250+	nl	49	16	3.06	362.6821	27564.50	362.6818	27564.52	Ho II
1430-	nl	25	8	3.13	342.8047	29162.77	342.8045	29162.78	Ho II
1200?	nl	22	7	3.14	367.4692	27204.99	367.4748	27205.01	Ho II
2299-	nl	16	5	3.20	367.7651	27183.54	367.7648	27183.56	Ho II
980+	nl	58	18	3.22	355.6798	28107.15	355.6796	28107.16	Ho II
1768+	nlb	13	4	3.25	397.8737	25126.50	397.8734	25126.51	Ho II
1626+	nl	20	6	3.33	359.3111	27823.10	359.3108	27823.12	Ho II
629?	nl	10	3	3.33	365.4442	27356.18	365.4438	27356.20	Ho II
287?	nl	10	3	3.33	395.9421	25249.08	395.9418	25249.10	Ho II
1453?	nl	7	2	3.50	341.0394	29313.75	341.0388	29313.77	Ho II
1751-	nl	21	6	3.50	351.1761	28467.61	351.1758	28467.63	Ho II
1640?	nl	7	2	3.50	352.9704	28322.92	352.9698	28322.94	Ho II
1270-	nl	7	2	3.50	370.9836	26947.67	370.9838	26947.69	Ho II
1300+	nl	7	2	3.50	387.9694	25767.95	387.9688	25767.97	Ho II
1700+	nlb	7	2	3.50	393.6713	25394.73	393.6708	25394.75	Ho II
929+	nlb	14	4	3.50	396.3280	25224.49	396.3278	25224.51	Ho II
2499+	nl	7	2	3.50	397.0189	25180.59	397.0187	25180.61	Ho II
1420+	nl	7	2	3.50	397.2267	25167.40	397.2267	25167.42	Ho II
1411-	nl	11	3	3.67	389.3520	25676.42	389.3518	25676.44	Ho II
1139+	nl	15	4	3.75	359.1252	27837.51	359.1248	27837.53	Ho II
1007+	nl	19	5	3.80	361.9430	27620.78	361.9428	27620.80	Ho II
400?	nl	4	1	4.00	327.9207	30487.39	327.9098	30487.41	Ho II
465?	nl	4	1	4.00	327.9207	30486.36	327.9208	30486.38	Ho II
422?	nl	4	1	4.00	337.2395	29643.96	337.2398	29643.98	Ho II
865?	nl	4	1	4.00	340.0566	29398.40	340.0568	29398.42	Ho II

EK-1 (devamı):

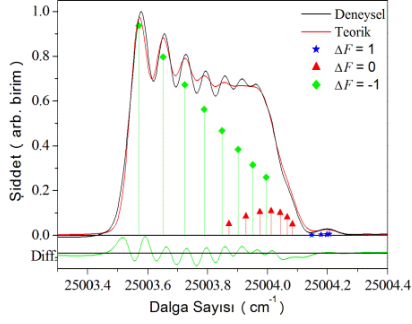
W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm⁻¹) hesap.	iyoniz.
600?	nl	4	1	4.00	341.8229	29246.52	341.8228	29246.54	Ho II
1330?	nl	4	1	4.00	346.6628	28838.20	346.6628	28838.22	Ho II
680?	nl	4	1	4.00	347.7725	28746.16	347.7728	28746.18	Ho II
1500?	nl	4	1	4.00	354.5315	28198.14	354.5318	28198.16	Ho II
462?	nl	4	1	4.00	363.4546	27505.88	363.4548	27505.90	Ho II
600?	nl	4	1	4.00	365.1960	27374.76	365.1958	27374.78	Ho II
295?	nl	12	3	4.00	372.5300	26835.84	372.5298	26835.86	Ho II
450?	nl	4	1	4.00	374.0343	26727.94	374.0338	26727.96	Ho II
1284-	nl	4	1	4.00	374.3185	26707.59	374.3188	26707.61	Ho II
1540-	nl	8	2	4.00	374.8843	26667.32	374.8841	26667.33	Ho II
1304?	nl	4	1	4.00	376.6368	26543.22	376.6368	26543.24	Ho II
1590+	nlb	4	1	4.00	377.0160	26516.54	377.0158	26516.56	Ho II
1247-	nl	4	1	4.00	387.2664	25814.73	387.2658	25814.75	Ho II
2553-	nl	8	2	4.00	390.7815	25582.47	390.7818	25582.49	Ho II
1870-	nl	4	1	4.00	392.1274	25494.72	392.1268	25494.74	Ho II
1162-	nlb	8	2	4.00	392.3044	25483.22	392.3038	25483.24	Ho II
1034+	nl	4	1	4.00	393.4080	25411.71	393.4078	25411.73	Ho II
1128+	nl	4	1	4.00	396.0341	25243.21	396.0338	25243.23	Ho II
989+	nl	8	2	4.00	399.7192	25010.50	399.7187	25010.52	Ho II
821?	nl	9	2	4.50	340.2173	29384.57	340.2168	29384.59	Ho II
525?	nl	9	2	4.50	343.6292	29092.81	343.6288	29092.83	Ho II
1879-	nl	9	2	4.50	361.002	27692.78	361.0018	27692.80	Ho II
1800?	nl	9	2	4.50	363.5272	27500.43	363.5268	27500.45	Ho II
850?	nl	9	2	4.50	367.5514	27199.36	367.5508	27199.38	Ho II
1317-	nl	9	2	4.50	368.6603	27117.54	368.6598	27117.56	Ho II

EK-1 (devamı):

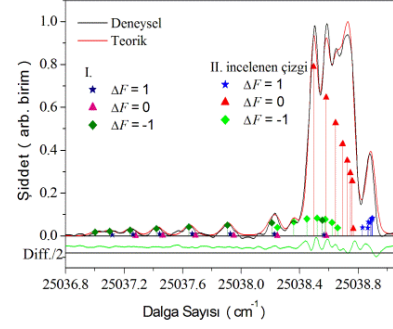
W (mK)	Yorum	S/N (Ar)	S/N (Ne)	R	λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	λ_{hava} (nm) hesap.	σ (cm ⁻¹) hesap.	iyoniz.
147?	nl	5	1	5.00	318.9454	31344.30	318.9448	31344.32	Ho II
1650?	nl	5	1	5.00	333.5102	29975.49	333.5098	29975.51	Ho II
800?	nl	5	1	5.00	346.9366	28815.42	346.9368	28815.44	Ho II
1200?	nl	5	1	5.00	355.8195	28096.07	355.8198	28096.09	Ho II
1192?	nl	5	1	5.00	359.3460	27820.39	359.3458	27820.41	Ho II
1806?	nl	5	1	5.00	362.9164	27546.73	362.9158	27546.75	Ho II
1747?	nl	5	1	5.00	365.8390	27326.64	365.8388	27326.66	Ho II
1128?	nl	5	1	5.00	365.8619	27324.92	365.8618	27324.94	Ho II
2374+	nl	10	2	5.00	368.2300	27149.21	368.2298	27149.23	Ho II
1141?	nl	5	1	5.00	368.4932	27129.83	368.4928	27129.85	Ho II
758?	nl	5	1	5.00	391.0779	25563.11	391.0778	25563.13	Ho II
1263-	nl	5	1	5.00	398.8358	25065.87	398.8357	25065.89	Ho II
850?	nl	6	1	6.00	339.2014	29472.58	339.2008	29472.60	Ho II
1236?	nl	6	1	6.00	341.2887	29292.28	341.2888	29292.30	Ho II
615?	nl	6	1	6.00	344.5482	29015.22	344.5478	29015.24	Ho II
1870+	nl	6	1	6.00	364.3674	27437.04	364.3668	27437.06	Ho II
859-	nl	6	1	6.00	394.8045	25321.79	394.8048	25321.81	Ho II

EK-2

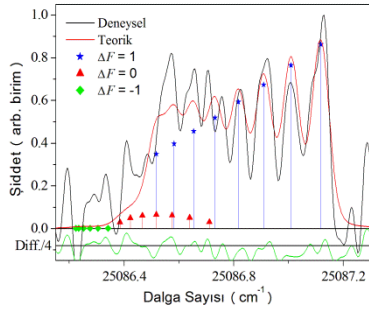
Aşırı ince yapı analizi yapılan çizgilerin fit yapılan şekilleri:



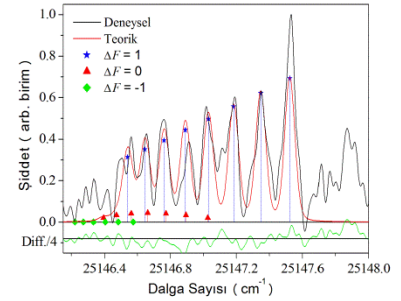
Şekil.Ek2.1. $\lambda=399.8265\text{nm}$; $\sigma=25003.7807\text{cm}^{-1}$



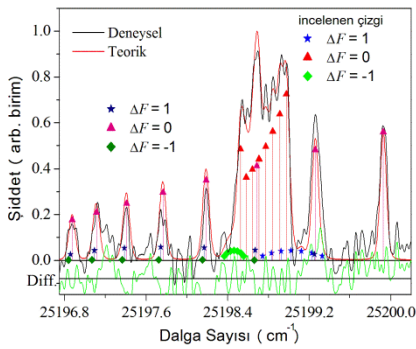
Şekil.Ek2.2. $\lambda=399.698\text{nm}$; $\sigma=25038.6395\text{cm}^{-1}$



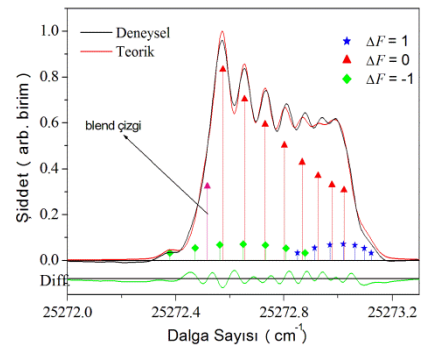
Şekil.Ek2.3. $\lambda=398.5029\text{nm}$; $\sigma=25086.827\text{cm}^{-1}$



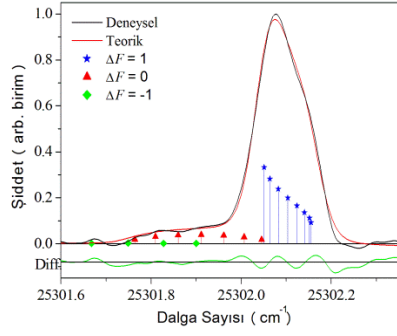
Şekil.Ek2.4. $\lambda=397.5485\text{nm}$; $\sigma=25147.0522\text{cm}^{-1}$



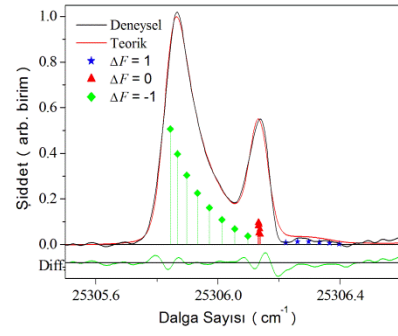
Şekil.Ek2.5. $\lambda=396.7326\text{nm}$; $\sigma=25198.76405\text{cm}^{-1}$



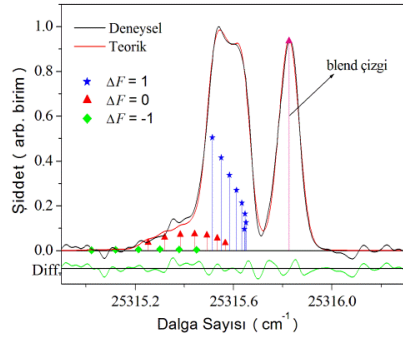
Şekil.Ek2.6. $\lambda=395.5708\text{nm}$; $\sigma=25272.771\text{cm}^{-1}$



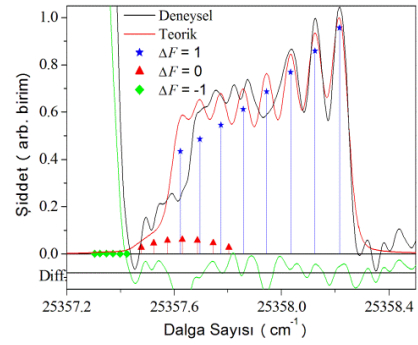
Şekil.Ek2.7. $\lambda=395.112\text{nm}$; $\sigma=25302.0728\text{cm}^{-1}$



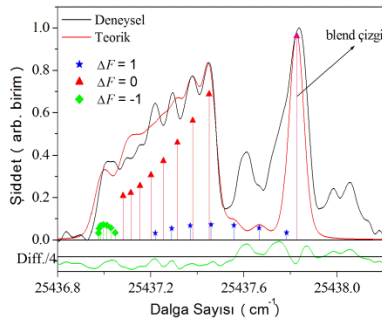
Şekil.Ek2.8. $\lambda=395.0533\text{nm}$; $\sigma=25305.8771\text{cm}^{-1}$



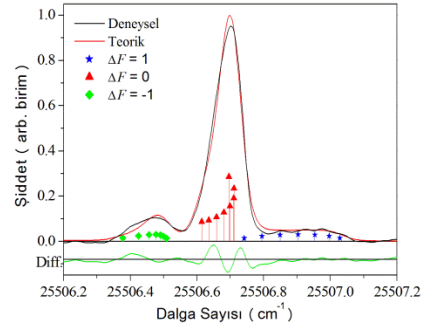
Şekil.Ek2.9. $\lambda=394.9024\text{nm}$; $\sigma=25315.5499\text{cm}^{-1}$



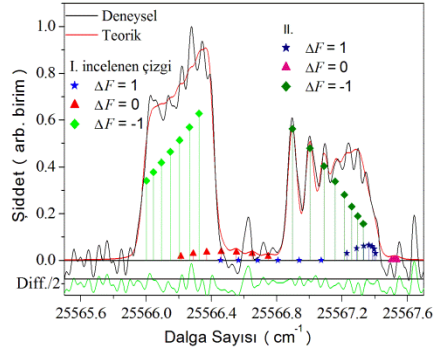
Şekil.Ek2.10. $\lambda=394.242\text{nm}$; $\sigma=25357.9522\text{cm}^{-1}$



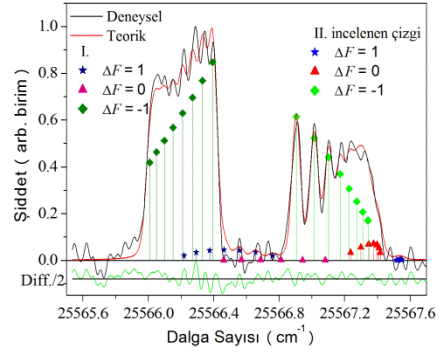
Şekil.Ek2.11. $\lambda=393.01245\text{nm}$; $\sigma=25437.2835\text{cm}^{-1}$



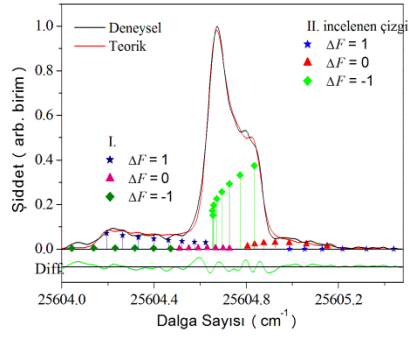
Şekil.Ek2.12. $\lambda=391.9432\text{nm}$; $\sigma=25506.6799\text{cm}^{-1}$



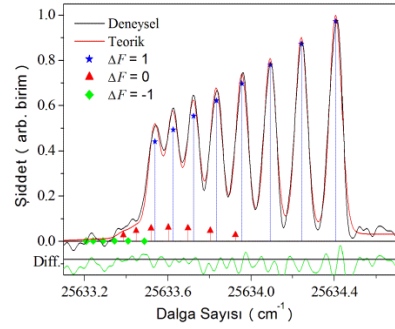
Şekil.Ek2.13. $\lambda=391.03025\text{nm}$; $\sigma=25566.2265\text{cm}^{-1}$



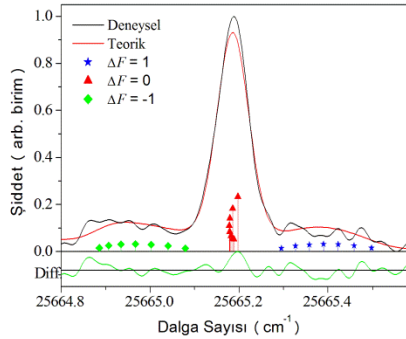
Şekil.Ek2.14. $\lambda=391.0164\text{nm}$; $\sigma=25567.1321\text{cm}^{-1}$



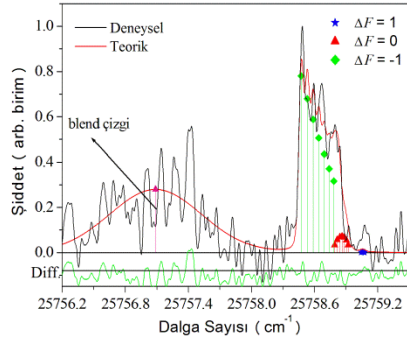
Şekil.Ek2.15. $\lambda=390.4418\text{nm}$; $\sigma=25604.7575\text{cm}^{-1}$



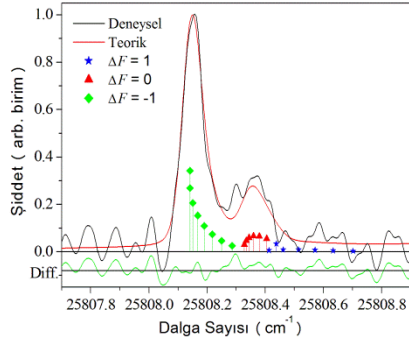
Şekil.Ek2.16. $\lambda=389.9968\text{nm}$; $\sigma=25633.7961\text{cm}^{-1}$



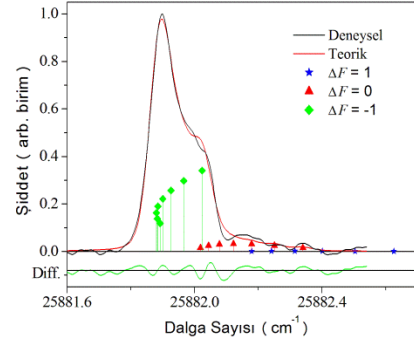
Şekil.Ek2.17. $\lambda=389.5226\text{nm}$; $\sigma=25665.1786\text{cm}^{-1}$



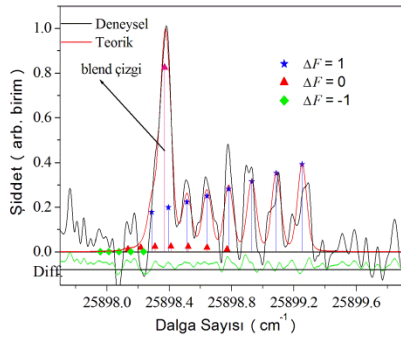
Şekil.Ek2.18. $\lambda=388.1092\text{nm}$; $\sigma=25758.6428\text{cm}^{-1}$



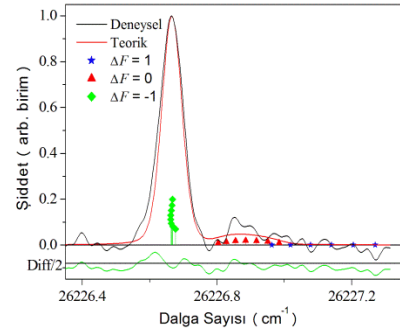
Şekil.Ek2.19. $\lambda=387.36376\text{nm}$; $\sigma=25808.2187\text{cm}^{-1}$



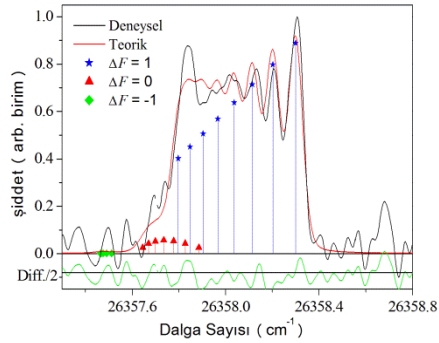
Şekil.Ek2.20. $\lambda=386.26\text{nm}$; $\sigma=25881.9581\text{cm}^{-1}$



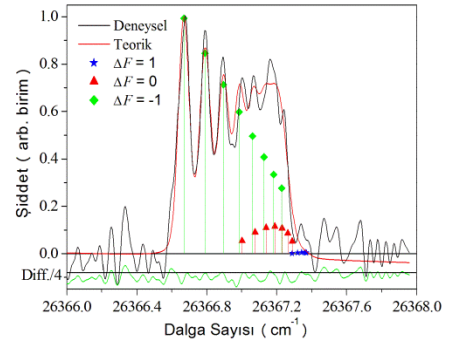
Şekil.Ek2.21. $\lambda=386.0096\text{nm}$; $\sigma=25898.74705\text{cm}^{-1}$



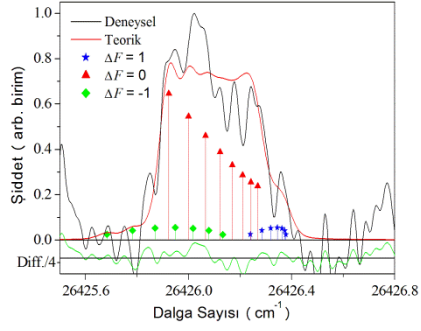
Şekil.Ek2.22. $\lambda=381.1830\text{nm}$; $\sigma=26226.6768\text{cm}^{-1}$



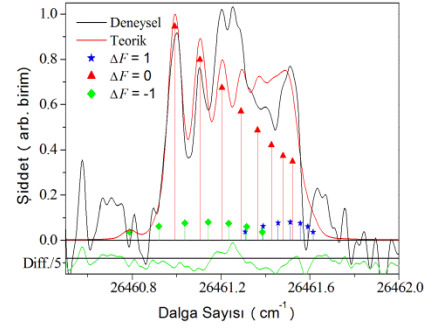
Şekil.Ek2.23. $\lambda=379.2830\text{nm}$; $\sigma=26358.0549\text{cm}^{-1}$



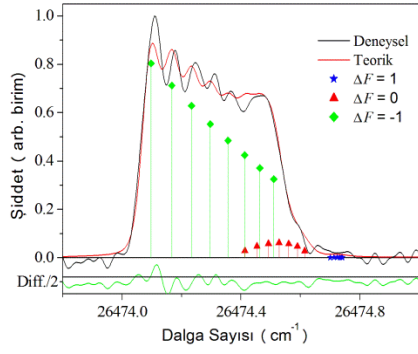
Şekil.Ek2.24. $\lambda=379.1551\text{nm}$; $\sigma=26366.9425\text{cm}^{-1}$



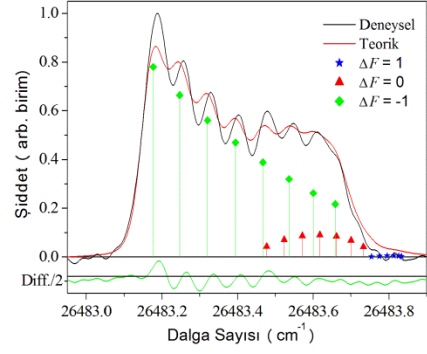
Şekil.Ek2.25. $\lambda=378.3063\text{nm}$; $\sigma=26426.1002\text{cm}^{-1}$



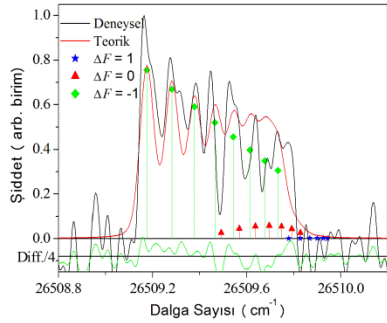
Şekil.Ek2.26. $\lambda=377.8033\text{nm}$; $\sigma=26461.2825\text{cm}^{-1}$



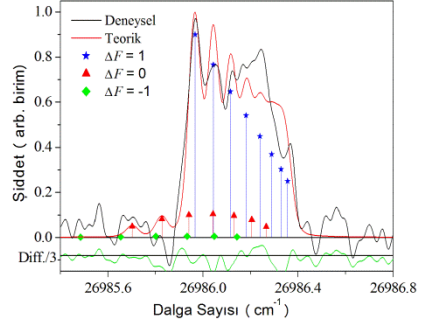
Şekil.Ek2.27. $\lambda=377.6176\text{nm}$; $\sigma=26474.2950\text{cm}^{-1}$



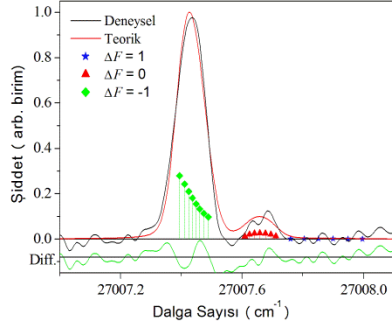
Şekil.Ek2.28. $\lambda=377.4881\text{nm}$; $\sigma=26483.3805\text{cm}^{-1}$



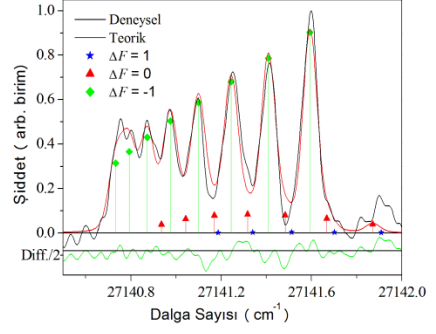
Şekil.Ek2.29. $\lambda=377.1164\text{nm}$; $\sigma=26509.4793\text{cm}^{-1}$



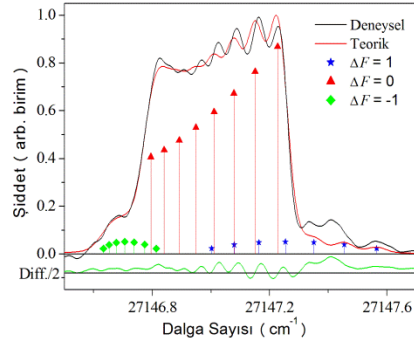
Şekil.Ek2.30. $\lambda=370.4556\text{nm}$; $\sigma=26986.1083\text{cm}^{-1}$



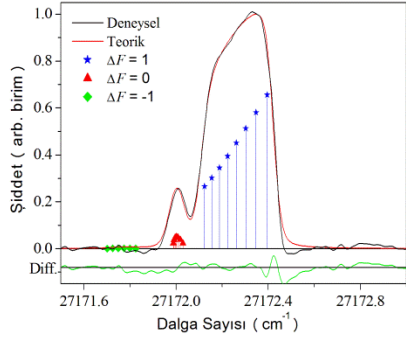
Şekil.Ek2.31. $\lambda=370.163\text{nm}$; $\sigma=27007.4393\text{cm}^{-1}$



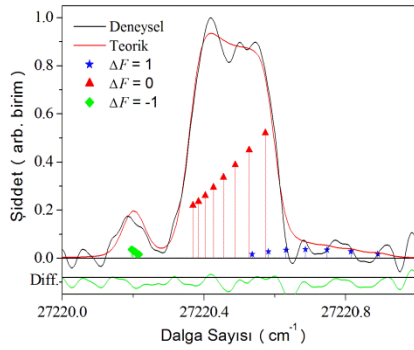
Şekil.Ek2.32. $\lambda=368.3387\text{nm}$; $\sigma=27141.2014\text{cm}^{-1}$



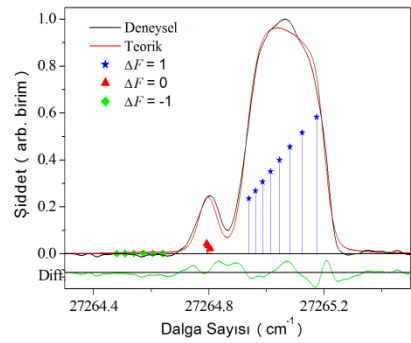
Şekil.Ek2.33. $\lambda=368.2596\text{nm}$; $\sigma=27147.0273\text{cm}^{-1}$



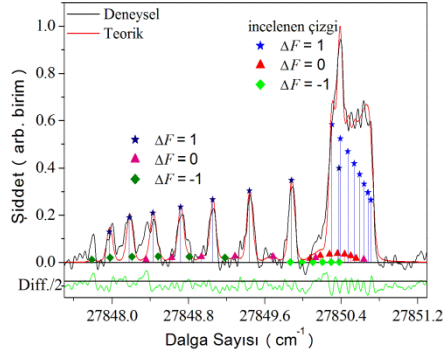
Şekil.Ek2.34. $\lambda=367.9177\text{nm}$; $\sigma=27172.2576\text{cm}^{-1}$



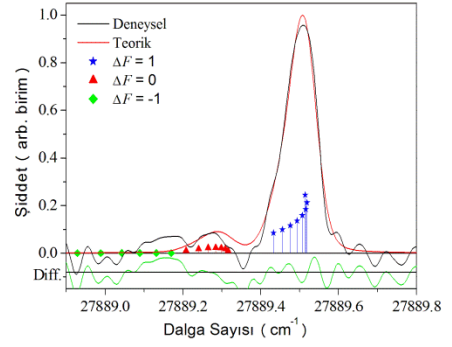
Şekil.Ek2.35. $\lambda=367.2659\text{nm}$; $\sigma=27220.4762\text{cm}^{-1}$



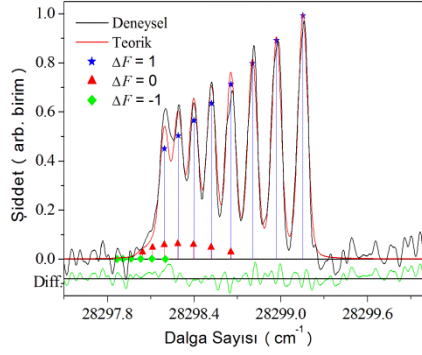
Şekil.Ek2.36. $\lambda=366.6656\text{nm}$; $\sigma=27265.0401\text{cm}^{-1}$



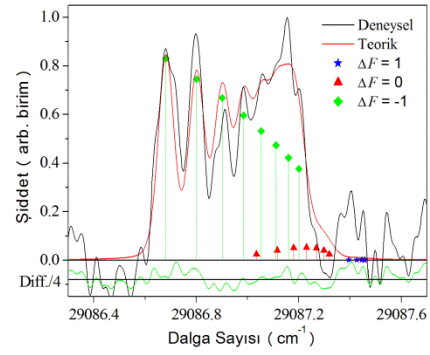
Şekil.Ek2.37. $\lambda=358.9575\text{nm}$; $\sigma=27850.5020\text{cm}^{-1}$



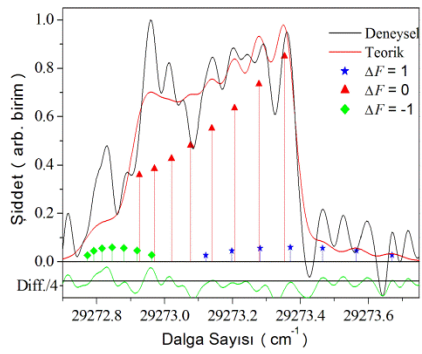
Şekil.Ek2.38. $\lambda=358.4558\text{nm}$; $\sigma=27889.4848\text{cm}^{-1}$



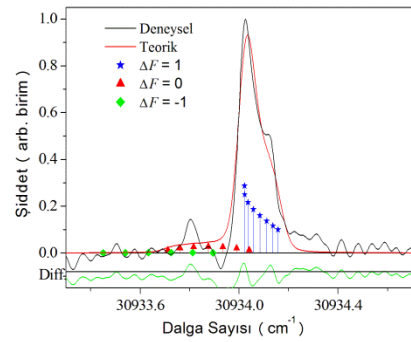
Şekil.Ek2.39. $\lambda=353.2723\text{nm}$; $\sigma=28298.6866\text{cm}^{-1}$



Şekil.Ek2.40. $\lambda=343.6982\text{nm}$; $\sigma=29086.95472\text{cm}^{-1}$



Şekil.Ek2.41. $\lambda=341.512\text{nm}$; $\sigma=29273.1501\text{cm}^{-1}$



Şekil.Ek2.42. $\lambda=323.1752\text{nm}$; $\sigma=30934.0423\text{cm}^{-1}$

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Nadia Jaber Mohammed AL-Labady
Doğum Yeri	1971, Suudi Arabistan
Doğum Tarihi	23.08.1971
Uyruğu	☐ T.C. ☒ Diğer:
Telefon	00962795606777
E-Posta Adresi	allabadin@yahoo.com



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Kral Suud Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölümü	Fizik Bölümü
Mezuniyet Yılı	10.06.1995

Yüksek Lisans	
Üniversite	Ürdün Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Fizik Anabilim Dalı
Programı	Atom ve Molekül Fiziği Programı
Mezuniyet Tarihi	10.08.1999

Doktora	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Fizik Anabilim Dalı
Programı	Atom ve Molekül Fiziği Programı
Mezuniyet Tarihi	03.10.2016

Makale ve Bildiriler
"Line Identification of Atomic and Ionic Spectra of Holmium in the Near UV;Part I: Spectrum of Ho I", N. Al-Labady, B. Özdağcı, A. Er, F. Güzelçimen, I. K. Öztürk, S. Kröger, A. Kruzins, M. Tamanis, R. Ferber, G. Başar, The Astrophysical Journal Supplement Series dergisinde kabul edildi baskıda. "Line Identification of Atomic and Ionic Spectra of Holmium in the Near UV;Part II: Spectrum of Ho II and Ho III", G. Başar, N. Al-Labady, B.Özdağcı, F. Güzelçimen, A. Er, I. K. Öztürk, T. Ak, S. Bilir, M. Tamanis, R. Ferber, S. Kröger, The Astrophysical Journal Supplement Series dergisinde kabul edildi baskıda.

“Investigation of the hyperfine structure of atomic vanadium for energetically high-lying levels up to $45\,000\text{ cm}^{-1}$ ”, F. Güzelçimen, **N. Al-Labady**, Gö. Başar, I.K. Öztürk, A. Er, S. Kröger, M. Tamanis and R. Ferber, EGAS 46, 1-4 Temmuz 2014, Lille, Fransa (poster bildirisi).

“Investigation of Hyperfine Structure of Atomic Holmium”, Gö. Başar, **N. Al-Labady**, Berin Yapıcı, F. Güzelçimen, A. Er, İ. K. Öztürk, S. Kröger, A. Kruzins, M. Tamanis, R. Ferber, ECAMP 12, 5-9 Eylül 2016, Frankfurt, Almanya (Poster bildirisi).

