



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



Yüksek Lisans Tezi

**TULYUM ELEMENTİNİN 3500 cm⁻¹-10000 cm⁻¹ ARALIĞINDAKİ
SPEKTRAL ÇİZGİLERİN SINIFLANDIRILMASI ve AŞIRI
İNCE YAPILARININ İNCELENMESİ**

Sami SERT

Fizik Anabilim Dalı

Atom ve Molekül Fiziği Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr. İpek Kanat ÖZTÜRK**

Haziran, 2019

İSTANBUL

Bu çalışma, 26.06.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı, Atom ve Molekül Fiziği Programı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

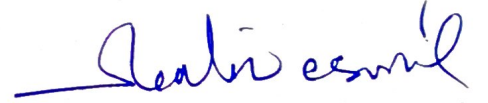
Tez Jürisi



Prof. Dr. İpek KANAT ÖZTÜRK (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Gönül BAŞAR
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Kadir ESMER
Marmara Üniversitesi
Fen - Edebiyat Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de 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 Programında yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Tulyum Elementinin 3500 cm^{-1} - 10000 cm^{-1} Aralığındaki Spektral Çizgilerin Sınıflandırılması ve Aşırı İnce Yapılarının İncelenmesi” adlı tez çalışmasında bana verdiği destek ve yardımlardan dolayı danışman hocam Prof. Dr. İpek Kanat ÖZTÜRK’e ve değerli hocam Prof. Dr. Gönül Başar’a çok teşekkür ederim. Tez çalışmam süresince yardımlarını esirgemeyen Berin Özalgıç’a çok teşekkür ederim.

Ayrıca yine bugüne kadar hayatımın her anında olduğu gibi, bu süreçte de yanımda olup, gerekli yardımı sağlayan aileme, sevgili anne ve babama çok teşekkür ederim.

Haziran 2019

Sami SERT

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ.....	viii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	18
3.1. ÇOK ELEKTRONLU SİSTEMLERE GENEL BAKIŞ.....	18
3.1.1. Merkezi Alan Yaklaşıklığı	18
3.1.2. Hartree-Fock Yöntemi.....	19
3.1.3. Atomlarda İnce Yapı	20
3.1.4. Atomlarda Aşırı İnce Yapı	26
3.1.4.1. Manyetik Dipol Etkileşmesi	29
3.2. SPEKTRAL ÇİZGİ PROFİLLERİ VE ÇİZGİ GENİŞLEME NEDENLERİ	30
3.3. TULYUM ELEMENTİ HAKKINDA	33
3.4. DENEYSEL YÖNTEM – FOURIER TRANSFORM SPEKTROSKOPİSİ.....	34
3.5. DENEY VERİLERİNİN ANALİZİ İÇİN KULLANILAN PROGRAMLAR.....	37
4. BULGULAR.....	42
4.1. TULYUM ELEMENTİNİN SPEKTRAL ÇİZGİ ANALİZİ SONUÇLARI.....	42
4.2. TULYUM ELEMENTİNİN AŞIRI İNCE YAPI ANALİZİ SONUÇLARI	67
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	111
KAYNAKLAR.....	113
ÖZGEÇMİŞ	117

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1: Gauss profili, Lorentz profili ve Voigt profilinin bir grafikte gösterimi [46].....	32
Şekil 3.2: Tm elementine ait spektrumdan $5500 \text{ cm}^{-1} \rightarrow 12000 \text{ cm}^{-1}$ dalgasayısı dalgasayısı aralığındaki örnek kesiti.....	36
Şekil 3.3: Tm elementine ait spektrumdan $7519 \text{ cm}^{-1} \rightarrow 7525 \text{ cm}^{-1}$ aralığındaki spektruma ait örnek kesit.....	36
Şekil 3.4: $\lambda = 13288.689 \text{ Å}$ dalgaboyu ve $7523.139284 \text{ cm}^{-1}$ dalga sayılı Tm çizgisi.	37
Şekil 4.1: (a) Literatürden alınarak giriş değeri $A = -2263.3 \text{ MHz}$ [34] olarak verilerek ve elde edilen en iyi fit sonucuna ait spektrum, (b) bu çalışmada belirlenen A değeri kullanılarak yapılan fit işlemi sonucu elde edilen en iyi fit sonucuna ait spektrum, (c) hatalı ve (d) yenilenmiş A değerleri ile yapılan fit işlemi ile alınan en iyi fit spektrumları.	71
Şekil 4.2: $\lambda = 2230.5007 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.....	72
Şekil 4.3: $\lambda = 2225.2887 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.	73
Şekil 4.4: $\lambda = 2222.6743 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.....	74
Şekil 4.5: $\lambda = 2121.2429 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.....	75
Şekil 4.6: $\lambda = 2065.4733 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.....	76
Şekil 4.7: $\lambda = 2018.6257 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.....	77
Şekil 4.8: $\lambda = 2017.9318 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.....	78
Şekil 4.9: $\lambda = 2015.7814 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.....	79
Şekil 4.10: $\lambda = 1898.6256 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.....	80
Şekil 4.11: $\lambda = 1830.0817 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.....	81
Şekil 4.12: $\lambda = 1760.8532 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.....	82
Şekil 4.13: $\lambda = 1658.3067 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.....	83
Şekil 4.14: $\lambda = 1657.3177 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.....	84
Şekil 4.15: $\lambda = 1634.1548 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.....	85
Şekil 4.16: $\lambda = 1507.2587 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.....	86

Şekil 4.17: $\lambda = 1501.3416$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.....	87
Şekil 4.18: $\lambda = 1485.5518$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.....	88
Şekil 4.19: $\lambda = 1458.7593$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.....	89
Şekil 4.20: $\lambda = 1437.1168$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.....	90
Şekil 4.21: $\lambda = 1409.1790$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.....	91
Şekil 4.22: $\lambda = 1371.4798$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.....	92
Şekil 4.23: $\lambda = 1358.7519$ nm çizgisinin fit edilmiş hali,.....	93
Şekil 4.24: $\lambda = 1333.822$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.....	94
Şekil 4.25: $\lambda = 1332.2277$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.....	95
Şekil 4.26: $\lambda = 1318.1521$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.....	96
Şekil 4.27: $\lambda = 1309.1045$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.....	97
Şekil 4.28: $\lambda = 1306.0984$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.....	98
Şekil 4.29: $\lambda = 1300.5400$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.....	99
Şekil 4.30: $\lambda = 1270.4512$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.....	100
Şekil 4.31: $\lambda = 1255.0206$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.....	101
Şekil 4.32: $\lambda = 1183.0477$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.....	102
Şekil 4.33: $\lambda = 1109.56$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.....	103
Şekil 4.34: $\lambda = 1017.3065$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.....	104
Şekil 4.35: $\lambda = 2080.1260$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.....	105
Şekil 4.36: $\lambda = 1557.9107$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.....	106
Şekil 4.37: $\lambda = 1333.8216$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.....	107
Şekil 4.38: $\lambda = 1528.8724$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.....	108
Şekil 4.39: $\lambda = 1226.855$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.....	109
Şekil 4.40: $\lambda = 1078.4644$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.....	110

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Tulyum elementinin tek pariteli enerji seviyelerine ait literatürden alınan manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri ve kullanılan deneysel yöntemler.	9
Tablo 2.2: Tulyum elementinin çift pariteli enerji seviyelerine ait literatürden alınan manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri ve kullanılan deneysel yöntemler.	13
Tablo 3.1: Tm elementinin fiziksel ve kimyasal özellikleri.	33
Tablo 4.1: Tm I olarak sınıflandırılan çizgiler.	44
Tablo 4.2: Tm II olarak sınıflandırılan çizgiler.	57
Tablo 4.3: Tm I veya Tm II isimlendirilen çizgiler.	58
Tablo 4.4: Fit işleminde referanslardan alınarak sabit tutulan hfs sabitleri.	68
Tablo 4.5: $24246.425 \text{ cm}^{-1}$ ince yapı enerji seviyesi için iyileştirilen A değeri.	69
Tablo 4.6: $\lambda = 2230.5007 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.	72
Tablo 4.7: $\lambda = 2225.2887 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.	73
Tablo 4.8: $\lambda = 2222.6743 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.	74
Tablo 4.9: $\lambda = 2121.2429 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.	75
Tablo 4.10: $\lambda = 2065.4733 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.	76
Tablo 4.11: $\lambda = 2018.6257 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.	77
Tablo 4.12: $\lambda = 2017.9318 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.	78
Tablo 4.13: $\lambda = 2015.7814 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.	79
Tablo 4.14: $\lambda = 1898.6256 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.	80
Tablo 4.15: $\lambda = 1830.0817 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.	81
Tablo 4.16: $\lambda = 1760.8532 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.	82
Tablo 4.17: $\lambda = 1658.3067 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.	83
Tablo 4.18: $\lambda = 1657.3177 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.	84
Tablo 4.19: $\lambda = 1634.1548 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.	85

Tablo 4.20: $\lambda = 1507.2587$ nm çizgisinin fit sonuçları.	86
Tablo 4.21: $\lambda = 1501.3416$ nm çizgisinin fit sonuçları.	87
Tablo 4.22: $\lambda = 1485.5518$ nm çizgisinin fit sonuçları.	88
Tablo 4.23: $\lambda = 1458.7593$ nm çizgisinin fit sonuçları.	89
Tablo 4.24: $\lambda = 1437.1168$ nm çizgisinin fit sonuçları.	90
Tablo 4.25: $\lambda = 1409.1790$ nm çizgisinin fit sonuçları.	91
Tablo 4.26: $\lambda = 1371.4798$ nm çizgisinin fit sonuçları.	92
Tablo 4.27: $\lambda = 1358.7519$ nm çizgisinin fit sonuçları.	93
Tablo 4.28: $\lambda = 1333.822$ nm çizgisinin fit sonuçları.	94
Tablo 4.29: $\lambda = 1332.2277$ nm çizgisinin fit sonuçları.	95
Tablo 4.30: $\lambda = 1318.1521$ nm çizgisinin fit sonuçları.	96
Tablo 4.31: $\lambda = 1309.1045$ nm çizgisinin fit sonuçları.	97
Tablo 4.32: $\lambda = 1306.0984$ nm çizgisinin fit sonuçları.	98
Tablo 4.33: $\lambda = 1300.5400$ nm çizgisinin fit sonuçları.	99
Tablo 4.34: $\lambda = 1270.4512$ nm çizgisinin fit sonuçları.	100
Tablo 4.35: $\lambda = 1255.0206$ nm çizgisinin fit sonuçları.	101
Tablo 4.36: $\lambda = 1183.0477$ nm çizgisinin fit sonuçları.	102
Tablo 4.37: $\lambda = 1109.56$ nm çizgisinin fit sonuçları.	103
Tablo 4.38: $\lambda = 1017.3065$ nm çizgisinin fit sonuçları.	104
Tablo 4.39: $\lambda = 2080.1260$ nm çizgisinin fit sonuçları.	105
Tablo 4.40: $\lambda = 1557.9107$ nm çizgisinin fit sonuçları.	106
Tablo 4.41: $\lambda = 1333.8216$ nm çizgisinin fit sonuçları.	107
Tablo 4.42: $\lambda = 1528.8724$ nm çizgisinin fit sonuçları.	108
Tablo 4.43: $\lambda = 1226.855$ nm çizgisinin fit sonuçları.	109
Tablo 4.44: $\lambda = 1078.4644$ nm çizgisinin fit sonuçları.	110
Tablo 5.1: İlk defa bu çalışmada belirlenen manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri.	112

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
Tm	: Tulyum elementi
Tm I	: Tulyum elementinin atom hali
Tm II	: Tulyum elementinin bir kez iyonlaşmış hali
$\vec{L}$	: Elektronun toplam yörüngesel açısal momentumu
$\vec{S}$	: Elektronun spin açısal momentumu
$\vec{I}$	: Çekirdek spin açısal momentumu
$\vec{J}$	: Birden fazla elektronun toplam açısal momentumu
$\vec{F}$	: Çekirdek toplam açısal momentumu
μ_I	: Çekirdek spin manyetik momenti
μ_J	: Elektronun toplam açısal manyetik momenti
μ_F	: Atomun toplam manyetik dipol momenti
A	: Manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti
λ	: Dalgaboyu
σ	: Dalgasayısı

Kısaltmalar	Açıklama
FTS	: Fourier transform spektroskopisi
LIF	: Laser uyarılmış floresans spektroskopisi
OGS	: Optogalvanik spektroskopi
SAS	: Saturasyon-absorpsiyon spektroskopisi
ABMR	: Atomik ışın manyetik rezonans
FP	: Fabry perot
HFS	: Aşırı ince yapı

ÖZET

TULYUM ELEMENTİNİN 3500 cm^{-1} - 10000 cm^{-1} ARALIĞINDAKİ SPEKTRAL ÇİZGİLERİN SINIFLANDIRILMASI ve AŞIRI İNCE YAPILARININ İNCELENMESİ YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sami SERT

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. İpek Kanat ÖZTÜRK

Bu çalışmanın amacı, atom halindeki ve bir kez iyonlaşmış tulyum (Tm) elementinin 3500 cm^{-1} - 10000 cm^{-1} dalgasayısı aralığındaki spektral çizgi sınıflandırmasının yapılması ve bu spektral bölgedeki Tm atomunun ince yapı enerji seviyelerinin manyetik dipol aşırı ince yapı sabitlerinin deneysel olarak belirlenmesidir.

Tm elementinin spektrumları yakın ve orta kırmızı altı bölgede argon ve neon soygazları kullanılarak Fourier Transform (FT) Spektroskopisi metodu ile ayrı ayrı alındı. Tm elementinin deneysel olarak bilinen tüm ince yapı enerji seviyeleri kullanılarak 1148 spektral çizgi analiz edildi. Analiz edilen çizgilerden 625 adedi ilk kez bu tez çalışmasında olmak üzere toplam 719 çizgi atomik tulyum (Tm I), 72 adedi ise bir kez iyonlaşmış tulyum (Tm II) geçişi olarak sınıflandırıldı. 356 adet yeni çizgi Tm I veya Tm II olarak belirlendi. Spektral geçişlerin analizi sonucu deneysel olarak 13 adet ince yapı seviyesi için manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti, A, ilk defa bu çalışmada verildi. Ayrıca literatürde bulunan 2 adet manyetik dipol aşırı ince yapı sabitinin değeri yenilendi.

Haziran 2019, 129 sayfa.

Anahtar kelimeler: Spektral çizgi sınıflandırılması, aşırı ince yapı, tulyum

SUMMARY

SPECTRAL LINE CLASSIFICATION OF THE THULIUM ELEMENT IN BETWEEN 3500 cm⁻¹ - 10000 cm⁻¹ and HYPERFINE STRUCTURE INVESTIGATION

M.Sc. THESIS

Sami SERT

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Physics

Supervisor : Prof. Dr. İpek Kanat ÖZTÜRK

The aim of this study is to classify atomic and single ionized state of thulium (Tm) element in 3500 cm⁻¹ -10000 cm⁻¹ wavenumber range and to determine magnetic dipole hyperfine constants of the fine structure energy levels of Tm atom in this spectral region experimentally.

The spectra of Tm element were obtained separately using argon and neon inert gases with Fourier Transform (FT) spectroscopy method in near and mid-infrared regions. 1148 spectral lines were analyzed using all known experimental fine structure energy levels of Tm. Among these lines, 719 lines were classified as atomic thulium (Tm I) transitions 625 of which were revealed for the first time in this study and 72 lines were classified as single ionized state of thulium (Tm II) transitions. 356 new lines were determined as Tm I or Tm II. As a result of the analysis of spectral transitions, magnetic dipole hyperfine constant *A* of 13 fine structure levels, have been obtained for the first time in this study experimentally. In addition, the values of two magnetic dipole hyperfine constants, which existed in the literature before this study have been revised.

June 2019, 129 pages.

Keywords: Spectral line classification, hyperfine structure, thulium

1. GİRİŞ

Atom teorisinin kökeni, atomların özelliksiz sert küreler olduğunu hayal eden Yunan filozoflarına dayanır. Ondokuzuncu yüzyılın sonlarında bilim insanları atomları görme teknolojisine sahip olmasalar da, atomların bir iç yapıya sahip karmaşık yapılar olduğuna inandılar. Sonraki yıllarda deneysel olarak atomların ve elektromanyetik olayların yakından ilişkili olduğu bulundu. Atomlar uyarıldıklarında ışık yayarlar. Elementlerin serbest / neredeyse serbest atomları tarafından yayılan görünür ışık, bir karakteristik renkler kümesidir. Karakteristik spektrumların varlığı, elemanları ayırt eden bir iç yapıya işaret eder. Atom ve iyonların uyarılması, atom fiziğinin yanı sıra plazma fiziği ve kimyası, astrofizik, laser gelişimi gibi alanlarda da önemli bir rol oynar. Spektroskopik analizin kurucuları olan Kirchhoff ve Bunsen, 19. yüzyılın ortalarında, her bir elementin kendi karakteristik spektrumuna sahip olduğunu ilk olarak keşfetti [1].

Yüklü ve yüksüz taneciklerle maddenin etkileşmesi ile meydana gelen olayların incelenmesi, fizik ve bunun yanı sıra astronomide önemli yeri olan spektroskopik yöntemler ile olur.

Yıldız spektrumlarını analiz etmek için doğru atomik veriler gereklidir. Yıldız spektrumundaki element soğurma çizgilerini analiz etmek için, aşırı ince yapı ayrışmalarının soğurma çizgisinin şekli üzerindeki etkisinin bilinmesi gerekir. Ancak, bu veriler özellikle kızılötesi (IR) bölgedeki birçok atom için ya mevcut değildir veya yetersizdir.

Bu çalışmada tulyum elementinin 3500 cm^{-1} - 10000 cm^{-1} dalgasayısı aralığındaki atom hali ve birinci iyonu için çizgi sınıflandırması Klasifikasyon programı [2,3] kullanılarak gerçekleştirildi. Sınıflandırma işleminin yapılabilmesi için incelenen spektral çizginin alt ve üst enerji seviyesinin bilinmesi gerekir. İnce yapı enerji seviyelerine ait bilgiler NIST atomik veritabanından alındı [4]. Tulyuma ait deneysel olarak önceden bilinen tüm enerji seviyeleri kullanıldı ve 1147 çizgi analiz edildi. İncelene çizgilerden 719 tanesi atomik tulyum (Tm I), 72 tanesi ise bir kez iyonlaşmış tulyum (Tm II) geçişi olarak sınıflandırıldı. Geriye kalan çizgiler Tm I veya Tm II olarak tanımlanabildi.

İnce yapı enerji seviyelerinden sadece birinin aşırı ince yapı sabitinin belli olması durumunda diğer seviyenin aşırı ince yapı sabitinin belirlenmesi işlemi FITTER programı ile [5] çift pikli

spektrumlar kullanılarak yapıldı. Deneysel olarak 13 tane ince yapı seviyesi için manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti, A , ilk defa bu çalışmada verildi. Ayrıca literatürde bulunan 2 tane manyetik dipol aşırı ince yapı sabitinin değeri yenilendi.

Tm elementine ait günümüze kadar yapılan aşırı ince yapı çalışmalarının literatür taraması genel kısımlarda verildi. Element hakkında bilgi ve kullanılan deneysel yöntem malzeme ve yöntem kısmında anlatıldı. Fourier spektroskopisi ile elde edilen spektrumun analizi sonucunda yapılan çizgi sınıflandırmaları ve aşırı ince yapı analizi sonucunda elde edilen veriler bulgular kısmında verildi. Bu çalışmada elde edilen ve literatürden alınan sonuçlar karşılaştırıldı ve ileriye yönelik öneriler tartışma ve sonuç kısmında sunuldu.



2. GENEL KISIMLAR

Aşırı ince yapısı incelenecek element seçilirken; kararlı bir izotopunun bulunmasına, doğadaki bolluk oranına, kütle sayısına, çekirdek spinine, çekirdeğin elektromagnetik multipol momentlerine bakılmalıdır. Bu tez çalışmasında incelenmek üzere tulyum (Tm) elementi seçilmiştir.

İlk olarak 1879 yılında İsveçli kimyager Per Theodor Cleve tarafından keşfedilen Tm elementi, geçiş elementlerinin bir alt serisi olan lantanitler (nadir toprak elementleri) grubundadır [6]. Bu element, kararlı halde ^{169}Tm izotopuna sahip olup, doğal halde %100 bollukta bulunur. Nükleer spini $I = 1/2$ olan ^{169}Tm izotopu, $\mu_I = -0.2316 \mu_N$ [7] olan bir çekirdek manyetik dipol momentine sahiptir. $I = 1/2$ çekirdek spinine sahip olduğu için spektrumda sadece manyetik aşırı ince yapı ayrışması meydana gelir. Elektrik kuadropol momenti bulunmadığı için elektrik kuadropol aşırı ince yapı ayrışması gözlenmez.

Tm'un aşırı ince yapısı son 70 yıllık zaman diliminde çeşitli deneysel araştırmalara konu olmuştur.

1955 yılında Lindenberger tarafından yapılan çalışma ile Fabry- Perot interferometresi kullanılarak, içi boş bir katot tüp içinde uyarılmış olarak, $3500 \text{ Å} - 4000 \text{ Å}$ dalga boyu aralığında Tm^{169} elementinin manyetik dipol momenti incelenmiştir ve $\mu_I = -0.20 \pm 0.02 \text{ nm}$ sonucuna ulaşılmıştır [8].

Daha sonra Ritter 1962 yılında atomik ışın manyetik rezonans tekniği ile Tm^{169} elementinin nükleer manyetik dipol momentini $\mu_I = -0.229 \pm 0.03 \text{ nm}$ olarak bulmuş ve $4f^{13}6s^2, {}^2F_{7/2}$ taban seviyesinin aşırı ince yapısını inceleyerek, bu seviyeye ait A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitini hesaplamıştır [9].

1967 yılında Giglberger ve Penselin ise, Tm^{169} elementininin taban seviyesinin aşırı ince yapısını atomik ışın manyetik rezonans tekniği ile inceleyip, 2200-3000 Gauss şiddetinde dış

manyetik alan uygulayarak nükleer manyetik dipol momentini $\mu_k = -0.2319(15)\mu_N$ olarak bulmuş, ayrıca manyetik dipol etkileşim parametresini ve g_J değerini hesaplamıştır [10].

Kuhl tarafından Tm I ve Eu I elementleri Fabry - Perot interferometresi ve atomik ışın yöntemi kullanılarak 1971 yılında ölçüldü ve Tm'un $4f^{13}6s6p$ ve $4f^{12}5d6s^2$ konfigürasyonları için 5 seviyeye ait manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti, A , değerleri belirlendi [11].

Sugar ve Meggers 1972 yılında, 2513 Å ve 11750 Å dalga boyu arasında nötral tulyuma ait yeni spektrum ölçümlerini verdi. Ölçümlerde ışık kaynağı olarak mikrodalga uyarılmış metal-halid lambası kullanıldı. Meggers, 8777 cm^{-1} dalga sayısına karşılık gelen tulyumun temel enerji seviyesini 1942 yılında keşfetti ve bu seviyeyi $4f^{13}6s^2$ elektronik konfigürasyonun terimini 2F olarak tanımladı. Bu tez çalışmasında Sugar ve Meggers yayınındaki deneysel veriler klasifikasyon programına aktararak kullanıldı [12].

1977 yılında Brandt ve Camus, Tm I için $4f^{13}6s6p$ ve $4f^{12}5d6s^2$ konfigürasyonlarına ait 20 seviyenin A değerlerini ve $4f^{13}6s^2$ konfigürasyonundaki enerji seviyesine ait A değerini küresel Fabry Perot ve atomik ışın spektroskopisi yöntemleri ile yüksek kesinlikte belirledi [13].

Van Leeuwen ve diğ. 1980 yılında, Tm I e ait 10 enerji seviyesinin aşırı ince yapısını yüksek çözünürlüklü laser spektroskopi yöntemiyle inceledi. $4f^{13}6s6p$ konfigürasyonu ve $4f^{12}5d6s^2$ konfigürasyonuna ait 9 enerji seviyesinin manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti değerleri ile $4f^{13}6s^2$ konfigürasyonlu 8771 cm^{-1} yarı kararlı temel seviyesine ait manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti değeri yüksek kesinlikle bulundu [14].

1983 yılında Angelova ve diğ. $4f_{7/2}^{13}6s_{1/2}(J')np_J(J)$ yüksek uyarılmış seviyesi için atomun ilk iki iyonizasyon sınırına yakın bölgelerde uzanan seviyeleri incelediler. Nitrojen ile pompalanmış, üç boya laser içeren otomatik laser sistemi kullanıldı. Her durumun enerjisi $\pm 0.1\text{ cm}^{-1}$ doğrulukla belirlendi. Gözlenen seviyelerin tanımlanması, sıfırıncı dereceden relativistik pertürbasyon teorisi kullanılarak gerçekleştirildi. $4f_{7/2}^{13}6s_{1/2}(3)np_{3/2}(9/2)$ ($n=26-65$), $4f_{7/2}^{13}6s_{1/2}(4)np_{3/2}(11/2)$ ($n=29-57$) ve $4f_{7/2}^{13}6s_{1/2}(4)np_{1/2}(7/2)$ ($n=28-36$) seviyeleri için kesin bir şekilde sınıflandırma yapıldı [15].

Childs ve diğ. 1984 yılında, aralarında Tm'un da bulunduğu üç nadir toprak elementi için $4f^N 6s^2$ konfigürasyonunun uyarılmış enerji seviyelerinin aşırı ince yapısını LIF ve laser radyo frekans çift rezonans yöntemleriyle inceledi. Yeni bulgular ile eski sonuçları birleştirerek, birçok aşırı ince yapı radyal integralini ($\langle r^{-3}_{xy} \rangle$) hesapladılar [16].

1985 yılında Pfeufer yüksek çözünürlüklü laser atomik ışın spektroskopisi yöntemiyle çift pariteli seviyeler için 5758 Å - 5683 Å dalga boyu ve tek pariteli seviyeler için 32950.10 cm⁻¹-34046.54 cm⁻¹ enerji aralığında Tm elementinin $4f^{12}5d6s^2$ konfigürasyonunun yarı kararlı seviyesine ait 8 enerji seviyesinin aşırı ince yapı sabitlerini ve uyarılmış tek pariteli 9 seviyeyi belirledi [17].

1986 yılında Pfeufer bu kez tulyumun $4f^{12}5d6s^2$ konfigürasyonunun yarı kararlı enerji seviyeleri arasındaki geçişlerde aşırı ince yapı hesaplamalarını belirlemek için laser atomik ışın spektroskopisini kullandı. Bu deneyden ortaya çıkan A değerleri ile eski çalışmalarda parametrik analizler sonucunda ortaya çıkan A değerlerini, ince yapı hesaplarındaki dalga fonksiyonlarını kullanarak inceledi. Teorik ve deneysel karşılaştırmalar dalga fonksiyonlarının güvenilirliğini açığa çıkardı. Analizlerde ortaya çıkan aşırı ince yapı parametreleri ve buna karşılık gelen aşırı ince yapı parametreleri nötral tulyumun (Tm I) taban seviyesi için başlangıç koşullarına denk gelen (*ab initio*) hesaplamalarıyla karşılaştırıldı [18].

Pfeufer 1987 yılında, Tm elementinin de içinde bulunduğu bazı lantanit grubu elementleri için $4f^n 6s^2$, $4f^n 5d6s$, $4f^n 6s6p$ ve $4f^{n-1}5d6s^2$ düşük enerjili konfigürasyonları için aşırı ince yapıyı inceleyerek, aşırı ince yapı radyal integrallerini belirledi [19].

Tripplet ve diğ. 1992 yılında, tulyumun Mössbauer etkisi ile gözlenmiş aşırı ince yapısının elektronik relaksasyon mekanizması ile açıklanabileceğinden yola çıkarak, helyum sıcaklıklarından oda sıcaklığına kadar geniş bir bölgede spektrumu iyi bir şekilde açıkladı. Bu çalışmada bu grup, daha önce nadir toprak metallerinden yapılmış bir çalışmada $4f$ elektronlarının relaksasyonunun Mössbauer etkisi ile ortaya konulmasından yararlanarak, Tm³⁺ iyonunun elektronik relaksasyonunun açıklanabileceğini gösterdi. Bu çalışma, daha

önce aynı spektrum için yapılmış çalışmayı basitleştirerek diğer Tm metallerinin olduğu spektrumları yorumlamak için de temel oluşturdu [20].

Zhan-Kui ve diğ.(1993) iterbiyum ve tulyumun bazı uyarılmış seviyelerinin aşırı ince yapısını ve izotop kaymasını laser atomik ışın yöntemi, yavaş uyarılma ve floresans teknikleri ile inceledi. Deneyisel sonuçlar yardımıyla manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti (A) ve elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti (B) ortaya çıkarıldı. Buna göre, o zamana kadar bulunamayan $4f^{12}5d6s6p$ seviyesine ait A değeri ilk defa verildi. $34457.853 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesine karşılık gelen bu A değeri $-432 \pm 10 \text{ MHz}$ olarak elde edildi [21].

Kröger ve Kronfeldt (1995) Doppler etkisiz soğurma spektroskopisini silindir katot içinde Tm buharına uygulayarak, $4f^{13}6s7s$ konfigürasyonunda 6 enerji seviyesi için manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti olan A değerlerini belirledi. Aşırı ince yapı için parametrik analiz uygulanarak, tek elektron aşırı ince yapı parametreleri $\alpha_{4f}^{01} = -500(6) \text{ MHz}$, $\alpha_{6s}^{10} = -5058(47) \text{ MHz}$, $\alpha_{7s}^{10} = -1012 \text{ MHz}$ değerlerine ulaşıldı [22].

Wickliffe ve Lawler 1996 yılında ise Tm I için 376 ve Tm II için 146 spektral çizginin geçiş olasılıkları tanımladı. Bu geçiş olasılıklarını belirlemek için, 1 m Fourier Transform Spektrometresi ile ölçülen dallanma kesirleri, yavaşlatılmış bir atom ışın üzerine zaman çözünürlüklü laser uyarılmış floresans spektroskopisi (LIF) ile ölçülmüş yaşam ömürleri ile karşılaştırıldı [23].

1997 yılında Kröger ve diğ. Tm I in uyarılmış enerji seviyelerinin aşırı ince yapısı üzerine çalıştı. Çalışmanın sonucu olarak Tm I için 51 geçiş ölçüldü ve 24 tek ve 19 çift pariteli enerji seviyesi saptandı. Bunlara ek olarak, laser uyarılmış floresans spektroskopisi (LIFS) ile $J = 3/2$ değerine sahip, $E = 27509.40(5) \text{ cm}^{-1}$ enerji değerinde yeni bir enerji seviyesi bulundu [24].

Nakamura ve diğ. 1997 yılında, atomik ışın laser spektroskopisi yöntemiyle, $4f^{13} (^2F^\circ) 6s^2 0 \text{ cm}^{-1}$ den $4f^{13} (^2F^\circ_{7/2}) 6s6p (^3P_0^\circ) 16742.237 \text{ cm}^{-1}$, $4f^{13} (^2F^\circ_{7/2}) 6s6p (^3P_1^\circ)$, $17343.374 \text{ cm}^{-1}$ enerji geçişlerinde 250 gauss manyetik alan uygulayarak, Zeeman etkisini

inceledi. Bu analizlerden her üç seviye için manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A sırasıyla -374.40(35), -737.53(45), -166.56 (14) olarak belirlendi. Ayrıca bu çalışmada üst seviyelerin g faktörleri de kesin olarak belirlendi [25].

Seliverstov ve diğ. 2000'de, laser iyon kaynaklı rezonans iyonizasyon spektroskopisi yöntemiyle (RIS/LIS), ^{155}Yb ve ^{169}Tm 'nin izotopları olan ^{154}Tm ($I=9$ ve $I=2$) ve ^{153}Tm ($I=11/2$) için izotop kaymasını ve aşırı ince yapısını ölçtüler [26].

2003 yılında Biemont ve Quinet atom numarası 57 ve 71 arasındaki, içerisinde tulyumu da kapsayan lantanit atomları ve iyonları için spektral analizler, geçiş olasılıkları, ışıma yarı ömürleri, aşırı ince yapı ve izotop kaymalarında son yirmi yıldaki gelişmeleri dikkate alarak astrofizik önemi de olan bir çalışma gerçekleştirdi. Böylece bu çalışmalar ile Güneş ve diğer yıldızların spektrumunda lantanitlerin tespiti ortaya çıkarıldı [27].

Başar ve diğ. 2005'te yüksek çözünürlüklü laser spektroskopi yöntemlerinden biri olan optogalvanik spektroskopi (OGS) yöntemi ile Tm I in uyarılmış seviyelerinin aşırı ince yapısını inceledi. Silindir katot tüp ve ayarlanabilir boya laser ile 570 nm - 595 nm dalga boyu aralığında 31 enerji geçişi ölçüldü ve sonuç olarak 24 çift ve 19 tek pariteli enerji seviyesi için manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri belirlendi [28].

Snedden ve diğ. 2009 yılında, Tm elementinin de içerisinde bulunduğu toprak elementlerin Güneş üzerindeki bolluk miktarlarını hesaplamıştır [29].

2011 yılında Smirnov ise, Tm II nin çift pariteli uyarılmış seviyelerini, uyarılmış iyonların ışıınımı ile genişletilmiş çapraz ışın yöntemiyle inceledi. 50 eV uyarılmış enerji seviyesinde 54 uyarılmış tesir kesiti ölçüldü. 0-200 eV enerji aralığında 12 uyarılmış optik fonksiyon kaydedildi. En olası uyarılma yolları tartışıldı [30].

Fedorov ve diğ. ^{169}Tm atomunun uyarılmış enerji seviyesi $4f^{12}(^3H_6)5d_{5/2}6s^2$ $4f^{12}(^3H_6)5d_{5/2}6s^2$ nin aşırı ince yapısını laser soğutma ile inceledi. Aşırı ince yapı aralıklarını kesin olarak saptamak için bir buhar hücresinde Tm atomlarının Doppler etkisiz frekans modülasyon doymuş soğurma spektroskopisini kullandılar. Enerji farkı -2110.56 cm^{-1}

olan iki alt seviyenin aşırı ince yapısı için aşırı ince yapı sabitini $A = -422.112(32)$ MHz olarak 2015 yılında belirlediler [31].

Tian ve diğ. 2016 yılında, Tm I için $22791.176\text{--}48547.98\text{ cm}^{-1}$ enerji aralığında 88 seviye ve Tm II için $27294.79\text{--}65612.85\text{ cm}^{-1}$ enerji aralığında 29 seviye için laser uyarılmış floresans spektroskopisi ile (LIF) enerji seviyelerinin yaşam ömürlerini ölçtü. Tm I için 77, Tm II için 22 yaşam ömrü ilk defa belirtildi [32].

Tüm bu makalelere ek olarak 1996 yılında S. Kröger tarafından yapılan doktora tez çalışmasının bir kısmında Tm elementinin aşırı ince yapı analizi gerçekleştirildi [33].

Tablo 2.1 ve Tablo 2.2’de sırası ile tek ve çift ince yapı pariteli enerji seviyelerinin literatürde bulunan tüm manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri verildi. Tablo 2.2’de verilen 27509.4 cm^{-1} ince yapı enerji değeri Kröger S. 1997 yılında yaptığı yayından [24] ve diğer tüm deneysel ince yapı enerji değerleri ise NIST veri tabanından alındı [4].

Tablo 2.1: Tulyum elementinin tek pariteli enerji seviyelerine ait literatürden alınan manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri ve kullanılan deneysel yöntemler.

Konfigürasyon	Enerji /cm ⁻¹	<i>J</i>	<i>A</i> / MHz	Yöntem	Ref
$4f^{13}(^2F^{\circ})6s^2$	0.000	3.5	-374.137661(3)	ABMR	[10]
			-374.40(35)	ABMR	[25]
$4f^{13}(^2F^{\circ})6s^2$	8771.243	2.5	-704.8(1.0)	LIF	[16]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})5d6s(^3D)$	23335.111	3.5	-819.3(1.1)	OGS	[28]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})5d6s(^3D)$	23431.844	2.5	-520(4)	OGS	[28]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})5d6s(^3D)$	23941.071	4.5	-678.7(3)	OGS	[28]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})5d6s(^3D)$	24160.63	0.5	336(4)	LIF	[24]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})5d6s(^3D)$	24246.425	3.5	-197(5)	OGS	[28]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})5d6s(^3D)$	24957.469	5.5	-538.7(1.5)	OGS	[28]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})5d6s(^1D)$	25207.732	1.5	-1524(3)	OGS	[28]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})5d6s(^1D)$	25520.987	5.5	-234.8(8)	OGS	[28]
$4f^{12}(^3H_6)6s^26p_{3/2}$	25536.116	7.5	-354(2)	OGS	[28]
$4f^{12}(^3H_6)6s^26p_{3/2}$	25699.714	4.5	-457(4)	OGS	[28]
$4f^{12}(^3H_6)6s^26p_{3/2}$	26368.412	5.5	-394(5)	OGS	[24]
$4f^{12}(^3F_4)6s^26p_{1/2}$	28514.423	4.5	-453.8(5)	LIF	[24]
$4f^{12}(^3H_6)5d6s6p(^4F^{\circ}_{3/2})$	29308.69	4.5	-842.9(1.2)	LIF	[24]
$4f^{12}(^3H_6)5d6s6p(^4F^{\circ}_{3/2})$	31080.846	5.5	-762.8(1.1)	LIF	[33]
$4f^{12}(^3H_6)5d6s6p(^4F^{\circ}_{5/2})$	31367.728	3.5	-397.3(1.8)	LIF	[33]
$4f^{12}(^3F_4)6s^26p_{3/2}$	31694.749	3.5	-403.9 (1.1)	LIF	[24]
$4f^{12}(^3H_6)5d6s6p(^4F^{\circ}_{3/2})$	32112.98	7.5	-137.29 (30)	ABMR	[18]
			-137.26 (22)	ABMR	[17]

Tablo 2.1(devam): Tulyum elementinin elementinin tek pariteli enerji seviyelerine ait literatürden alınan manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri ve kullanılan deneysel yöntemler.

Konfigürasyon	Enerji /cm ⁻¹	<i>J</i>	<i>A</i> / MHz	Yöntem	Ref
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s7s(^3S_1)$	32217.195	4.5	-967.3(1.2)	SAS	[24]
			-967.4 (5)	SAS	[22]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s7s(^3S_1)$	32359.372	3.5	-613.9(1.2)	SAS	[24]
			-612.5 (1.0)	SAS	[22]
$4f^{12}(^3H_6)5d6s6p(^4F^{\circ}_{5/2})$	32441.714	4.5	-363.9 (4)	OGS	[24]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s7s(^3S_1)$	32479.326	2.5	383.0(1.0)	SAS	[24]
			383.0 (2)	SAS	[22]
$4f^{12}(^3H_6)5d6s6p(^4F^{\circ}_{5/2})$	32761.54	8.5	-422.4(2)	OGS	[28]
			-422.21(90)	ABMR	[18]
			-421.12 (95)	ABMR	[17]
$4f^{12}(^3H_6)5d6s6p(^4F^{\circ}_{3/2})$	32950.1	6.5	-654.97(37)	ABMR	[18]
			-654.83 (43)	ABMR	[17]
$4f^{12}(^3H_6)5d6s6p(^4F^{\circ}_{5/2})$	33793.154	5.5	-472.9(1.0)	OGS	[24]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s7s(^1S_0)$	33961.044	3.5	-313.2(1.5)	LIF	[24]
$4f^{12}(^3H_6)5d6s6p(^4F^{\circ}_{5/2})$	34046.54	7.5	-513.19(35)	ABMR	[18]
			-513.08 (40)	ABMR	[17]
$4f^{12}(^3H_5)6s^26p_{3/2}$	34310.33	4.5	-472.5(1.5)	OGS	[24]
$4f^{12}(^3H_6)5d6s6p(^4F^{\circ}_{5/2})$	34449.774	6.5	-455.63(59)	ABMR	[18]
			-455.54 (66)	ABMR	[17]
$4f^{12}5d6s6p$	34457.853	4.5	-426.4(1.3)	OGS	[24]
$4f^{12}(^3H_5)6s^26p_{3/2}$	34532.898	5.5	-473.1(2.5)	ABMR	[18]

Tablo 2.1(devam): Tulyum elementinin elementinin tek pariteli enerji seviyelerine ait literatürden alınan manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri ve kullanılan deneysel yöntemler.

Konfigürasyon	Enerji /cm ⁻¹	<i>J</i>	<i>A</i> / MHz	Yöntem	Ref
		5.5	-473.0 (2.5)	ABMR	[17]
$4f^{12}5d6s6p$	34691.802	5.5	-362.2(1.2)	SAS	[33]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})5d6s(^1D)$	34999.008	1.5	-889(6)	OGS	[28]
$4f^{12}(^3H_6)5d(^2D)6s6p(^2D^{\circ}_{5/2})$	35633.01	8.5	-519.33(30)	ABMR	[18]
			-519.22 (36)	ABMR	[17]
$4f^{12}5d6s6p$	35958.88	6.5	-307.34(22)	ABMR	[18]
			-307.28 (25)	ABMR	[17]
$4f^{12}5d6s6p$	36223.628	6.5	-307.2(1.5)	OGS	[28]
$4f^{12}(^3H_6)5d(^2D)6s6p(^2D^{\circ}_{5/2})$	36653.924	7.5	-259.24(28)	ABMR	[18]
			-259.18 (32)	ABMR	[17]
$4f^{12}5d6s6p$	37010.534	4.5	-258(2)	OGS	[28]
$4f^{12}(^3H_4)6s^26p_{3/2}$	38664.184	3.5	-550(2)	OGS	[28]
$4f^{12}5d6s6p$	38877.211	5.5	-288(4)	OGS	[28]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s6d(^1D)$	39362.651	5.5	15.5(1.4)	OGS	[33]
$4f^{12}5d6s6p$	39434.151	6.5	-504.0(9)	OGS	[28]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s6d(^1D)$	39542.165	3.5	-98(5)	LIF	[33]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s6d(^3D)$	39627.996	3.5	185(5)	OGS	[24]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s6d(^3D)$	39737.58	0.5	691.7(1.0)	LIF	[24]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s6d(^1D)$	39741.913	4.5	203(3)	LIF	[24]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s7s(^3S_1)$	40989.73	1.5	234.6(1.0)	SAS	[24]
			234.6 (4)	SAS	[22]

Tablo 2.1(devam): Tulyum elementinin elementinin tek pariteli enerji seviyelerine ait literatürden alınan manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri ve kullanılan deneysel yöntemler.

Konfigürasyon	Enerji /cm ⁻¹	<i>J</i>	<i>A</i> / MHz	Yöntem	Ref
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s7s(^3S_1)$	41074.399	2.5	-899.4(1.0)	SAS	[24]
			-899.7 (5)	SAS	[22]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s7s(^3S_1)$	41189.162	3.5	-1061.4(1.0)	SAS	[24]
			-1061.4 (5)	SAS	[22]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s8s(^3S_1)$	41211.943	3.5	-1107(3)	LIF	[24]
$4f^{12}5d6s6p$	41274.9	6.5	-499.7(1.2)	OGS	[28]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s8s(^3S_1)$	41325.87	2.5	306.6(1.2)	LIF	[24]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s8s(^1S_0)$	41646.129	3.5	-277(3)	OGS	[24]
$4f^{12}5d6s6p$	42133.263	3.5	-326(3)	OGS	[33]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s7s(^1S_0)$	42735.208	2.5	-795(2)	LIF	[24]

Tablo 2.2: Tulyum elementinin çift pariteli enerji seviyelerine ait literatürden alınan manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri ve kullanılan deneysel yöntemler.

Konfigürasyon	Enerji / cm^{-1}	J	A / MHz	Yöntem	Ref
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{3/2} 6s^2$	15271.002	7.5	-345.18(23)	ABMR	[18]
			-345.1(6)	OGS	[28]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{3/2} 6s^2$	15587.811	5.5	-390.46(28)	ABMR	[18]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{3/2} 6s^2$	15587.811	5.5	-360.38 (31)	ABMR	[17]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	16456.913	8.5	-308.89(17)	ABMR	[18]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	16456.913	8.5	-308.82 (21)	ABMR	[17]
$4f^{12}(^2\text{F}^\circ_{7/2}) 6s6p(^3\text{P}^\circ_0)$	16742.237	3.5	-736.6 (1.0)	LIF	[16]
$4f^{12}(^2\text{F}^\circ_{7/2}) 6s6p(^3\text{P}^\circ_0)$	16742.237	3.5	-737.53 (45)	ABMR	[25]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	16957.006	3.5	-491.1(1.0)	LIF	[16]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	16957.006	3.5	-491.45 (7)	ABMR	[17]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	16957.006	3.5	-490.8 (1.0)	SAS	[24]
$4f^{13}(^2\text{F}^\circ_{7/2}) 6s6p(^3\text{P}^\circ_1)$	17343.374	3.5	-166.0 (0.7)	LIF	[16]
$4f^{13}(^2\text{F}^\circ_{7/2}) 6s6p(^3\text{P}^\circ_1)$	17343.374	3.5	-166.56 (14)	ABMR	[25]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{3/2} 6s^2$	17454.818	6.5	-365.91(55)	ABMR	[18]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{3/2} 6s^2$	17454.818	6.5	-365.83 (62)	ABMR	[17]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{3/2} 6s^2$	17454.818	6.5	-366 (2)	SAS	[24]
$4f^{13}(^2\text{F}^\circ_{7/2}) 6s6p(^3\text{P}^\circ_1)$	17613.659	4.5	-629.25(8)	ABMR	[13]
$4f^{13}(^2\text{F}^\circ_{7/2}) 6s6p(^3\text{P}^\circ_1)$	17752.634	2.5	-235.5(1.0)	LIF	[16]
$4f^{13}(^2\text{F}^\circ_{7/2}) 6s6p(^3\text{P}^\circ_1)$	17752.634	2.5	-235.6 (1.7)	OGS	[28]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	18693.074	7.5	-323.88(30)	ABMR	[18]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	18693.074	7.5	-323.81 (33)	ABMR	[17]

Tablo 2.2 (devam): Tulyum elementinin çift pariteli enerji seviyelerine ait literatürden alınan manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri ve kullanılan deneysel yöntemler.

Konfigürasyon	Enerji / cm^{-1}	J	A / MHz	Yöntem	Ref
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	18837.385	4.5	-422.4(9)	ABMR	[11]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	18837.385	4.5	-422.7 (1.5)	LIF	[24]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	18837.385	4.5	-421 (5)	OGS	[28]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	18853.823	5.5	-476.51(27)	ABMR	[18]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	18853.823	5.5	-476.41 (31)	ABMR	[17]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	18853.823	5.5	-477 (2)	OGS	[28]
$4f^{13}(^2\text{F}^{\circ}_{7/2}) 6s6p(^3\text{P}^{\circ}_2)$	18990.406	5.5	-581.4(1.3)	OGS	[24]
$4f^{13}(^2\text{F}^{\circ}_{7/2}) 6s6p(^3\text{P}^{\circ}_2)$	18990.406	5.5	-582 (2)	OGS	[28]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	19466.663	6.5	-342.84(28)	ABMR	[18]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	19466.663	6.5	-342.76 (34)	ABMR	[17]
$4f^{13}(^2\text{F}^{\circ}_{7/2}) 6s6p(^3\text{P}^{\circ}_2)$	19548.834	2.5	-57(2)	ABMR	[13]
$4f^{13}(^2\text{F}^{\circ}_{7/2}) 6s6p(^3\text{P}^{\circ}_2)$	19748.543	4.5	-694.8(4)	OGS	[24]
$4f^{13}(^2\text{F}^{\circ}_{7/2}) 6s6p(^3\text{P}^{\circ}_2)$	19748.543	4.5	-694.5 (1.5)	OGS	[28]
$4f^{13}(^2\text{F}^{\circ}_{7/2}) 6s6p(^3\text{P}^{\circ}_2)$	19753.83	3.5	-536.6(9)	ABMR	[13]
$4f^{13}(^2\text{F}^{\circ}_{7/2}) 6s6p(^3\text{P}^{\circ}_2)$	19753.83	3.5	-528 (6)	OGS	[28]
$4f^{12}(^3\text{F}_4) 5d_{3/2} 6s^2$	21120.836	3.5	-384 (7)	LIF	[33]
$4f^{12}(^3\text{F}_4) 5d_{3/2} 6s^2$	21161.401	2.5	-490(4)	LIF	[24]
$4f^{12}(^3\text{F}_4) 5d_{3/2} 6s^2$	21737.685	4.5	-357.1(1.5)	ABMR	[13]
$4f^{12}(^3\text{F}_4) 5d_{3/2} 6s^2$	21997.473	5.5	-342.8(1.3)	OGS	[28]
$4f^{12}(^3\text{H}_5) 5d_{3/2} 6s^2$	22791.176	3.5	-574.1(1.2)	ABMR	[11]
$4f^{12}(^3\text{H}_5) 5d_{5/2} 6s^2$	22929.717	2.5	-574(3)	ABMR	[11]

Tablo 2.2 (devam): Tulyum elementinin çift pariteli enerji seviyelerine ait literatürden alınan manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri ve kullanılan deneysel yöntemler.

Konfigürasyon	Enerji / cm^{-1}	J	A / MHz	Yöntem	Ref
$4f^{12}(^3F_4) 5d_{5/2} 6s^2$	24137.196	6.5	-308.0(1.4)	OGS	[28]
$4f^{12}(^3H_5) 5d_{3/2} 6s^2$	24348.692	4.5	-371.7(1.5)	OGS	[33]
$4f^{12}(^3H_5) 5d_{3/2} 6s^2$	24348.692	4.5	-371.3 (5)	OGS	[24]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s6p(^1P^{\circ}_1)$	24418.018	2.5	-659(2)	ABMR	[13]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s6p(^3P^{\circ}_0)$	25656.019	2.5	-410.7(1.4)	LIF	[16]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s6p(^3P^{\circ}_0)$	25656.019	2.5	-410.9 (5)	SAS	[24]
$4f^{12}(^3H_5) 5d_{5/2} 6s^2$	25717.197	3.5	-527.6(9)	ABMR	[13]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s6p(^1P^{\circ}_1)$	25745.117	2.5	-493.38(1.00)	OGS	[33]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s6p(^3P^{\circ}_1)$	26126.907	2.5	-1161.47(1.20)	OGS	[33]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s6p(^3P^{\circ}_1)$	26126.907	2.5	-1160.3 (1.0)	LIF	[16]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s6p(^3P^{\circ}_1)$	26439.491	3.5	-904.98(1.00)	OGS	[33]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s6p(^3P^{\circ}_1)$	26439.491	3.5	-908.3 (1.1)	LIF	[16]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s6p(^3P^{\circ}_1)$	26488.7	1.5	-739.3 (1.8)	LIF	[16]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s6p(^3P^{\circ}_1)$	26488.7	1.5	-737.5 (1.0)	SAS	[24]
$4f^{12}(^3H_5) 5d_{3/2} 6s^2$	26646.214	4.5	-474.3(1.5)	ABMR	[13]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s6p(^1P^{\circ}_1)$	26701.325	3.5	-426(15)	ABMR	[11]
$4f^{12}(^3H_5) 5d_{5/2} 6s^2$	26889.125	4.5	-408(3)	ABMR	[13]
	27509.4	1.5	-797.1(9)	LIF	[24]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s6p(^3P^{\circ}_2)$	28024.01	4.5	-916(3)	ABMR	[13]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s6p(^3P^{\circ}_2)$	28051.37	2.5	-768(3)	ABMR	[13]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s6p(^3P^{\circ}_2)$	28143.67	1.5	-475.6(8)	LIF	[24]

Tablo 2.2 (devam): Tulyum elementinin çift pariteli enerji seviyelerine ait literatürden alınan manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri ve kullanılan deneysel yöntemler.

Konfigürasyon	Enerji / cm^{-1}	J	A / MHz	Yöntem	Ref
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s6p(^3P^{\circ}_2)$	28448.585	2.5	-746.4(1.3)	LIF	[24]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s6p(^3P^{\circ}_2)$	28555.799	3.5	-992.4(1.5)	LIF	[24]
$4f^{12}(^3F_2)5d_{3/2}6s^2$	30082.18	2.5	-562(2)	LIF	[24]
$4f^{12}(^3H_4)5d_{5/2}6s^2$	30124.02	3.5	-454(2)	LIF	[24]
$4f^{12}(^3H_4)5d_{5/2}6s^2$	30302.42	2.5	-490(2)	LIF	[24]
$4f^{12}(^3F_3)5d_{5/2}6s^2$	32174.49	2.5	-390(9)	ABMR	[13]
$4f^{12}(^3F_2)5d_{3/2}6s^2$	32446.26	3.5	-392(6)	ABMR	[13]
$4f^{12}(^3F_2)5d_{5/2}6s^2$	33489.36	1.5	-204(12)	ABMR	[13]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s7p$	37724.84	2.5	-2263.3(3.9)		[34]
$4f^{12}5d6s6p$	40360.37	3.5	-225.1(8)	OGS	[28]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})5d6p(^3F^{\circ}_3)$	40693.63	1.5	-381(6)	OGS	[28]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s7s(^3S_1)$	41074.45	4.5	-280.6(3)	OGS	[28]
$4f^{12}5d6s6p$	41430.237	5.5	-231(5)	OGS	[24]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})5d6p(^3F^{\circ}_3)$	41493.034	2.5	-537(8)	OGS	[28]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})5d6p(^1D^{\circ}_2)$	42080.152	5.5	-398.1(1.4)	OGS	[28]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})5d6p(^1D^{\circ}_2)$	42357.42	1.5	-286.4(1.8)	OGS	[28]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})5d6p(^3F^{\circ}_3)$	42429.385	5.5	-393.4(6)	OGS	[28]
$4f^{12}5d6s6p$	42456.47	6.5	-500.2(3)	OGS	[28]
$4f^{12}5d6s6p$	42576.01	4.5	-395.2(1.2)	OGS	[28]
$4f^{12}5d6s6p$	42595.791	5.5	-423.0(1.7)	OGS	[28]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})5d6p(^1D^{\circ}_2)$	42667.745	4.5	-445.8(1.6)	OGS	[28]

Tablo 2.2 (devam): Tulyum elementinin çift pariteli enerji seviyelerine ait literatürden alınan manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri ve kullanılan deneysel yöntemler.

Konfigürasyon	Enerji / cm^{-1}	J	A / MHz	Yöntem	Ref
$4f^{13}(^2F_{7/2}^{\circ})5d6p(^3F_{3}^{\circ})$	42764.664	4.5	-692.1(1.2)	OGS	[28]
$4f^{12}(^3F_4)5d6s6p(^4F_{9/2}^{\circ})$	42868.255	5.5	-383.7(1.0)	OGS	[28]
$4f^{12}(^3F_4)5d6s6p(^4F_{9/2}^{\circ})$	42869.748	6.5	-200(2)	OGS	[28]

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. ÇOK ELEKTRONLU SİSTEMLERE GENEL BAKIŞ

Modern spektroskopi çağında atomik yapıların doğru anlaşılması için, kuantum mekaniği teorisi vazgeçilmez bir gerekliliktir. Kuantum mekaniği, aslında Schrödinger'e atfedilen birleşik atom fiziği teorisi olmakla birlikte, de Broglie, Heisenberg, Dirac ve diğerlerinin çalışmaları da bu teorinin gelişmesi açısından son derecede önemlidir. Tek elektronlu sistemler, kuantum mekaniğiyle mekanik olarak incelenecek en basit atomlardır. Hidrojen, bir elektronun bir protonun küresel simetrik Coulomb potansiyelinin etkisi altında hareket ettiği ilk elementtir. Diğer hidrojen benzeri tek elektronlu sistemler (He^+ , Li^{++} , Be^{+++} , vb) iyon formundadır. Schrödinger denklemi, yalnızca bir elektron sistemi için tam olarak çözülebilir. Çekirdeğin etrafındaki elektron sayısının artmasıyla, elektronların kendi aralarındaki etkileşimler nedeniyle sistem gittikçe daha karmaşık hale gelir. Bu nedenle çok elektronlu sistemlerin çözümü için bazı yaklaşımlar yapılmalıdır.

Çok elektronlu bir atom, Z atom numarasına sahip, Ze çekirdek yüklü, her bir elektronu e yüküne sahip atom olarak düşünülebilir. Bu atomlarda, her elektron çekirdek tarafından çekici Coulomb etkileşmesine ve diğer $Z-1$ tane elektron ile ise, itici Coulomb etkileşmesine maruz kalır. Ayrıca açısal momentumdan kaynaklı daha küçük etkileşmeler de vardır [35].

3.1.1. Merkezi Alan Yaklaşığı

Çok elektronlu atomlarda, itici elektron-elektron etkileşimi ve çekici elektron-çekirdek etkileşimi oldukça büyüktür ve Schrödinger denklemini sayısal olarak çözmek mümkün değildir. Hartree ve Fock, bu problemi çözebilmek için merkezi alan yaklaşımı adı verilen bir yaklaşım yöntemi geliştirdi. Bu yaklaşımda elektronlar küresel simetrik $V(r)$ potansiyelinde diğer elektronlardan bağımsız olarak hareket ederler. Bu net potansiyel, çekirdek ve elektron arasındaki çekici Coulomb etkileşmesi ve seçilen bir elektron ile geride kalan diğer $Z-1$ tane elektron arasındaki itici Coulomb etkileşmesinin toplamı olarak ifade edilebilir [36]. $V(r)$ potansiyelin izotropik bir fonksiyon olup sadece seçilen elektrondan olan r mesafesine bağlıdır.

3.1.2. Hartree-Fock Yöntemi

Hartree, çalışmalarda çok elektronlu bir sistemde, elektronların antisimetrik toplam dalga fonksiyonu ile ifade edilmesi gerekliliğini kullanmadı. Nedeni, Z atom numaralı bir atomda, Z tane elektron için Z! tane çok sayıda dalga fonksiyonu türemesiydi. Bu ise, hesaplamaları daha karmaşık hale getirdi. Yine de, bu durum, belirli elektron çiftlerini bir araya toplarken, diğerlerini birbirinden uzaklaştırdığı için yük dağılımı üzerinde etki oluşturmaz. Hartree'nin yaklaşımında da, yük dağılımı önemli olduğundan, bu eksiklik, çok önemli bir hata vermez. Bu durum Fock tarafından doğrulandı. Fock, Hartree'nin hesaplarındaki bu eksikliği düzeltmek için seçilmiş bazı atomlar üzerindeki çalışmasında toplam antisimetrik dalga fonksiyonlarını kullanarak, sonuçları Hartree'nin sonuçlarıyla karşılaştırdı.

Hartree-Fock yaklaşımında aşamalı olarak;

- Tüm elektronlar için bir tahmini deneme $V(r)$ potansiyeli belirlenir. $V(r)$ nin belirlenmesinde aşağıdaki yöntem kullanılabilir:

$$V(r) = \frac{-Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad r \rightarrow 0 \quad (3.1)$$

$$V(r) = \frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad r \rightarrow \infty \quad (3.2)$$

- Daha sonra bu potansiyel Schrödinger denkleminde yerine konarak, φ dalga fonksiyonu elde edilir.

$$\left(\frac{-\hbar^2}{2m} \nabla_i^2 + V(r)\right) \varphi = E \varphi \quad (3.3)$$

- Seçilen herhangi bir elektron ile diğer elektronların yük dağılımından kaynaklanan ortalama potansiyel enerji hesaplanır. Yük dağılımı burada

$$Q(r_i) = e |\varphi_{n,l,ml,ms}(R_i)|^2 \text{ olup, potansiyel enerji ise,}$$

$$V_i(r) = \sum_{i \neq j} \int \frac{eQ(r_j)}{r_{ij}} dV \quad (3.4)$$

ile hesaplanır.

- Buradaki yeni V_i potansiyeli, ilk basamakta ifade edilen Scrödinger denkleminde kullanılarak, tekrardan yeni bir φ dalga fonksiyonu elde edilir.
- Bu işleme, hesaplanan dalga fonksiyonları arasındaki fark yeterince azalana kadar devam edilir.
- Sonuç olarak, bu yaklaşıklıkla en gerçekçi dalga fonksiyonu elde edilir [35,36].

3.1.3. Atomlarda İnce Yapı

Atomlarda büyük katkı ortaya çıkaran çekirdek-elektron veya elektron-elektron etkileşmelerinin dışında küçük etkiler de bulunur. Bunlardan biri de ince yapıdır. Atom içerisinde bulunan yükler, bir yörünge boyunca hareket ederler. Bunun sonucunda akım ve manyetik alan ortaya çıkar. Bu durum, enerji düzeylerinde ince yapı yarılmaları adı verilen yarılmaları meydana getirir. Bu yarılmalar, elektronların spin manyetik momentleri ve yörünge manyetik momentlerinin birbirleri ile etkileşmesi nedeni ile oluşur. İnce yapı yarılması, aynı zamanda elektronun bir spine sahip olduğunu gösteren ilk deneysel kanıtlardan biridir.

Yukarıdaki tanıma göre, spin-yörünge etkileşmesi ile beraber açığa çıkan enerji,

$$E_{so} = -\vec{\mu}_s \cdot \vec{B} \quad (3.5)$$

olarak verilir.

Elektronun dairesel yörünge hareketi nedeni ile oluşan akım, μ_l ile gösterilen yörünge manyetik dipol momentini oluşturur. Yörünge manyetik dipol moment ifadesi aşağıdaki gibi verilir. Burada boyutsuz Lande-g (g_l) çarpanı “1” değerine sahiptir.

$$\vec{\mu}_l = \frac{e}{2m_e} g_l \vec{L} \quad (3.6)$$

Öte yandan μ_s ile gösterilen elektronun spin dipol momentleri, Bohr magnetonu cinsinden

$$\vec{\mu}_s = -\frac{e}{2m_e} g_s \vec{S} \quad (3.7)$$

ile verilir. Burada g_s spin Lande g çarpanı olup, değeri Lamb kaymasının deneysel bir sonucu olarak 2,00232' ye eşittir [37].

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

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

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

Buna göre, elektronun toplam açısal momentumu yörünge ve spin açısal momentumların toplamından oluşur. Bu yüzden toplam açısal momentum;

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

ile verilir.

Benzer olarak, J kuantum sayısı ile μ_J manyetik dipol momenti arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.

$$\vec{\mu}_J = -\frac{e}{2m_e} g_J \vec{J} \quad (3.11)$$

Burada g_J Lande g çarpanı olarak adlandırılır ve

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

şeklinde ifade edilir.

Toplam açısal momentum J ,

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

aralığındaki değerleri alır.

Toplam yörüngesel açısal momentum kuantum sayısını temsil eden L , toplam spin açısal momentum kuantum sayısından küçük ise, ($L < J$), toplam açısal momentum kuantum sayısı J değeri $2L + 1$, tam tersi durumda da ($J < L$) ise $2S + 1$ sayıda değer alır. Her J değerine bir enerji seviyesi karşılık gelir. Böylece açık kabuk elektronlar, spin-yörünge etkileşmeleri sonucu multiplet (çoklu) olarak adlandırılan alt terimlere ayrılır.

Hartree- Fock yöntemiyle yapılan hesaplarda enerji seviyelerinde daha çok katkı yapan elektron-çekirdek ve elektron-elektron arası Coulomb etkileşmeleri önemli olduğu için bu durumda; hamiltonyen; bu etkileşmelerin de yer aldığı şekliyle,

$$H = \sum_{i=1}^N -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla_i^2 - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r_i} + \sum_{i>j}^N \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{ij}} \quad (3.14)$$

ile verilir.

Ancak, Hartree-Fock metodu ile yapılan hesaplara spin yörünge etkileşme düzeltilmesinin yapılması da gerekir. Bu durumda toplam enerjiyi ifade eden Hamiltonyene ayrıca eklenecek terim;

$$H_{SO} = \sum_j \xi(r_j) \vec{L}_j \cdot \vec{S}_j \quad (3.15)$$

olarak verilir [35]. Bu denklem spin yörünge etkileşmesini ifade eder. Son terimdeki spin ve yörüngesel dipol momentlerinin etkileşme sabiti olan ξ_i sadece radyal koordinata bağlıdır. Spin-yörünge etkileşiminin de yer aldığı Hamiltonyen ifadesinde $\sum_{i=1}^N \xi_i \vec{L}_i \cdot \vec{S}_i$ ifadesi düşük miktarda bir katkı oluşturur ve denklemdeki $\xi_i(r_i)$ ifadesinin karşılığı tam olarak aşağıdaki gibidir.

$$\xi_i(r_i) = \frac{1}{2} \frac{\hbar^2}{m^2 c^2} \frac{1}{r} \frac{dV_i}{dr_i} \quad (3.16)$$

Bu eşitliğin ilk şeklinde gerçekte $\frac{1}{2}$ çarpanı bulunmaz. Tam karşılığında ise $\frac{1}{2}$ çarpanı bulunmalıdır. Buradaki $\frac{1}{2}$ çarpanının önemi, Thomas presesyonu adıyla da verilen, elektronun eylemsiz referans sisteminde, durgun bir hareketinin olduğunun düşünülmesi yerine çekirdek etrafında ivmeli hareketinin ele alınmasıyla ilave edilen katsayı olmasıdır [38].

Kosinüs teoremi ile;

$$\vec{L} \cdot \vec{S} = \frac{1}{2} [J(J + 1) - L(L + 1) - S(S + 1)] \quad (3.17)$$

verilirse, ince yapı etkileşme enerjisi, böylece

$$E_{SO} = \frac{\zeta}{2} [J(J + 1) - L(L + 1) - S(S + 1)] \quad (3.18)$$

$$E_{SO} = \frac{\hbar^2}{4m^2 c^2} \frac{1}{r} \frac{dV_i}{dr_i} [J(J + 1) - L(L + 1) - S(S + 1)] \quad (3.19)$$

olarak verilir.

Bir multipletin birbirini takip eden J değerine sahip enerji seviyeleri arasındaki fark Lande aralık kuralı ile verilir:

$$\begin{aligned}\Delta E_{SO(J,J-1)} &= \Delta E_J - \Delta E_{J-1} = \\ &= \frac{\zeta}{2} [J(J+1) - L(L+1) - S(S+1)] - \frac{\zeta}{2} [(J-1)J - L(L+1) - S(S+1)] = \zeta J\end{aligned}\quad (3.20)$$

Çok elektronlu atomlar için spin- yörünge etkileşmesi yalnızca açık kabuktaki elektronlar arasında gerçekleşir. Kapalı kabuklarda elektronlar ise, zıt spin yönelimiyle beraber her orbitalden gelen toplam spin katkısını sıfırlar. Yukarıdaki denklemde de $S = 0$ durumunda $J = L + S$ eşitliğine göre $J = L$ olur ve denklemde yerine yazılınca ince yapı yarılmalarının gerçekleşmediği görülür. Aynı şekilde $l = 0$ durumu dışında, bütün enerji seviyeleri toplam spin durumuna göre $J = L + S, L + S - 1, L + S - 2, \dots, L - S$ şeklinde çok sayıda enerji seviyesine ayrılır. Spin- yörünge etkileşmesinin sadece açık kabuk elektronlarının birbiri ile etkileşerek gerçekleşmesinden dolayı oluşan seviyelerin sayısı belirlenirken atomun açık kabuk elektronlarının momentumları önem taşır [35].

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

- Elektrik dipol geçişlerinde konfigürasyonların pariteleri farklı olmalıdır. Bundan dolayı bir geçişin olabilmesi için, bu geçişin gerçekleşeceği iki seviyeye ait yörünge açısal momentum kuantum sayılarının farklı olması gerekir. Buna karşın, toplam yörünge açısal momentum kuantum sayısında böyle bir durum şart değildir.

Bu geçişlerde; $\Delta l = \pm 1, \Delta J = 0, \pm 1$

- Manyetik dipol geçişlerinde geçiş yapılan seviyelerin pariteleri farklı değildir. Bu geçişler için; $\Delta l = 0, \Delta L = 0, \Delta J = 0, \pm 1$
- Hem elektrik dipol, hem de manyetik dipol geçişleri için $\Delta J = 0, \pm 1$ iken $J = 0 \rightarrow J = 0$ geçişi yasaktır.

Spin - yörünge etkileşmesi ile birlikte ortaya çıkan ince yapı enerji seviyelerinin değerlerini elde etmek için ile verilen Hamiltonyen ifadesine, elektronların spin-yörünge etkileşmelerinden ortaya çıkan enerji de eklenirse, Hamiltonyen'in ifadesi son olarak;

$$H = \sum_{i=1}^N -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla_i^2 - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r_i} + \sum_{i>j}^N \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{ij}} + \sum_{i=1}^N \xi_i \vec{L}_i \cdot \vec{S}_i \quad (3.21)$$

olarak verilir.

Çok elektronlu atomlar arasında çeşitli etkileşmeler meydana gelir ve bütün bu etkileşmeler genel olarak çiftlenim durumları bakımından iki türde incelenir. (3.21) eşitliğindeki Hamiltonyen ifadesinde verilen iki pertürbasyon teriminden (Coulomb etkileşmeleri ve spin yörünge etkileşmesi) hangisinin daha büyük olduğuna bağlı olarak çiftlenimin türü belirlenir.

- Eğer elektronlar arası Coulomb etkileşmesi, spin yörünge etkileşmesinden çok daha kuvvetli ise ($H_E \gg H_{SO}$) spin yörünge çiftlenimi veya diğer adıyla LS çiftlenimi gerçekleşir.

LS çiftleniminde toplam yörünge açısal momentumu $\vec{L}$ ve toplam spin açısal momentumu $\vec{S}$, yörünge ve spin momentumları $\vec{l}$ ve $\vec{s}$ nin her bir atomdan gelen katkısının kendi aralarında toplamı olarak, toplam açısal momentum $\vec{J}$ de bu toplamlardan ortaya çıkan her bir $\vec{L}$ ve $\vec{S}$ nin toplam katkısını ifade edecek şekilde kendi aralarında sırasıyla;

$$\vec{L} = \vec{l}_1 + \vec{l}_2 + \vec{l}_3 + \dots + \vec{l}_n \quad (3.22)$$

$$\vec{S} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2 + \vec{s}_3 + \dots + \vec{s}_n \quad (3.23)$$

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S} \quad (3.24)$$

eşitlikleri ile ifade edilir.

İki atomlu bir sistemin LS çiftleniminde tüm $\vec{l}$ yörünge açısal momentumları, kendi içinde toplam yörünge açısal momentumu $\vec{L}$ yi oluşturur ve tüm $\vec{l}$ ler, bu $\vec{L}$ etrafında hızlıca presesyon hareketi yapar. Aynı şekilde tüm $\vec{s}$ spin açısal momentumları da toplam spin açısal momentumu $\vec{S}$ yi oluşturur ve tüm $\vec{s}$ ler, bu $\vec{S}$ etrafında hızlıca presesyon hareketi gerçekleştirir. Benzer olarak, sonuçta ortaya çıkan $\vec{L}$ ve $\vec{S}$ ler de toplam açısal momentum $\vec{J}$ etrafında yavaşça presesyon hareketi gerçekleştirirler. LS çiftlenimi hafif atomlar için geçerlidir.

- Spin yörünge etkileşmesinin elektronlar arası Coulomb etkileşmesinden büyük olduğu durumlarda ise ($H_{SO} \gg H_E$), JJ çiftlenimi ortaya çıkar. Bu çiftlenim ağır atomlarda gözlenir. Buna göre ağır atomlarda atom numarası Z nin büyük olmasıyla birlikte spin yörünge etkileşimi büyük değerlere ulaşır. Bu tür atomlar, çok sayıda elektron bulundurduğundan dolayı, diğer atomlara göre spin yörünge çiftlenimini perdeler.

JJ çiftleniminde, toplam açısal momentum $\vec{J}$, her bir atomun JJ çiftleniminden gelen $\vec{j}$ toplam açısal momentumu toplanarak, ($\vec{J}_1 = \vec{l}_1 + \vec{s}_1$ ve $\vec{J}_2 = \vec{l}_2 + \vec{s}_2$) ve aynı şekilde bu $\vec{j}$ ler de kendi aralarında toplanarak, sırasıyla; iki atomlu bir sistemde;

$$\vec{J} = \vec{J}_1 + \vec{J}_2 \quad (3.25)$$

olarak verilir.

Bu atomlarda her bir $\vec{l}$ yörünge açısal momentumu ve spin açısal momentumu $\vec{s}$ kendi aralarında toplanarak $\vec{j}$ toplam açısal momentumunu oluşturur ve bu $\vec{j}$ etrafında presesyon hareketi yapar. Daha sonra tüm bu j ler yine kendi aralarında toplanarak, toplam açısal momentum $\vec{J}$ yi oluşturur ve $\vec{J}$ etrafında presesyon hareketi gerçekleştirirler [39,40].

3.1.4. Atomlarda Aşırı İnce Yapı

Atomda bir diğer zayıf şiddetteki etkileşme ise, çekirdeğin manyetik momenti ile yörünge hareketi gerçekleştiren elektronların çekirdek üzerinde oluşturduğu manyetik alanın etkileşmesi sonucunda gerçekleşir. Buna aşırı ince yapı etkileşmesi adı verilir. Wolfgang

Pauli, 1924 yılında spektral çizgilerin aşırı ince yapısını yorumlamak amacıyla çekirdeğin I ile ifade edilen bir çekirdek spinine sahip olduğunu önerdi. Birkaç yıl sonra ise, Zeeman tarafından bu öneri desteklenerek, aşırı ince yapı etkileşmesi, çekirdek spininin belirlenmesi için genel bir yöntem oldu [41,42]. Çekirdek spin kuantum sayısı I , $0 \leq I \leq \frac{15}{2}$ aralığında değer alabilir [36].

Aşırı ince yapı etkileşmesinin şiddeti oldukça küçüktür. Bunun nedeni, çekirdek manyetik momentini belirleyen eşitlikte, çekirdeğin kütesinin, elektronun yörünge manyetik momentini belirleyen eşitlikte yer alan elektronun kütesine göre 2000 katı olmasıdır. Gözlenebilen aşırı ince yapı terimleri manyetik dipol ve elektrik kuadropol terimleridir. Diğer terimler oldukça küçük oldukları için ihmal edilebilir [41].

Aşırı ince yapı aynı zamanda, elektronların elektrik yükünün çekirdek üstünde oluşturduğu elektrik alanla çekirdeğin elektrik kuadropol momentinin etkileşmesi sonucunda da görülür. Elektrik kuadropol moment, Q , yük dağılımının elipsoid şeklini belirleyen çekirdeğin önemli bir parametresidir. Çekirdek, $Q = 0$ için küresel yük simetrisine sahipken, sıfır olmayan bir kuadropol moment, yük dağılımının küresel simetrik olmadığını gösterir [43].

Çekirdek spini $I = \frac{1}{2}$ olan atomlar için, çekirdek üzerinde küresel simetrik yük dağılımı ortaya çıkar ve bu durumda elektrik kuadropol aşırı ince yapı katkısı görülmez [44].

Elektronun toplam açısal momentumu J ve çekirdek spini I değerlerinin toplamından atomun toplam açısal momentum kuantum sayısı F elde edilir.

$$\vec{F} = \vec{I} + \vec{J} \quad (3.26)$$

F toplam açısal momentumu,

$$|\vec{F}| = \sqrt{F(F+1)} \hbar \text{ olarak verilir.} \quad (3.27)$$

F kuantum sayısı,

$$|I - J| \leq F \leq |I + J| \quad (3.28)$$

aralığında değerler alır.

Çekirdeğin spin açısal momentumunun büyüklüğü de,

$$|\vec{I}| = \sqrt{I(I+1)} \hbar \quad (3.29)$$

ile ifade edilir.

μ_I çekirdek manyetik momenti ise, çekirdek kuantum sayısı I cinsinden, g_I çekirdek lande-g çarpanı ise;

$$\vec{\mu}_I = g_I \frac{e}{2m_p} \vec{I} \quad (3.30)$$

olarak verilir [40].

Çekirdeğin manyetik dipol momenti ile elektronların çekirdek üzerinde oluşturdukları manyetik alanın birbiri ile etkileşimi dikkate alındığında, sistemin toplam Hamiltonyeni, N elektronlu bir sistemde;

$$H = \sum_{i=1}^N -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla_i^2 - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r_i} + \sum_{i>j}^N \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{ij}} + \sum_{i=1}^N \xi_i \vec{L}_i \cdot \vec{S}_i + \sum_{i=1}^N A I \cdot J \quad (3.31)$$

ile ifade edilebilir. İfadedeki son eklenen pertürbasyon etkisi, çekirdek ve elektronlar arasındaki manyetik etkileşim (aşırı ince yapı) terimini gösterir. Atomun toplam dipol momenti ise,

$$\vec{\mu}_F = g_F \frac{e}{2m_e} \vec{F} \quad (3.32)$$

ile ifade edilir.

Burada atomun toplam Lande g çarpanı olan g_F değeri,

$$g_F = g_J \frac{F(F+1)+J(J+1)-I(I+1)}{2F(F+1)} - g_I \frac{m_e}{m_p} \frac{F(F+1)+J(J+1)-I(I+1)}{2F(F+1)} \quad (3.33)$$

Eşitliğinin yardımıyla hesaplanır. Burada $\frac{m_e}{m_p}$ oranının yaklaşık olarak $\frac{1}{1836}$ olması nedeniyle ikinci terim ihmal edilebilir ve

$$g_F \cong g_J \frac{F(F+1)+J(J+1)-I(I+1)}{2F(F+1)} \quad (3.34)$$

olarak da verilebilir [39].

Aşırı ince yapı yarılmasının sonucu olarak her bir J değerine sahip enerji, $J > I$ ise $(2I+1)$ sayıda, $J < I$ ise $(2J+1)$ sayıda farklı seviyeye ayrılır. Her bir F kuantum sayısına da bir enerji seviyesi karşılık gelir.

3.1.4.1. Manyetik Dipol Etkileşmesi

Çekirdeğin μ_I manyetik momentinin elektronun yörünge hareketinden dolayı oluşan manyetik alanı B_J ile etkileşmesi sonucunda manyetik etkileşmeden dolayı oluşan potansiyel enerji ;

$$H_{IJ} = -\mu_I \cdot B_J = -\mu_I B_J \cos(-\mu_I, B_J) \quad (3.35)$$

$$= g_I \mu_B \sqrt{I(I+1)} B_J \cos(-\mu_I, B_J) \quad (3.36)$$

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

$$\cos(I, J) = \frac{F(F+1)-I(I-1)-J(J-1)}{2\sqrt{I(I+1)J(J+1)}} \quad (3.37)$$

olduğu düşünülerek, enerji seviyelerinin aşırı ince yapı manyetik etkileşim enerjisi ;

$$H_{IJ} = -\mu_I B_J \frac{F(F+1)-I(I-1)-J(J-1)}{2\sqrt{I(I+1)J(J+1)}} \quad (3.38)$$

şeklinde ifade edilir.

Bu denklemde,

$$A = \frac{\mu_I B_J}{\sqrt{I(I+1)J(J+1)}} = \frac{g_I \mu_N B_J}{\sqrt{J(J+1)}} \quad (3.39)$$

eşitliği her bir enerji seviyesi için özel bir değere sahip olup, manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti olarak adlandırılır.

$$C = [F(F + 1) - I(I + 1) - J(J + 1)] \quad (3.40)$$

olarak ifade edilirse, daha genel haliyle, enerji seviyelerinin aşırı ince yapı manyetik etkileşme enerjisi,

$$H_{IJ} = A \frac{C}{2} \quad (3.41)$$

ifadesiyle de verilir. Aşırı ince yapı seviyeleri arasında geçiş şartları:

- İnce yapı enerji seviyelerinin pariteleri birbirinden farklı olmalıdır.
- $\Delta F = 0, \pm 1$ geçişleri izinli iken, $F = 0 \rightarrow F = 0$ geçişi izinli değildir [40].

3.2. SPEKTRAL ÇİZGİ PROFİLLERİ VE ÇİZGİ GENİŞLEME NEDENLERİ

Atomik geçişler tam olarak monokromatik özellikte değildir. Bundan dolayı bu geçişlerden elde edilen spektrumlar bir frekans aralığında dağılım gösterir. Gözlenen spektral çizgiler, bir ya da daha çok etken tarafından genişlemeye uğrar. Farklı fiziksel sebeplere bağlı olarak çizgi genişlemeleri homojen ve inhomojen olmak üzere ikiye ayrılır. Bir enerji geçişinde elektromanyetik ışını soğurma / yayma olasılığı alt enerji seviyesindeki tüm atomlar için aynı ise, bu geçişi sağlayan çizgi profili homojendir. Bu şekilde oluşan çizgi genişlemelerine homojen çizgi genişlemesi denir. Bir elektromanyetik ışınımın soğurulma ve yayımlanma olasılığının tüm atomlar için aynı olmadığı durumlarda, mesela hıza bağlı değişkenlik gösterdiği durumlar da gözlenir. Bu koşullar altında ortaya çıkan çizgi genişlemelerine homojen olmayan çizgi genişlemeleri denir.

Uyarılan bir elektronun uyarıldığı enerji seviyesinde ne kadar süreyle kaldığını belirlemek için yapılan ölçümdeki belirsizlikten ileri gelen genişleme “Doğal çizgi genişlemesi” olarak adlandırılır. Dolayısıyla bu genişleme seviyelerin ortalama yaşam ömrü ile ilgilidir. Uyarılmış atom fazla enerjisini kendiliğinden emisyon ile dışa verir. Doğal çizgi genişlemesi dışarıdan herhangi bir etki olmadan meydana gelen kendiliğinden emisyon nedeni ile oluşur. Heisenberg belirsizlik ilkesi, uyarılmış atomun enerji seviyelerinin ömrünün sonlu olması

nedeni ile enerji seviyesinin kesin olarak belirlenemeyeceğini söyler. Belirsizlik ilkesinin bir sonucu olarak ortaya çıkan “Doğal çizgi genişlemesi” birkaç MHz mertebesinde. Geçiş yapılan enerji seviyelerinden biri temel seviye değil ise, geçişin yapıldığı her iki seviyenin de enerjisinde ΔE kadarlık belirsizlik vardır ve enerji seviyesinin yaşam ömrü ile ters orantılıdır. Eğer iki uyarılmış seviye arasında geçiş var ise her iki enerji belirsizliği de çizgi genişliğine katkıda bulunur. Bundan dolayı, bu enerji seviyelerindeki iki enerjinin de belirsizlik değerinin toplamını almak gerekir. Doğal çizgi genişlemesi homojendir ve spektral çizgilerin şiddet dağılımı Lorentz profili ile verilir. Bozunma sabiti γ ve geçiş açısal frekansına $(\omega - \omega_0)$ bağlı Lorentz şiddet profili aşağıdaki gibi verilir:

$$I(\omega - \omega_0) = \frac{\frac{1}{2\pi}\gamma}{(\omega - \omega_0)^2 + \left(\frac{\gamma}{2}\right)^2} \quad (3.42)$$

En gelişmiş deneysel yöntemler kullanılsa bile doğal çizgi genişlemesi indirgenemez.

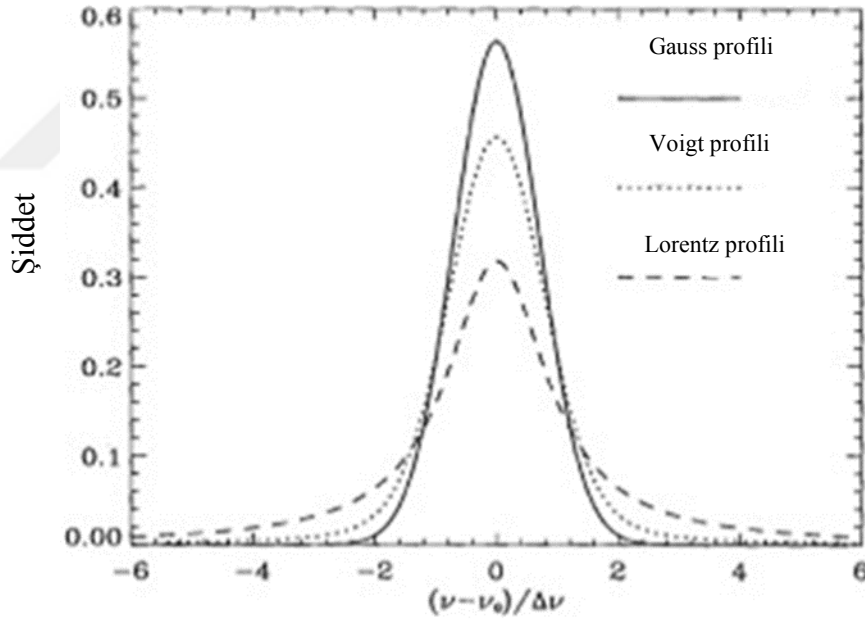
Diğer bir şiddet dağılımı Lorentz profiline uyan genişleme çarpışma çizgi genişlemesidir. Bir atom, başka bir atoma yaklaştığında, bu iki atom arasında etkileşme gerçekleşir. Etkileşimin fark edilir büyüklükte olduğu uzaklıkta, iki atom çarpışmış varsayılır. Bu durum, her iki atomun da enerji seviyelerinde kaymalara yol açar. Enerji seviyelerindeki kaymalar, her iki atomun elektron kabuklarının yapısına, kendi enerji seviyelerine ve aralarındaki uzaklığa bağlılık gösterir. Atomların çarpışma sayıları, basınç ile doğru orantılı olacağından, bu tür genişlemeler çarpışma ya da basınç çizgi genişlemesi olarak adlandırılır. Bu tip genişleme etkilerinin düşürülmesinin yolu, sistem basıncının düşük tutulmasıdır.

Gaz halindeki atomların hız dağılımları Maxwell-Boltzmann istatistiğine uyarlar. Bundan dolayı, farklı hızlardaki atomlar için spektral çizgilerdeki genişlemeler de farklı olur. Bu genişlemelere “Doppler çizgi genişlemesi” adı verilir. Doppler çizgi genişlemesi, atomların hızına bağlı bir genişleme olduğu için her atom için aynı değerde gerçekleşmeyip, bu genişlemenin inhomojen bir genişleme olduğu görülür. Sıcaklık artarken atomların hızları da artacağından, bu tür genişleme daha da büyür. Doppler çizgi genişlemesi, doğal çizgi genişlemesi ile karşılaştırıldığında daha büyüktür ve spektral şiddet dağılımı Gauss fonksiyonuna uyar. Spektral çizgiye ait yarı genişlik ifadesi, spektral çizginin frekansı ve sıcaklığın karekökü ile doğru orantılı olup, ölçülen atomun kütesinin karekökü ile ters

orantılıdır. Sıcaklık kontrolü ile Doppler genişlemesi azaltılabilir. ω_0 merkez frekansı olmak üzere Doppler genişlemesine ait şiddet profili aşağıdaki eşitlik ile verilir:

$$I(\omega) = I_0 e^{-\left(\frac{c(\omega - \omega_0)}{\omega_0 v_p}\right)^2} \quad (3.43)$$

Atomik enerji seviyeleri arasındaki fark birbirine yeterince yakın olduğunda, denge durumunda seviyelerin nüfus yoğunlukları birbirine oldukça yaklaşır. Bu durumda atom ya da molekül, I ışık şiddetli bir ışık kaynağına maruz kaldığında seviyeler arasında nüfus dengesi bozulur. I ışık şiddeti daha da arttırılırsa, Beer yasası değişir ve absorpsiyon katsayısı ışık şiddetine bağlı olur ve saturasyon gerçekleşir. İki enerji seviyesi ne kadar birbirine yaklaşırsa, bu olay daha da iyi bir şekilde gerçekleşir [45]. Homojen ve homojen olmayan çizgi genişlemeleri için saturasyon çizgi genişlemesine ait çizgi profili farklılık gösterir. Homojen durum için Lorentz, homojen olmayan durum için ise Gauss profili geçerlidir.



Şekil 3.1: Gauss profili, Lorentz profili ve Voigt profilinin bir grafikte gösterimi [46].

Yıldız atmosferinde spektral çizgiye ait toplam genişlik önemli rol oynar. Tüm genişleme tiplerini kapsayan genişleme “birleşik çizgi genişlemesi” adını alır. Toplam genişlemeyi verdiği için Lorentz ve Gauss profillerinin birleşimi olan Voigt profili ile verilir [46].

Şekil 3.1'deki şiddet dağılımına göre, Lorentz ve Gauss profillerine ait yarı genişlikler aynıdır. Şekilde Lorentz profilinin Gauss profilinden daha az şiddette olmasına ve Lorentz profilinin daha dar bir yapıda görünmesine karşın, kanatlarının Gauss profilinden daha çok genişlediği görülmektedir [47].

3.3.TULYUM ELEMENTİ HAKKINDA

Lantanitler serisinin 13. elementi olan tulyum, sadece bir tane kararlı izotopu olan az sayıdaki elementten biridir. 169 kütle numaralı bu kararlı izotopun çekirdek spini 1/2 dir ve bu nedenle çekirdeğinde yük simetrisine sahip olup elektrik kuadropol momenti bulunmaz, sadece manyetik dipol etkileşimi söz konusudur. Bu durumda her ince yapı seviyesi sadece iki aşırı ince seviyesine yarılır ve her ince yapı geçişi üç veya dört aşırı ince yapı bileşeninden oluşur. Tablo 3.1 de elemente ait fiziksel ve kimyasal özellikler verildi.

Tablo 3.1: Tm elementinin fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Atom Numarası	69
Manyetik dipol momenti	-0.2316 μ_N
Grup/ Periyot	-/6
Blok	f bloğu
Fiziksel hali	Katı
Yoğunluk	9.32 g/cm ³
Erime Noktası	1545 °C
Kaynama Noktası	1950 °C
Atom Ağırlığı	168.93421 g/mol
Elektronegatifliği	1.25
Birinci iyonlaşma enerjisi	597 kJ/ mol
Atom yarıçapı	222 pm
Elektron dizilimi	[Xe] 4f ¹³ 6s ²

3.4. DENEYSEL YÖNTEM – FOURIER TRANSFORM SPEKTROSKOPİSİ

Fourier Transform Spektroskopisi (FTS) geniş kapsamlı olarak fizik, kimya ve astronomi v.b. alanlarda yapılan çalışmalar için kullanılmaktadır. Geleneksel olarak kullanılan kırınım spektroskopisine kıyasla hız konusunda avantajından dolayı giderek yaygınlık kazanmaktadır.

Temel olarak Michelson-interferometre ilkesine dayanır. Buradaki temel prensip dedektöre ulaşan optik sinyal, ışık şiddetinin dalgaboyuna / frekansına bağlı fonksiyonu olarak kaydedilir. Spektrumda sadece belirli bir spektral bölgenin kaydedilmesi istenir ise ışık belirli dalgaboyu ya da frekansa göre filtrelenebilir. Bu amaçla filtre veya monokromatör kullanılır. FT spektrometresinde tek kanaldan sürekli bilgi alınır ve optik sinyalin her bir bileşeninin şiddeti zamanın fonksiyonu olarak kaydedilir. Böylece Fourier transformu yoluyla ışık şiddetinin frekansa bağlı fonksiyonu bulunur. Ayırma gücü yüksek olan bu spektrometreden tüm spektrum kısa bir sürede elde edilir. Az sayıda optik eleman kullanılan bu spektrometrede dispersif elemanların kullanıldığı spektrometrelere oranla daha büyük ışın şiddeti, dolayısıyla daha büyük sinyal gürültü oranı gözlenir [48-50]. Burada bütün spektral elemanlardan gelen gürültünün ortalamaları alınır. Yani sinyallerin hepsi aynı oranda gürültü ile karışır. Gürültü, sinyal kalitesini doğrudan etkileyen bir faktördür. Özellikle zayıf piklerin çoğu zaman gürültüye karışması söz konusudur.

FT spektroskopisindeki avantajların yanı sıra bazı dezavantajlar da bulunmaktadır. Bu dezavantajların bazıları

- Daha yüksek maliyete sahiptir,
- şiddeti nispeten küçük olan spektral çizgilerin ayrıştırılamaması,
- laser spektroskopik yöntemlere kıyasla çözünürlüğünün az olması sayılabilir.

Bu çalışmada ışık kaynağı olarak merkezine tulyum elementi yerleştirilen silindirik-katod-lambasının kullanıldı. Elde edilen emisyon spektrumu Fourier Transform (FT) Spektrometresi ile ölçüldü. Tm elementine ait FT spektrumu Letonya Üniversitesi bünyesinde bulunan Laser Merkezi'ndeki Bruker IFS (125) HR Fourier Transform spektrometresi ile elde edildi.

Tulyum ve sovgaz plazması, atomların emisyon veya absorpsiyon ölçümleri için kullanılan en uygun kaynak olan silindir-katod-lamba içerisinde iki farklı sovgaz (Ar ve Ne) kullanılarak oluşturuldu.

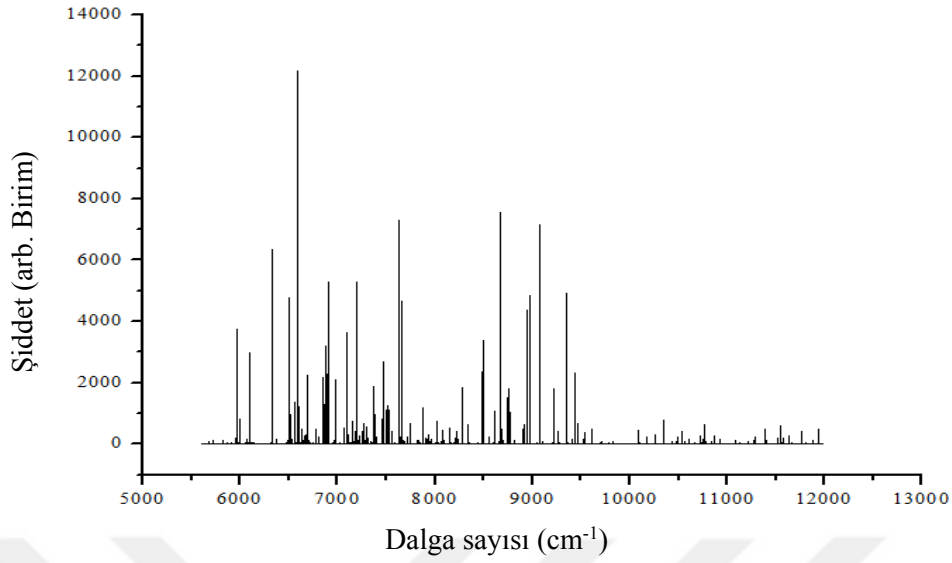
İncelenecek element silindir-katodun merkezine yerleştirildi ve silindir-katod ise bir cam tüp içine konarak tüpün içi 10^{-7} mbar basınçta vakumda tutuldu. Asal gaz basıncı, Ar için 1,75 mbar – 3 mbar ve Ne için ise 3,4 mbar seviyesinde tutuldu. Her iki durum için lamba 50 mA akım ile çalıştırıldı.

Lambadaki basınç nedeni ile sovgaz atomları çarpışarak iyonlaşırlar, lambanın kutuplarına uygulanan potansiyel ile katoda doğru hızlandırılırlar. Kazandıkları kinetik enerji ile içinde Tm levhası bulunan silindir katoda çarparlar yüzeyden Tm atomlarını ve ikincil elektronları koparırlar. Elde edilen ortam sovgaz atomları, metal atomları ve iyonları ile elektronlardan oluşur. Plazma içinde serbest haldeki elemente ait atomlar temel seviyede olabileceği gibi uyarılmış seviyelerde de olabilir. Deneyde kullanılan silindir-katod lambanın en önemli avantajı atomların yüksek enerji seviyelerine uyarılabilmesidir.

Katod lambadan çıkan elemente ait emisyon ışığı, kullanılan optik elemanlar ile spektrometrenin giriş aralığına odaklandı. Deneysel çalışma süresince, merkezine Tm plakası yerleştirilen 15 mm uzunluğundaki bakır silindir katodu içeren lamba, Doppler çizgi genişlemesini azaltmak amacı ile, likit nitrojen ile soğutuldu. Diğer bir Doppler genişleme nedeni ise lambanın çalıştırılma potansiyelidir. Lambanın stabil olarak çalışması çalıştırıldığı potansiyele bağlıdır. Eğer çalıştırma voltajı yüksek ise yüksek akım oluşur ve yayınlanan ışık şiddeti artar ki bu durum Doppler genişlemesinin artmasına neden olur.

Kullanılan spektrometrenin giriş açıklığı 1mm olup, spektral çözünürlüğü 0.025 cm^{-1} dir.

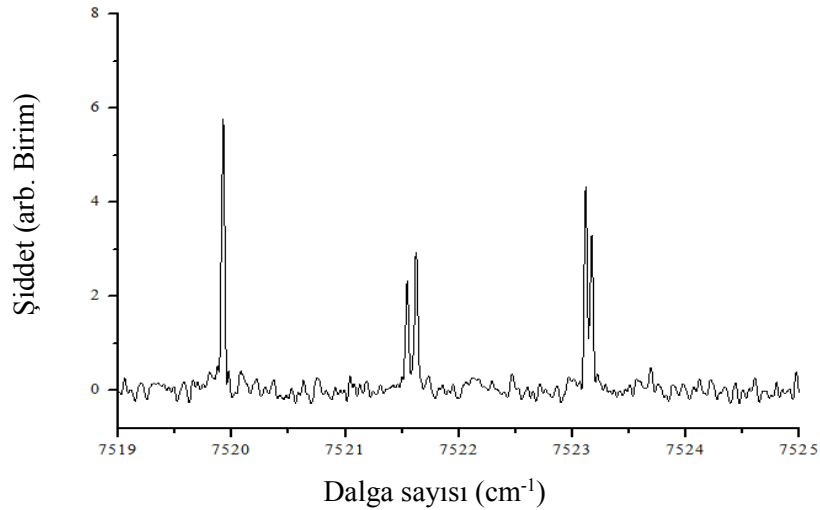
Şekil 3.2’de, Tm elementinin Fourier Transform Spektroskopisi yöntemi ile ölçülen spektrumundan $5500 \text{ cm}^{-1} \rightarrow 12000 \text{ cm}^{-1}$ dalgasayısı aralığında örnek bir kesiti verildi. Bu aralıkta yoğun bir şekilde geçişlerin varlığı görülmektedir. Fit işlemi öncesinde Şekil 3.2’de verilen tüm spektrumdan incelemek istenilen çizgiye ait deney verilerinin kesilme işlemi Origin programı ile gerçekleştirildi.



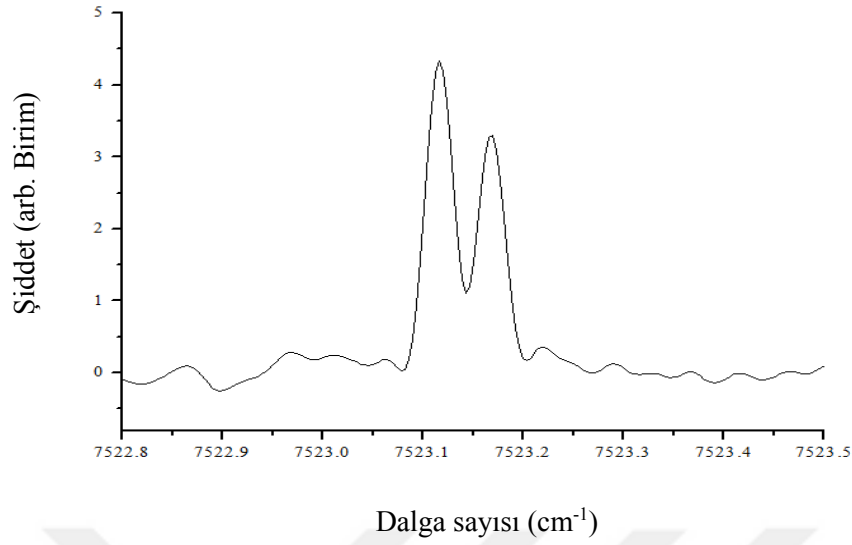
Şekil 3.2: Tm elementine ait spektrumdan $5500 \text{ cm}^{-1} \rightarrow 12000 \text{ cm}^{-1}$ dalgasayısı aralığındaki örnek kesiti.

Şekil 3.3’de daha küçük bir bölgeye örnek verildi ve sadece üç adet geçişin görüldüğü $7519 \text{ cm}^{-1} \rightarrow 7525 \text{ cm}^{-1}$ aralığındaki spektrum görüntülendi.

Şekil 3.4’de ise seçilen bu daha dar bölgede yer alan $\lambda = 13288.689 \text{ Å}$ dalgaboyu ve $7523.139284 \text{ cm}^{-1}$ dalga sayılı Tm çizgisi verildi.



Şekil 3.3: Tm elementine ait spektrumdan $7519 \text{ cm}^{-1} \rightarrow 7525 \text{ cm}^{-1}$ aralığındaki spektruma ait örnek kesit.



Şekil 3.4: $\lambda = 13288.689 \text{ Å}$ dalgaboyu ve $7523.139284 \text{ cm}^{-1}$ dalga sayılı Tm çizgisi.

3.5. DENEY VERİLERİNİN ANALİZİ İÇİN KULLANILAN PROGRAMLAR

Elementlerin enerji seviyeleri arasındaki geçişler sırasında yayınlanan ışınımın parmak izi gibi o elemente özgüdür. Bu geçişler bir çizgi spektrumu verir ve spektrometreler aracılığıyla kaydedilir. FTS yöntemi ile Ar ve Ne soygazları kullanılarak elde edilen tulyum elementinin çizgi spektrumunun analizi için iki ayrı program kullanıldı. Nötral ve bir kez iyonlaşmış tulyumun spektral çizgilerinin tanımlanması Klasifikasyon programı ile [2,3] gerçekleştirildi. Bu program ile yapılan spektrum analizi sonucunda atomik dalgaboyu tablolarında bulunmayan spektral geçişlerin dalgaboyu tanımlanır. Bu spektral geçişlerin gerçekleştiği alt ve üst ince yapı enerji seviyeleri belirlenerek çizgi sınıflandırılması yapılır. Sınıflandırılmış çizgilerin fit edilerek aşırı ince yapı (hfs) sabitlerinin ve çizginin ağırlık merkezinin belirlenmesi ise Fitter programı [5] ile yapıldı. Ayrıca FT spektrumundan incelenecek geçişe ait çizgi spektrumun ölçüm verilerinin kesilmesi ve fit programına hazır hale getirilmesi için Origin programı kullanıldı.

Spektrumların sınıflandırma programında analiz edilebilmesi için öncelikle spektrumların sinyal seviyelerinin normalize edilmesi gerekir ve ardından kullanılan her iki soygaz ile elde edilen spektrumların üst üste getirilmesi işlemi yapılır. İki farklı soygaz ile ölçülmesinin nedeni, incelenen metal çizgilerini ayırt edebilmektir.

Çizgi sınıflandırması programında elementin atom ve iyon durumları için aynı anda çalışılır ve bunlara ait bilgileri içeren üç tane giriş dosyası hazırlanır. Bunlar;

- Hem sınıflandırılmış hem de sınıflandırılmamış tüm bilinen spektral çizgileri içeren dalgaboyu dosyası.
- Bilinen nötral ince yapı enerji seviyelerinin, enerji seviyelerine ait J kuantum sayılarının, paritelerinin ve eğer biliniyorsa manyetik dipol aşırı ince yapı sabitlerinin tümünü içeren veri dosyası. Aynı zamanda listenin sonunda deneyde kullanılan asal gaza ait bilinen iyonik ince yapı enerji seviyeleri, enerji seviyelerine ait J kuantum sayıları ve pariteleri yer alır.
- Bilinen iyonik ince yapı enerji seviyelerinin, enerji seviyelerine ait J kuantum sayılarının, paritelerinin ve eğer biliniyorsa manyetik dipol aşırı ince yapı sabitlerinin tümünü içeren veri dosyası. Bu listenin sonunda ise deneyde kullanılan asal gaza ait bilinen nötral ince yapı enerji seviyeleri, enerji seviyelerine ait J kuantum sayıları, pariteleri bulunur.

Spektral çizginin ağırlık merkezi, sinyal-gürültü (S/N) oranı ve çizginin spektral genişliği MHz ve miliKayser (mK) birimleri cinsinden belirlenir. Spektrumdan çizgilerin genişliği bulunurken;

- $S/N > 3$ ise en şiddetli bileşenin tepe noktasından $1/e^2$ faktör kadar düştüğü yerdeki çizginin sağ ve sol noktaları arasındaki mesafenin dalga sayısı cinsinden değeri alındı.
- $S/N < 3$ oranı 3 ise çizgi profilinin gürültü seviyesinden yükseldiği yerdeki noktaların arasındaki dalga sayısı cinsinden mesafe göz önüne alındı.

Sınıflandırma programı, iki ayrı bölüme ayrılmış bir pencere yapısına sahiptir. Pencerenin bir tarafında, bir spektral çizginin ağırlık merkezinin dalga boyunu, sınıflandırılmışsa dalga sayısını, açısal momentumu, pariteyi, üst ve alt seviyelerin enerjileri ve varsa aşırı ince yapı sabitlerini gösterir. Ağırlık merkezi dalgaboyu, Peck ve Reeder [51] dispersiyon formülü kullanılarak dalga sayısına dönüştürülür. Ayrıca hesaplanan dalga sayısının ve çizginin ağırlık merkezinin dalga sayısının arasındaki fark görüntülenir; bu fark, yapılan sınıflandırmanın ne kadar doğru bilindiğini anlamaya yardımcı olur. Bu pencerede önceki ve sonraki satırların dalga boylarını görüntülenir.

Ana pencerenin diğer tarafında çizginin sınıflandırılması için hem atomik hem de iyonik olası tüm geçişleri önerileri ve grafik ortamda aşırı ince yapı spektrumu görüntülenir.

Programda kullanım kolaylığı sağlayan birçok özellik vardır. Spektrumun herhangi bir bölgesindeki dalgaboyunun ağırlık merkezi bilinen bir çizgiye gitmek mümkündür. Yeni spektral çizgiler dalgaboyu listesine otomatik olarak dahil edilebilir. Spektral çizgiye ait yeni sınıflandırma yapılırken gelen tüm öneriler arasından seçilen bir önerinin tüm bilgilerinin dalga boyu dosyasına otomatik olarak eklenmesi yapılabilir. Seçilmiş bir öneri için çizgiye ilişkin parametreleri düzenleme imkanı vardır.

Simülasyon programı, klasifikasyon programının bir parçası olup, sınıflandırılmış veya sınıflandırılmamış çizginin seçilen geçişinin aşırı ince yapısının gösterimini yapar. Simülasyon programı, klasifikasyon programı [2,3] ile çalıştığından, hem alt hem de üst seviyeye ait açısal momentum ve aşırı ince yapı sabiti bilgilerini otomatik olarak alır. Ancak bu değerlerin değişmesine izin verir. Eğer deneysel olarak kaydedilen aşırı ince yapı spektrumunun aşırı ince yapısı ile teorik yapı eşleşirse sınıflandırma önerisi kabul edilebilir. Aşırı ince yapı sabitleri, eğer gerekirse açısal momentum, çekirdek spini ve Doppler genişliği değiştirilebilir. Simulasyon işleminde otomatik olarak gelen J değerlerinde değişime gidilir ve uygun olmayan bir değer girilirse yani seçim kuralları ihlal edilirse simülasyon programı uyarı verir. Eğer sınıflandırma yapıp simüle edilen geçişin A değerleri hakkında bilgi edinilirse bu değerler daha sonra fit işleminde kullanılan Fitter programında [5] başlangıç değerleri olarak kullanılması açısından önemlidir.

FTS metodunda, Fourier dönüşümü ile spektral geçişlerin şiddet dağılımı dalga sayısının bir fonksiyonu olarak kaydedilir. Bu çalışmada FT spektrumundan incelenmek üzere kesilen bir çizgi en küçük kareler yöntemini kullanarak matematiksel bir fonksiyon ile fit edilip aşırı ince yapı sabitleri ve çizginin ağırlık merkezini Fitter programı [5] kullanılarak belirlendi.

Fit işleminin yapılabilmesi için öncelikle incelenecek çizgiye ait verileri içeren 4 tane giriş dosyasının hazırlanması gerekir.

İlk giriş dosyasında elemente ve ölçüm verilerine ait değişken ve değişken olmayan fiziksel parametreler yer alır. Sabit olan parametreler;

- İzotop sayısı,

- Varsa izotop katkı oranı,
- spektral çizginin alt ve üst enerji seviyelerinin toplam açısal momentum değerleri, J ,
- çekirdek spini, I ,
- spektrumun fit yapılacağı matematiksel fonksiyondur. Bu çalışmada Voigt (Lorentz ve Gauss birlikte) fonksiyonu kullanıldı.

Değişken parametreler ise;

- çizgi yarı genişliği,
- spektral çizginin en şiddetli bileşeninin yeri,
- hfs geçişlerinin herbirinin frekans skalasındaki yerlerinin değiştirilebilmesi için bir parametre,
- manyetik dipol hfs sabiti ve varsa elektrik kuadrapol hfs sabiti B değerleri,

Eğer literatürde bu sabitlerden bilinen var ise fit işlemi boyunca bu değer sabit tutulur ve bilinmeyen sabitin değişmesine izin verilerek bilinmeyen sabitin belirlenmesi sağlanır.

- çizginin başlangıç ve bitiş noktalarındaki gürültünün frekans değerleri,
- Gauss / Voigt oranı

İkinci giriş dosyası spektrumun şiddete bağlı dalgasayılarını içerir. Üçüncü giriş dosyasında spektrumun sadece dalga sayıları verilirken son giriş dosyası ise;

- spektrumun başlangıç dalgaboyu,
- incelenen çizginin spektrumundaki veri sayısı,
- ardarda gelen her iki veri arasındaki farkın frekans cinsinden değeri

bilgileri yer alır.

Fit işlemi yapıldıktan sonra otomatik olarak çıkış dosyası program tarafından oluşturulur. Bu dosyada yer alan bilgiler aşağıda verildi.

- **Herbir hfs bileşeninin frekans olarak yeri;**

$$\nu = \nu_0 + \alpha_u (F_u, J_u, I_u) A_u + \beta_u (F_u, J_u, I_u) B_u - \alpha_a (F_a, J_a, I_a) A_a - \beta_a (F_a, J_a, I_a) B_a \quad (3.44)$$

eşitliği kullanılarak belirlenir. Burada, tüm bileşenler için aynı değere sahip olan v_0 değeri spektral geçişin ağırlık merkezidir. Tm elementi için elektrik kuadrapol aşırı ince yapı katkısı olmadığından eşitlikte yer almaz. $A_{\bar{u}}$ ve A_a sırası ile üst ve alt enerji seviyelerinin manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri, α ve β ise her iki seviye için casimir faktörüdür. $F = I + J$ ve $J=L+S$ olmak üzere;

$$\alpha = (1/2) [F(F+1) - I(I+1) - J(J+1)] \quad (3.45)$$

- **Hfs bileşenlerinin şiddeti belirlenir.** Hfs bileşenlerinin bağıl şiddetleri, aşağıdaki ilişkiyle hesaplanır. Parantez içindeki terim 6-j sembolü olarak adlandırılır.

$$I(F_{\bar{u}} \rightarrow F_a) = \frac{(2F_{\bar{u}}+1)(2F_a+1)}{(2I+1)} \left\{ \begin{matrix} J_{\bar{u}} & F_{\bar{u}} & I \\ F_a & J_a & 1 \end{matrix} \right\}^2 \quad (3.46)$$

$\Delta F = \Delta J$ bileşenleri yani aynı yöne yönelmiş F ve J durumu en güçlü bileşendir. Artan F değeri ile çizgi şiddeti artar. En zayıf hfs bileşenleri $\Delta F \neq \Delta J$ durumuna uyar.

- yarı genişlik, ayrı ayrı Lorentz ve Gauss katkıları,
- hfs sabitlerinin değerleri,
- spektral çizginin ağırlık merkezi,
- fit kalitesini belirleyen parametredir.

Matematiksel bir fonksiyon ile deneysel spektrumun uyumunu sağlamak için fiziksel olarak doğru olmayan değerler ile çok yüksek fit kalitesi elde etmek mümkündür. Bu durumu ortadan kaldırmak için giriş dosyasında verilen parameterlerin doğru olması çok önemlidir. Ayırışmamış spektrumlar ile çalışıldığında bunun önemi daha da artar. Eğer ayırışma tam olarak gözlenememiş ise ayırışmamış bileşenlerin şiddetlerinin kuplaj yapılması gerekir. Kuplaj ifadesi değerleri birbirine göre bağıl olarak değiştirme anlamına gelmektedir. FTS yöntemi ile alınan spektrumlarda, ayırışmamış spektrumlar söz konusu olduğunda fit yapılırken, düşük şiddetli aşırı ince yapı bileşenleri en yüksek şiddete sahip bileşene bağıl olarak değiştirilir.

4. BULGULAR

Tulyum elementinin $3500 \text{ cm}^{-1} - 10000 \text{ cm}^{-1}$ dalga sayısı aralığındaki spektrumu Fourier Transform Spektroskopisi yöntemi ile elde edildi. Bu bölgedeki spektral çizgiler analiz edilerek çizgi sınıflandırılması Klasifikasyon programı [2,3] ile yapıldı. Ayrıca alt enerji seviyesine ait manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri bilinen geçişler kullanılarak üst enerji seviyesi için bilinmeyen manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri belirlendi. Literatürde daha önceden belirlenmiş iki manyetik dipol aşırı ince yapı sabitinin değeri bu çalışmada iyileştirildi.

4.1. TULYUM ELEMENTİNİN SPEKTRAL ÇİZGİ ANALİZİ SONUÇLARI

Nükleer spininin $1/2$ olması nedeni ile çekirdeğinde yük simetrisine sahip olan Tm elementi için aşırı ince yapı yarılmalarına neden olan sadece manyetik dipol etkileşimidir. Bu da ince yapı enerji seviyelerinde iki aşırı ince seviyesine yarılma olarak kendini gösterir. Dolayısıyla ince yapı geçişleri üç ya da dört aşırı ince yapı bileşenine sahiptir. Bu durum aşırı ince yapı çalışmalarının hassasiyetini oldukça etkilemektedir.

Ne ve Ar soygazları kullanılarak iki kez alınan Tm spektrumları sınıflandırma programında üstüste getirildi. Bir çizginin Tm olarak tanımlanabilmesi için öncelikle her iki spektrumda da yaklaşık aynı şiddette gözlenmesi gereklidir. Klasifikasyon programı [2,3] yardımı ile spektral çizgi sınıflandırması yapılırken üç önemli kriter belirlendi.

- Spektrumda seçilen çizginin sınıflandırma programı tarafından önerilen çizgilerden hangisi olduğunu belirlerken öncelikle çizginin ağırlık merkezine bakılarak eleme yapıldı. $\Delta\sigma = \sigma_{\text{vakum}} - |E_{\text{üst}} - E_{\text{alt}}| < 0.1 \text{ cm}^{-1}$ olmasına dikkat edildi.
- Birbirine yakın $\Delta\sigma$ değerine sahip öneri varsa, sınıflandırma programı içindeki simulasyon programı ile literatürden bulunan A değerleri kullanılarak deneysel ve teorik spektrumlar fit edilerek uygun olan öneri seçildi.
- Eğer alt ve üst enerji seviyelerinin her ikisine de ait A değeri bilinmiyor ise sınıflandırma yapılmadı ve çizgi Tm I veya Tm II olarak isimlendirildi.

Diğer bir seçim kriteri ise şiddet – gürültü oranında (S/N) kullanıldı. Ar ve Ne soygazları ile alınan spektrumlarda $S/N > 3$ olan çizgiler dikkate alındı. Çizgi genişlikleri S/N oranlarına göre belirlendi. $S/N > 8$ olan spektral çizgiler için S/N oranının $1/e^2$ değeri hesaplandı ve bu değerle çizginin sol ve sağ kenarı arasındaki dalgasayısı farkı mK cinsinden belirlendi.

Çalışmada toplam 1148 spektral çizgi analiz edildi. Bunlardan 630 tanesi Tm I, 63 tanesi Tm II olarak ilk defa bu çalışmada sınıflandırıldı. 356 yeni spektral çizgi ise Tm I veya Tm II olarak isimlendirildi. Tm I olarak sınıflandırılan çizgiler Tablo 4.1’de verildi. 13 kolondan oluşan bu tablodaki kolonların anlamları:

1. kolon: nm cinsinden havadaki dalgaboyu,
2. kolon: cm^{-1} cinsinden hesaplanan vakumdaki dalgasayısı,
3. kolon: açıklama sütununda kullanılan kısaltmalar:
 - yçs: yeni çizgi ve yeni sınıflandırmayı,
 - ys: yeni sınıflandırmayı,
 - k: karışmış çizgi (birbirine yakın iki çizgiye ait desenlerin çakışması durumu)
 - kAr: Ar soygazı ile karışmış çizgi.
4. kolon: Referanstan alınan çizgi şiddeti,
5. kolon: Ar soygazı ile alınan spektrumun sinyal-gürültü oranı,
6. kolon: Ne soygazı ile alınan spektrumun sinyal-gürültü oranı,
7. kolon: hfs bileşenlerinin çözünürlüğünün bir göstergesi olan spektral çizginin desen mK cinsinden genişliğidir ($1 \text{ mK} = 0.001 \text{ cm}^{-1}$). Burada kullanılan işaretler:
 - - : spektral çizginin simetrik olmayıp şiddetin frekans ile azalan yönde bir dağılıma sahip olduğunu,
 - + : spektral çizginin simetrik olmayıp şiddetin frekans ile artan yönde bir dağılıma sahip olduğunu,
 - ? : spektral çizginin tek pikten oluşan simetrik bir yapıda olduğunu göstermektedir.
8. kolon: mK cinsinden aşırı ince yapı bileşenleri arası genişlik,
9. kolon: NIST veri tabanından alınan cm^{-1} cinsinden üst enerji seviye değeri,
10. kolon: üst seviye için J değeri,
11. kolon: NIST veri tabanından alınan cm^{-1} cinsinden alt enerji seviye değeri,

12. kolon: alt seviye için J değeri,

13. kolon: $\Delta\sigma = \sigma_{\text{vakum}} - |E_{\text{üst}} - E_{\text{alt}}|$

4. kolondaki çizgiye ait şiddet değeri olmayan tüm çizgiler ilk defa bu tez çalışmasında verilen çizgilerdir.

Tablo 4.1: Tm I olarak sınıflandırılan çizgiler.

λ / nm	σ / cm^{-1}	Açıklama	Şiddet [12]	S/N (Ar)	S/N (Ne)	W / mK	$\Delta W / \text{mK}$	$E_{\text{üst}} / \text{cm}^{-1}$	$J_{\text{üst}}$	$E_{\text{alt}} / \text{cm}^{-1}$	J_{alt}	$\Delta\sigma / \text{cm}^{-1}$
1000.0597	9996.6623	yçs		3	3	250	29	33778.36	7/2	23781.698	9/2	0.000
1000.9303	9987.9673	ys	2h	3	5	250		37365.13	13/2	27377.13	13/2	0.033
1003.2330	9965.0422		2h	4	4	+90	50	35682.251	7/2	25717.197	7/2	0.012
1003.5771	9961.6255		10	15	13	275	17	34310.330	9/2	24348.692	9/2	0.013
1004.0368	9957.0645		30	70	70	265	5	31694.749	7/2	21737.685	9/2	0.001
1004.7543	9949.9542		9	7	10	-95		41469.44	13/2	31519.495	11/2	0.009
1004.9945	9947.5761		8	12	14	295	28	34365.624	7/2	24418.018	5/2	0.030
1005.7924	9939.6846	ys	2	4	5	245		32407.78	9/2	22468.046	11/2	0.049
1006.4518	9933.1724		70	53	62	295	31	25520.987	11/2	15587.811	11/2	0.004
1007.6516	9921.3452	yçs		10	4	260	17	42367.610	5/2	32446.26	7/2	0.005
1008.8728	9909.3358		6h	7	8	-115	65	34046.54	15/2	24137.196	13/2	0.008
1012.7320	9871.5746	yçs			3	2130		41391.10	9/2	31519.495	11/2	0.030
1013.3979	9865.0880	ys	2h	5	5	255	15	44323.00	7/2	34457.853	9/2	0.059
1014.9186	9850.3068		2	5	6	250	5	32780.04	3/2	22929.717	5/2	0.016
1017.3065	9827.1854		200	240	339	+140	76	27440.858	9/2	17613.659	9/2	0.014
1017.3963	9826.3180		4	28	30	290	31	30947.175	9/2	21120.836	7/2	0.021
1018.2072	9818.4924		20	8	10	2115	54	35026.22	5/2	25207.732	3/2	0.004
1019.4528	9806.4959		30	17	29	-95	35	42735.208	5/2	32928.76	3/2	0.048
1021.5980	9785.9038	yçs		4	4	255		45149.63	7/2	35363.77	9/2	0.044
1022.0270	9781.7961		100	203	203	275	15	31519.495	11/2	21737.685	9/2	0.014
1022.5147	9777.1306		3h	2	4	260		42705.880	5/2	32928.76	7/2	0.011
1022.9642	9772.8345		20h	10	14	-120		39089.533	11/2	29316.690	9/2	0.009
1026.9631	9734.7800		2	4	3	-105		49796.05	5/2	40061.324	7/2	0.054
1028.8838	9716.6074		80	100	114	265	8	31454.298	9/2	21737.685	9/2	0.006
1030.0048	9706.0324		3	8	8	+145	75	26448.374	5/2	16742.237	7/2	0.105
1031.2742	9694.0853		200	224	294	285	26	27037.468	7/2	17343.374	7/2	0.009
1031.6308	9690.7344		4	3	5	230		40663.129	11/2	30972.46	11/2	0.065
1031.9032	9688.1762		6	2	2	+155	114	32479.326	5/2	22791.176	7/2	0.026
1034.8507	9660.5821		40	106	113	275	19	28514.423	9/2	18853.823	11/2	0.018
1035.9218	9650.5935		4	5	6	-75	38	31388.303	9/2	21737.685	9/2	0.025
1036.3518	9646.5893	yçs		3	3	270	27	35363.77	9/2	25717.197	7/2	0.016
1036.5426	9644.8136		10	40	40	270	11	35389.94	7/2	25745.117	5/2	0.009
1038.1350	9630.0194		10	40	46	265	6	31367.728	7/2	21737.685	9/2	0.024
1040.0403	9612.3778		2000	1318	2342	290	20	33961.044	7/2	24348.692	9/2	0.026
1047.1954	9546.7001		5	10	12	+150	81	35673.62	5/2	26126.907	5/2	0.013
1047.5960	9543.0495		2000	1011	1766	290	24	33961.044	7/2	24418.018	5/2	0.023
1049.6922	9523.9924		7	24	24	+100	40	28514.423	9/2	18990.406	11/2	0.025
1049.9112	9522.0058		200	701	752	265	14	31519.495	11/2	21997.473	11/2	0.016
1052.0248	9502.8754		20	42	42	285	22	28340.29	7/2	18837.385	9/2	0.030
1053.3123	9491.2597		6	15	18	+115	42	26448.274	5/2	16957.006	7/2	0.008
1055.2861	9473.5074	yçs		4	4	255		49796.05	7/2	40322.536	9/2	0.007
1056.9676	9458.4363		2	4	5	250		48547.98	9/2	39089.533	11/2	0.011
1057.8136	9450.8718	yçs		3	4	230		49773.39	9/2	40322.536	9/2	0.018
1059.0445	9439.8873		2000	11570	10496	260		22559.502	11/2	13119.610	9/2	0.005
1060.1907	9429.6817		7	5	7	255	25	33778.36	7/2	24348.692	9/2	0.014

Tablo 4.1 (devam): Tm I olarak sınıflandırılan çizgiler.

λ / nm	σ / cm^{-1}	Açıklama	Şiddet [12]	S/N (Ar)	S/N (Ne)	W / mK	$\Delta W / \text{mK}$	$E_{\text{üst}} / \text{cm}^{-1}$	$J_{\text{üst}}$	$E_{\text{alt}} / \text{cm}^{-1}$	J_{alt}	$\Delta\sigma / \text{cm}^{-1}$
1060.5991	9426.0506		8	5	6	-130	85	32217.195	9/2	22791.176	7/2	0.032
1063.1299	9403.6118	yçs		12	15	265	14	38664.184	7/2	29260.59	7/2	0.018
1066.9823	9369.6596		2	10	11	2105	30	24957.469	11/2	15587.811	11/2	0.002
1067.0732	9368.8615	k	1	7	10	245		38685.555	9/2	29316.690	9/2	0.004
1067.0732	9368.8615	k	1	7	10	245		42179.886	5/2	32811.02	7/2	0.005
1067.2645	9367.1822		6	15	64	2100	40	33240.362	7/2	23873.207	7/2	0.027
1068.0448	9360.3386		40	43	170	275	12	33778.36	7/2	24418.018	5/2	0.003
1068.1987	9358.9901	kAr			7	235		41533.564	5/2	32174.49	5/2	0.084
1069.4048	9348.4348		2000	20685	24576	260		22468.046	11/2	13119.610	9/2	0.001
1069.5148	9347.4733	yçs		21	29	2140	13	38664.184	7/2	29316.690	9/2	0.021
1070.0300	9342.9727		8	18	22	290	19	34999.008	3/2	25656.019	5/2	0.016
1072.7476	9319.3041	yçs		6	6	250	13	34449.774	13/2	25130.453	15/2	0.017
1074.4838	9304.2456	yçs		58	66	265		46238.51	9/2	36934.216	7/2	0.048
1074.5865	9303.3564		4	17	17	290		48547.98	9/2	39244.584	9/2	0.040
1075.7293	9293.4730		2	5	7	255		40208.499	9/2	30915.02	9/2	0.006
1076.7304	9284.8323		80	129	153	290	25	27037.468	7/2	17752.634	5/2	0.002
1077.3259	9279.7001	yçs			10	-70		41687.404	11/2	32407.78	9/2	0.076
1077.4492	9278.6381	yçs		5	5	255		46500.09	7/2	37221.455	7/2	0.003
1078.4644	9269.9038		4	15	15	-110	49	31007.60	11/2	21737.685	9/2	0.011
1080.3323	9253.8762		1	4	4	240	10	34999.008	3/2	25745.117	5/2	0.015
1081.2664	9245.8818		5h	6	11	-115	66	42735.208	5/2	33489.36	3/2	0.034
1083.6990	9225.1275	yçs		5	5	255		49758.97	9/2	40533.825	7/2	0.018
1083.7363	9224.8099	ys	2h	6	9	240	-15	43590.42	7/2	34365.624	7/2	0.014
1084.0632	9222.0282		2h	6	9	245		38482.584	7/2	29260.59	7/2	0.034
1085.1342	9212.9263		40	20	52	2115	25	37768.662	9/2	28555.799	7/2	0.063
1086.2764	9203.2391		4	18	20	290	21	34691.802	11/2	25488.545	11/2	0.018
1090.7027	9165.8906		3	9	12	260		38482.584	7/2	29316.690	9/2	0.003
1094.6872	9132.5281	yçs		3	5	270	32	43590.42	7/2	34457.853	9/2	0.039
1097.0020	9113.2575	yçs		5	8	250	4	24701.058	9/2	15587.811	11/2	0.011
1097.2334	9111.3356		15	30	12	255	11	39413.672	7/2	30302.42	5/2	0.084
1098.0108	9104.8847		100	355	442	270	1	26448.274	5/2	17343.374	7/2	0.015
1098.6107	9099.9130	yçs		3	3	255	27	40693.63	3/2	31593.70	5/2	0.017
1098.6694	9099.4268		10	29	34	280		34587.982	9/2	25488.545	11/2	0.010
1100.6118	9083.3678		2	8	11	-125	84	31080.846	11/2	21997.473	11/2	0.005
1101.1163	9079.2061		2000	34406	34406	270	2	25536.116	15/2	16456.913	17/2	0.003
1101.3740	9077.0817	yçs		5	7	240		40517.661	9/2	31440.54	9/2	0.039
1102.9945	9063.7459		5	22	10	275		43755.64	9/2	34691.802	11/2	0.092
1105.3617	9044.3354		20	98	98	260	5	43354.65	9/2	34310.330	9/2	0.015
1106.9699	9031.1958		2	9	9	285		38347.875	11/2	29316.690	9/2	0.011
1108.1840	9021.3015	yçs		6	6	250		49785.26	9/2	40763.892	7/2	0.067
1109.5599	9010.1147		20	63	63	-95	40	31007.60	11/2	21997.473	11/2	0.012
1112.8632	8983.3702		3h	2	3	265	22	32856.613	5/2	23873.207	7/2	0.036
1113.1082	8981.3929		2	10	10	+105	46	17752.634	5/2	8771.243	5/2	0.002
1113.5368	8977.9360		40	150	176	265	8	33395.984	7/2	24418.018	5/2	0.030
1116.0808	8957.4717		5	30	26	280	22	25699.714	9/2	16742.237	7/2	0.005
1116.4344	8954.6347		20	95	48	265	13	40649.441	7/2	31694.749	7/2	0.057
1116.7457	8952.1385	yçs		5	5	230		49469.73	7/2	40517.661	9/2	0.069
1117.0523	8949.6814	yçs		5	6	245	15	30947.175	9/2	21997.473	11/2	0.021
1120.6947	8920.5939		2	11	14	2110		44182.324	5/2	35261.762	5/2	0.032
1121.0477	8917.7849	yçs		41	46	260		49773.39	9/2	40855.580	9/2	0.025
1121.5752	8913.5907		200	2765	3098	255	6	26368.412	11/2	17454.818	13/2	0.003
1122.8377	8903.5684		10	163	163	270	22	31694.749	7/2	22791.176	7/2	0.005
1122.9190	8902.9238		100	2150	2381	265	3	26357.736	13/2	17454.818	13/2	0.006
1123.4639	8898.6058	yçs		4	4	245		42139.01	9/2	33240.362	7/2	0.042
1123.7579	8896.2777	yçs		26	28	260		49834.98	7/2	40938.61	5/2	0.092
1123.9201	8894.9938	yçs		62	71	265		38211.625	7/2	29316.690	9/2	0.059
1124.3435	8891.6442	yçs		3	4	-150	-59	33240.362	7/2	24348.692	9/2	0.026
1125.6791	8881.0944	yçs		5	5	260		31440.54	9/2	22559.502	11/2	0.056
1126.1364	8877.4880		2	3	4	+80	51	34085.20	5/2	25207.732	3/2	0.020
1126.8217	8872.0890		8	23	28	+115	56	34999.008	3/2	26126.907	5/2	0.012
1126.9879	8870.7806		6	60	68	265	3	34587.982	9/2	25717.197	7/2	0.004
1131.2970	8836.9920	yçs		4	5	264		40347.267	5/2	31510.24	7/2	0.035
1132.6636	8826.3298	yçs		30	30	270		40347.267	5/2	31520.98	3/2	0.043

Tablo 4.1 (devam): Tm I olarak sınıflandırılan çizgiler.

λ / nm	σ / cm^{-1}	Açıklama	Şiddet [12]	S/N (Ar)	S/N (Ne)	W / mK	$\Delta W / mK$	$E_{\text{üst}} / \text{cm}^{-1}$	$J_{\text{üst}}$	$E_{\text{alt}} / \text{cm}^{-1}$	J_{alt}	$\Delta\sigma / \text{cm}^{-1}$
1133.2491	8821.7697		5	75	70	775	15	34310.330	9/2	25488.545	11/2	0.015
1134.4002	8812.8180		30	573	685	750	10	33943.282	13/2	25130.453	15/2	0.011
1135.7275	8802.5187		3	54	58	790	26	31593.70	5/2	22791.176	7/2	0.005
1136.9458	8793.0864	yçs		15	14	+90	47	35682.251	7/2	26889.125	9/2	0.040
1137.1624	8791.4115	yçs		11	12	-100	37	28340.29	7/2	19548.834	5/2	0.044
1139.7768	8771.2460		1	14	11	775		49626.86	7/2	40855.580	9/2	0.034
1140.2086	8767.9243	yçs		12	15	-95		40208.499	9/2	31440.54	9/2	0.035
1140.4776	8765.8562	yçs		17	19	+115	40	28514.423	9/2	19748.543	9/2	0.024
1140.5852	8765.0293		7	512	512	770	3	31694.749	7/2	22929.717	5/2	0.003
1141.1654	8760.5729	yçs		4	4	735	9	49834.98	5/2	41074.399	5/2	0.008
1141.9250	8754.7455		10	269	304	780	26	26368.412	11/2	17613.659	9/2	0.008
1143.3654	8743.7164	yçs		7	8	745	17	35389.94	7/2	26646.214	9/2	0.010
1143.3654	8743.7164	yçs		7	8	745		49868.01	7/2	41124.334	9/2	0.040
1143.4981	8742.7017		200	8190	7475	765	11	25699.714	9/2	16957.006	7/2	0.006
1143.4981	8742.7017		200	8190	7475	765		32174.49	5/2	23431.844	5/2	0.056
1143.7662	8740.6524	yçs		11	12	770	1	34457.853	9/2	25717.197	7/2	0.004
1147.7089	8710.6259	yçs		44	56	795		49834.98	7/2	41124.334	9/2	0.020
1147.8482	8709.5688	yçs		3	3	735	3	34365.624	7/2	25656.019	5/2	0.036
1149.6878	8695.6327		10	400	493	760	0	26448.274	5/2	17752.634	5/2	0.007
1150.6193	8688.5931	yçs		45	46	770	12	35389.94	7/2	26701.325	7/2	0.022
1150.7118	8687.8947	yçs		4	4	745	22	39768.79	9/2	31080.846	11/2	0.049
1151.5357	8681.6787		50	1997	2347	760		33812.149	13/2	25130.453	15/2	0.017
1153.8881	8663.9796		3	301	320	760	7	31593.70	5/2	22929.717	5/2	0.003
1154.0038	8663.1110		5	342	381	780	12	31454.298	9/2	22791.176	7/2	0.011
1154.0939	8662.4346	yçs		8	8	-70	40	35363.77	9/2	26701.325	7/2	0.010
1155.7461	8650.0513	yçs		54	94	-100	25	42735.208	5/2	34085.20	5/2	0.043
1155.9658	8648.4072	yçs		3	3	-65	+33	34365.624	7/2	25717.197	7/2	0.020
1157.2548	8638.7743	yçs		6	7	740	14	41085.039	7/2	32446.26	7/2	0.005
1158.7247	8627.8156	yçs		3	3	740	5	38751.812	5/2	30124.02	7/2	0.024
1159.6784	8620.7203	yçs		15	19	795		42705.880	5/2	34085.20	5/2	0.040
1161.6432	8606.1392	yçs		12	12	+135	86	32479.326	5/2	23873.207	7/2	0.020
1162.0046	8603.4626	yçs		70	98	+110	42	27440.858	9/2	18837.385	9/2	0.010
1162.5821	8599.1889	yçs		77	77	770	14	42325.81	7/2	33726.70	9/2	0.079
1162.8649	8597.0977	yçs		17	20	780	21	31388.303	9/2	22791.176	7/2	0.029
1163.4027	8593.1236	yçs		150	150	760	9	34310.330	9/2	25717.197	7/2	0.009
1164.2295	8587.0210	yçs		4	4	+115	66	27440.858	9/2	18853.823	11/2	0.014
1164.3106	8586.4229	k yçs		32	32	785	23	28340.29	7/2	19753.830	7/2	0.037
1164.3106	8586.4229	k yçs		32	32	785	23	42952.02	7/2	34365.624	7/2	0.027
1164.9111	8581.9967		5h	9	12	770	19	42543.119	7/2	33961.044	7/2	0.078
1165.4597	8577.9570	yçs		14	16	775		35026.22	5/2	26448.274	5/2	0.011
1165.4944	8577.7016	yçs		5	5	765	31	32359.372	7/2	23781.698	9/2	0.028
1165.6546	8576.5228	yçs		35	42	785	23	31367.728	7/2	22791.176	7/2	0.029
1166.2506	8572.1398	yçs		49	54	+110	48	17343.374	7/2	8771.243	5/2	0.009
1166.6364	8569.3051	yçs		16	19	795	20	31499.06	3/2	22929.717	5/2	0.038
1166.8704	8567.5866	k Ar yçs			23	770		40066.70	5/2	31499.06	3/2	0.053
1167.6925	8561.5547	yçs		17	22	770	17	38685.555	9/2	30124.02	7/2	0.020
1169.1299	8551.0286	yçs		12	16	790		40061.324	7/2	31510.24	7/2	0.055
1170.6167	8540.1680	yçs		30	40	765	13	38664.184	7/2	30124.02	7/2	0.004
1170.9086	8538.0390	yçs		7	5	750	21	34194.09	5/2	25656.019	5/2	0.032
1174.7190	8510.3445	yçs		4	7	755		46221.416	11/2	37711.074	9/2	0.002
1176.0388	8500.7938	yçs		11	11	775	8	35389.94	7/2	26889.125	9/2	0.021
1179.6691	8474.6337	yçs		8	9	765	29	35363.77	9/2	26889.125	9/2	0.011
1182.4480	8454.7173	yçs		20	25	-70	-13	33943.282	13/2	25488.545	11/2	0.020
1183.0477	8450.4315	yçs		52	73	+170	87	27440.858	9/2	18990.406	11/2	0.021
1183.1948	8449.3809	yçs		4	7	730	16	38751.812	5/2	30302.42	5/2	0.011
1183.4429	8447.6095	yçs		5	7	+115	69	39362.651	11/2	30915.02	9/2	0.021
1184.7122	8438.5588	yçs		3	3	750	5	32856.613	5/2	24418.018	5/2	0.036
1184.7883	8438.0168	yçs		111	199	-160	-89	42735.208	5/2	34297.17	7/2	0.021
1185.1382	8435.5256	yçs		6	7	-140	111	32217.195	9/2	23781.698	9/2	0.029
1188.9181	8408.7067	yçs		12	18	760		42705.880	5/2	34297.17	7/2	0.003
1188.9558	8408.4401	yçs		3	3	742	5	35054.681	9/2	26646.214	9/2	0.027
1189.5193	8404.4569	yçs		4	3	750		43430.758	5/2	35026.22	5/2	0.081

Tablo 4.1 (devam): Tm I olarak sınıflandırılan çizgiler.

λ / nm	σ / cm^{-1}	Açıklama	Şiddet [12]	S/N (Ar)	S/N (Ne)	W / mK	$\Delta W / mK$	$E_{\text{üst}} / \text{cm}^{-1}$	$J_{\text{üst}}$	$E_{\text{alt}} / \text{cm}^{-1}$	J_{alt}	$\Delta\sigma / \text{cm}^{-1}$
1190.0918	8400.4139	yçs		9	11	250	14	38482.584	7/2	30082.18	5/2	0.010
1195.5591	8361.9988	yçs		43	48	275	13	32780.04	3/2	24418.018	5/2	0.023
1195.5977	8361.7288	yçs		7	12	275	25	38664.184	7/2	30302.42	5/2	0.035
1196.0476	8358.5835	yçs		19	25	260	9	38482.584	7/2	30124.02	7/2	0.020
1196.3705	8356.3276	yçs		253	253	-120	55	25699.714	9/2	17343.374	7/2	0.012
1196.8094	8353.2631	yçs		85	94	-100	36	23941.071	9/2	15587.811	11/2	0.003
1198.1365	8344.0107	yçs		10	10	-160	114	32217.195	9/2	23873.207	7/2	0.023
1198.2950	8342.9071	yçs		10	11	+140		49868.01	5/2	41525.20	7/2	0.097
1201.0779	8323.5766	yçs		87	102	290		33812.149	13/2	25488.545	11/2	0.027
1203.7585	8305.0412	yçs		105	60	255	1	33961.044	7/2	25656.019	5/2	0.016
1208.2728	8274.0123	yçs		4	5	240		41085.039	7/2	32811.02	7/2	0.007
1212.6897	8243.8765	yçs		448	771	2100	28	33961.044	7/2	25717.197	7/2	0.029
1213.5383	8238.1117	yçs		8	8	255		33726.70	9/2	25488.545	11/2	0.043
1214.4928	8231.6372	yçs		12	18	+130	77	39741.913	9/2	31510.24	7/2	0.036
1216.8127	8215.9433	k yçs		1165	2022	275	7	33961.044	7/2	25745.117	5/2	0.016
1216.8127	8215.9433	k yçs		1165	2022	275	17	49862.08	7/2	41646.129	7/2	0.008
1217.7685	8209.4948	yçs		835	835	260		49778.61	9/2	41569.114	11/2	0.001
1219.1664	8200.0818	yçs		37	45	275	22	27037.468	7/2	18837.385	9/2	0.001
1221.2988	8185.7644	yçs		208	208	260	4	16957.006	7/2	8771.243	5/2	0.001
1221.3972	8185.1049	yçs		41	51	-105		39157.57	13/2	30972.46	11/2	0.005
1222.1380	8180.1435	yçs		7	9	255	15	38482.584	7/2	30302.42	5/2	0.020
1222.9822	8174.4969	yçs		5	8	-125		39089.533	11/2	30915.02	9/2	0.016
1224.5079	8164.3118	yçs		6	6	245	22	35673.62	5/2	27509.40	3/2	0.092
1225.5696	8157.2391	yçs		3	3	230	2	40516.66	9/2	32359.372	7/2	0.049
1225.7596	8155.9747	yçs		1135	1203	260	7	30947.175	9/2	22791.176	7/2	0.024
1226.8855	8148.4901	yçs		39	44	+110	47	34587.982	9/2	26439.491	7/2	0.001
1227.4426	8144.7917	yçs		2125	2304	265		31519.495	11/2	23374.681	13/2	0.022
1227.5155	8144.3080	yçs		2035	2313	265		31454.298	9/2	23309.979	11/2	0.011
1230.5056	8124.5176	yçs		26	34	-95		43514.41	7/2	35389.94	7/2	0.048
1235.1984	8093.6507	yçs		19	25	-105		44529.428	7/2	36435.78	7/2	0.003
1235.2980	8092.9982	yçs		3	5	225		32441.714	9/2	24348.692	9/2	0.024
1236.3600	8086.0465	yçs		576	544	285	28	25699.714	9/2	17613.659	9/2	0.008
1237.0382	8081.6134	yçs		39	51	-110		39580.72	5/2	31499.06	3/2	0.047
1237.0861	8081.3005	yçs		2022	2022	265	10	25536.116	15/2	17454.818	13/2	0.002
1237.5465	8078.2940	yçs		183	206	-90		31388.303	9/2	23309.979	11/2	0.030
1239.4076	8066.1636	yçs		118	138	+100	38	25520.987	11/2	17454.818	13/2	0.005
1240.1758	8061.1672	yçs		350	410	260	7	33778.36	7/2	25717.197	7/2	0.004
1242.5814	8045.5611	yçs		5	5	240	6	34691.802	11/2	26646.214	9/2	0.027
1244.4885	8033.2318	yçs		16	18	285	20	33778.36	7/2	25745.117	5/2	0.011
1244.6914	8031.9223	yçs		14	22	290	29	39542.165	7/2	31510.24	7/2	0.003
1246.7961	8018.3637	yçs		18	20	+105	49	34457.853	9/2	26439.491	7/2	0.002
1247.2252	8015.6051	yçs		46	56	260		49758.97	5/2	41743.39	3/2	0.025
1248.1810	8009.4671	yçs		3	3	-90		33726.70	9/2	25717.197	7/2	0.036
1249.5051	8000.9795	yçs		10	5	+125	51	40360.37	7/2	32359.372	7/2	0.019
1251.4170	7988.7557	yçs		9	11	265		35026.22	5/2	27037.468	7/2	0.004
1253.1108	7977.9575	yçs		4	4	-70		49721.34	5/2	41743.39	3/2	0.008
1254.3578	7970.0264	yçs		14	18	-75	13	32107.268	11/2	24137.196	13/2	0.046
1254.3578	7970.0264	yçs		14	18	-75		39480.272	7/2	31510.24	7/2	0.006
1254.3578	7970.0264	yçs		14	18	-75		49811.66	5/2	41841.602	7/2	0.032
1255.0206	7965.8173	yçs		234	288	+140	71	24708.041	7/2	16742.237	7/2	0.013
1255.7935	7960.9146	yçs		4	4	+70		37221.455	9/2	29260.59	7/2	0.050
1256.1227	7958.8282	yçs		643	787	285	24	24701.058	9/2	16742.237	7/2	0.007
1258.8243	7941.7476	yçs		105	124	270	5	34587.982	9/2	26646.214	9/2	0.020
1258.8829	7941.3779	yçs		45	54	275	16	32359.372	7/2	24418.018	5/2	0.024
1260.0513	7934.0141	yçs		3	5	-75		39444.295	9/2	31510.24	7/2	0.041
1261.3060	7926.1217	yçs		4	5	+115	83	34365.624	7/2	26439.491	7/2	0.011
1261.6264	7924.1088	yçs		8	10	255	25	33623.78	7/2	25699.714	9/2	0.043

Tablo 4.1 (devam): Tm I olarak sınıflandırılan çizgiler.

λ / nm	σ / cm^{-1}	Açıklama	Şiddet [12]	S/N (Ar)	S/N (Ne)	W / mK	$\Delta W / mK$	$E_{\text{üst}} / \text{cm}^{-1}$	$J_{\text{üst}}$	$E_{\text{alt}} / \text{cm}^{-1}$	J_{alt}	$\Delta\sigma / \text{cm}^{-1}$
1263.3907	7913.0430	yçs		723	704	260	3	31694.749	7/2	23781.698	9/2	0.008
1264.3054	7907.3180	yçs		794	973	+120	57	25520.987	11/2	17613.659	9/2	0.010
1266.9676	7890.7029	yçs		3	3	+95		46238.51	9/2	38347.875	11/2	0.068
1267.5863	7886.8515	yçs		9	11	240	11	40061.324	7/2	32174.49	5/2	0.018
1267.6180	7886.6543	yçs		15	15	2100	20	34587.982	9/2	26701.325	7/2	0.003
1270.1662	7870.8322	yçs			12	+95	41	34310.330	9/2	26439.491	7/2	0.007
1270.4512	7869.0665	yçs		282	374	+160	98	24611.303	5/2	16742.237	7/2	0.001
1270.5374	7868.5326	yçs		30	32	-170	100	32217.195	9/2	24348.692	9/2	0.030
1271.6230	7861.8152	yçs		9	12	-100		39635.56	3/2	31773.78	5/2	0.035
1274.6212	7843.3224	k Ar yçs			155	260		49629.49	9/2	41786.249	9/2	0.081
1276.1126	7834.1559	yçs		35	64	+144	74	33961.044	7/2	26126.907	5/2	0.019
1278.1729	7821.5280	yçs		614	614	265	6	31694.749	7/2	23873.207	7/2	0.014
1278.4879	7819.6009	yçs		8	8	-85	52	32950.10	13/2	25130.453	15/2	0.046
1279.3881	7814.0989	yçs		7	10	240	17	49460.24	9/2	41646.129	7/2	0.012
1279.7938	7811.6218	yçs		3	3	230	7	34457.853	9/2	26646.214	9/2	0.017
1280.5692	7806.8918	yçs		8	8	240		39580.72	7/2	31773.78	5/2	0.048
1281.2672	7802.6388	yçs		5	7	240	5	34691.802	11/2	26889.125	9/2	0.038
1281.5736	7800.7733	yçs		3	5	270		40208.499	9/2	32407.78	9/2	0.054
1286.5075	7770.8566	yçs		9	11	-150	89	31080.846	11/2	23309.979	11/2	0.010
1286.5628	7770.5225	yçs		48	67	275		38685.555	9/2	30915.02	9/2	0.012
1287.7396	7763.4215	yçs		23	24	295	32	32181.49	3/2	24418.018	5/2	0.051
1289.2077	7754.5808	yçs		3	3	-130	100	34194.09	5/2	26439.491	7/2	0.018
1289.7992	7751.0246	yçs		22	28	2105	24	24708.041	7/2	16957.006	7/2	0.010
1290.1135	7749.1363	yçs		31	42	260	14	38664.184	7/2	30915.02	9/2	0.028
1290.9595	7744.0580	yçs		2176	2637	265	8	24701.058	9/2	16957.006	7/2	0.006
1292.0080	7737.7735	yçs		90	94	280	17	31519.495	11/2	23781.698	9/2	0.023
1294.9023	7720.4785	yçs		320	352	260	2	31593.70	5/2	23873.207	7/2	0.015
1295.0888	7719.3667	yçs		3	3	-98	41	34365.624	7/2	26646.214	9/2	0.043
1295.5331	7716.7194	yçs		15	7	245		44855.240	5/2	37138.57	3/2	0.049
1296.4472	7711.2785	yçs		1114	1216	-55		31593.70	5/2	23882.41	3/2	0.012
1296.8219	7709.0504	yçs		21	12	-100	46	42735.208	5/2	35026.22	5/2	0.062
1297.3083	7706.1600	yçs		3	4	-85	43	31080.846	11/2	23374.681	13/2	0.005
1297.4345	7705.4105	yçs		10	10	2150	29	34194.09	5/2	26488.70	3/2	0.020
1298.5445	7698.8239	yçs		45	51	260	6	34587.982	9/2	26889.125	9/2	0.033
1299.2429	7694.6854	yçs		16	20	2100		49813.72	9/2	42119.080	11/2	0.045
1299.6462	7692.2977	yçs		4	6	+140	87	27440.858	9/2	19748.543	9/2	0.017
1300.5400	7687.0111	yçs		266	355	+105	43	27440.858	9/2	19753.830	7/2	0.017
1301.9367	7678.7646	yçs		74	84	265	3	33395.984	7/2	25717.197	7/2	0.022
1302.9851	7672.5862	yçs		582	643	270	16	31454.298	9/2	23781.698	9/2	0.014
1304.3314	7664.6667	yçs		20890	22938	260	4	26357.736	13/2	18693.074	15/2	0.005
1304.4294	7664.0909	yçs		250	234	265	0	34310.330	9/2	26646.214	9/2	0.025
1306.0984	7654.2973	yçs		211	272	+130	+64	24611.303	5/2	16957.006	7/2	0.000
1306.2221	7653.5725	yçs		80	91	270		40061.324	7/2	32407.78	9/2	0.028
1306.5851	7651.4461	yçs		66	83	+95	38	33778.36	7/2	26126.907	5/2	0.007
1306.6902	7650.8307	yçs		72	81	270	14	33395.984	7/2	25745.117	5/2	0.036
1307.5847	7645.5969	yçs		21	37	2100	27	42735.208	5/2	35089.67	3/2	0.059
1307.9035	7643.7333	yçs		101	104	285	27	34532.898	11/2	26889.125	9/2	0.040
1309.0264	7637.1764	yçs		182	191	285		30947.175	9/2	23309.979	11/2	0.020
1309.1045	7636.7208	yçs		819	1024	+100	43	33292.78	5/2	25656.019	5/2	0.040
1309.7595	7632.9017	yçs		3584	3584	260		31007.60	11/2	23374.681	13/2	0.017
1310.0636	7631.1299	yçs		32768	35635	260	13	22902.127	13/2	15271.002	15/2	0.005
1313.8790	7608.9698	yçs		8	8	250	22	34310.330	9/2	26701.325	7/2	0.035
1314.2932	7606.5718	yçs		75	84	-110	46	31388.303	9/2	23781.698	9/2	0.033
1317.8577	7585.9978	yçs		186	224	265	2	31367.728	7/2	23781.698	9/2	0.032
1318.1521	7584.3036	yçs		73	94	-135	79	33240.362	7/2	25656.019	5/2	0.039
1318.5379	7582.0844	yçs		3	7	256		44238.85	9/2	36656.724	11/2	0.042
1318.7141	7581.0714	yçs		74	82	275	19	31454.298	9/2	23873.207	7/2	0.020
1318.7980	7580.5891	yçs		94	99	2120	29	34069.26	1/2	26488.70	3/2	0.029
1321.0700	7567.5518	yçs		12	15	265	10	38482.584	7/2	30915.02	9/2	0.012
1322.4511	7559.6487	yçs		4	4	245	6	41352.806	11/2	33793.154	11/2	0.003

Tablo 4.1 (devam): Tm I olarak sınıflandırılan çizgiler.

λ / nm	σ / cm^{-1}	Açıklama	Şiddet [12]	S/N (Ar)	S/N (Ne)	W / mK	$\Delta W / \text{mK}$	$E_{\text{üst}} / \text{cm}^{-1}$	$J_{\text{üst}}$	$E_{\text{alt}} / \text{cm}^{-1}$	J_{alt}	$\Delta\sigma / \text{cm}^{-1}$
1324.5577	7547.6257	yçs		7	10	+100	51	33292.78	5/2	25745.117	5/2	0.037
1327.2627	7532.2435	k Ar yçs			118	?65		37657.928	11/2	30125.61	13/2	0.075
1327.3129	7531.9586	k Ar yçs			8	?50		41493.034	5/2	33961.044	7/2	0.031
1327.4779	7531.0224	yçs		4710	5427	?60	9	26368.412	11/2	18837.385	9/2	0.005
1327.6605	7529.9866	yçs		27	11	?85	24	35673.62	5/2	28143.67	3/2	0.037
1328.8689	7523.1393	yçs		14	19	-110	54	33240.362	7/2	25717.197	7/2	0.026
1329.1432	7521.5867	yçs		8	14	+130	78	33961.044	7/2	26439.491	7/2	0.034
1330.3823	7514.5812	yçs		5478	6298	?65	16	26368.412	11/2	18853.823	11/2	0.008
1332.2277	7504.1720	yçs		4257	5222	+155	71	24246.425	7/2	16742.237	7/2	0.016
1332.2734	7503.9146	yçs		426	470	?55	6	26357.736	13/2	18853.823	11/2	0.002
1332.4974	7502.6532	yçs		189	230	?80	23	24957.469	11/2	17454.818	13/2	0.002
1333.8216	7495.2047	yçs		24	31	-130	71	33240.362	7/2	25745.117	5/2	0.040
1333.9503	7494.4815	yçs		159	185	?60	5	31367.728	7/2	23873.207	7/2	0.039
1336.2720	7481.4603	yçs		33	44	+95	36	39698.70	9/2	32217.195	9/2	0.045
1336.2720	7481.4603	yçs		33	44	+95		45058.379	11/2	37576.866	9/2	0.053
1337.1766	7476.3991	yçs		19	19	-110		34365.624	7/2	26889.125	9/2	0.100
1338.0046	7471.7725	yçs		11264	13005	?75	23	22742.777	13/2	15271.002	15/2	0.003
1338.0046	7471.7725	yçs		11264	13005	?75		49842.42	5/2	42370.718	7/2	0.070
1338.3408	7469.8955	yçs		5	6	?40		38384.926	9/2	30915.02	9/2	0.010
1339.8956	7461.2276	yçs		2	4	?35		41085.039	7/2	33623.78	7/2	0.031
1340.9977	7455.0955	yçs		3328	3942	-145	79	25207.732	3/2	17752.634	5/2	0.002
1347.1286	7421.1668	yçs		54	49	?60	10	38502.00	9/2	31080.846	11/2	0.013
1352.1571	7393.5685	yçs		960	1062	?80	23	28514.423	9/2	21120.836	7/2	0.019
1352.1571	7393.5685	yçs		960	1062	?80		42783.46	7/2	35389.94	7/2	0.048
1354.2252	7382.2774	yçs		3684	3942	?65	3	31519.495	11/2	24137.196	13/2	0.022
1355.0122	7377.9898	yçs		4352	4813	+100	37	26368.412	11/2	18990.406	11/2	0.016
1355.0122	7377.9898	yçs		4352	4813	+100		43755.64	9/2	36377.733	9/2	0.083
1356.9737	7367.3249	yçs		608	682	?90	29	26357.736	13/2	18990.406	11/2	0.005
1357.4628	7364.6705	yçs		7578	9267	?60	5	24708.041	7/2	17343.374	7/2	0.003
1358.7519	7357.6833	yçs		195	234	-120	52	24701.058	9/2	17343.374	7/2	0.001
1358.9708	7356.4982	yçs		14	18	?65		47484.84	11/2	40128.384	11/2	0.042
1359.1166	7355.7090	yçs		3	3	?100		42745.68	7/2	35389.94	7/2	0.031
1360.6845	7347.2331	yçs		4	4	+95		45058.379	11/2	37711.074	9/2	0.072
1360.9036	7346.0503	yçs		275	275	?70	8	31694.749	7/2	24348.692	9/2	0.007
1361.3192	7343.8076	yçs		368	435	?70	3	24957.469	11/2	17613.659	9/2	0.002
1362.2338	7338.8770	yçs		333	259	+100	37	33778.36	7/2	26439.491	7/2	0.008
1366.4902	7316.0176	yçs		323	394	-105		26448.274	5/2	19132.245	3/2	0.011
1366.7095	7314.8436	yçs		186	333	+105	37	33961.044	7/2	26646.214	9/2	0.014
1366.8072	7314.3208	yçs		922	973	?80	27	22902.127	13/2	15587.811	11/2	0.005
1367.3886	7311.2108	yçs		23	25	-130	72	29308.69	9/2	21997.473	11/2	0.006
1369.5534	7299.6543	yçs		8	10	?45		47886.05	15/2	40586.40	13/2	0.004
1370.1367	7296.5466	yçs		65	82	?85		38211.625	7/2	30915.02	9/2	0.058
1370.3063	7295.6436	yçs		12	16	+155	86	39741.913	9/2	32446.26	7/2	0.009
1371.4798	7289.4011	yçs		2125	2547	+110	39	24246.425	7/2	16957.006	7/2	0.018
1371.5714	7288.9143	yçs		61	78	+135	67	27037.468	7/2	19748.543	9/2	0.011
1372.5666	7283.6294	yçs		518	646	?85	23	27037.468	7/2	19753.830	7/2	0.009
1373.8695	7276.7220	yçs		9	11	?50	12	31694.749	7/2	24418.018	5/2	0.009
1375.3209	7269.0427	yçs		8	11	+75	42	33395.984	7/2	26126.907	5/2	0.034
1375.5328	7267.9230	yçs		2394	3098	?80	21	24611.303	5/2	17343.374	7/2	0.006
1377.0869	7259.7208	yçs		1178	2048	?70	15	33961.044	7/2	26701.325	7/2	0.002
1378.8808	7250.2761	yçs		22	26	?65		40061.324	7/2	32811.02	7/2	0.028
1379.8918	7244.9640	yçs		22	20	?110	27	38685.555	9/2	31440.54	9/2	0.051
1381.0756	7238.7540	yçs		5	7	?40		49800.21	9/2	42561.536	9/2	0.080
1382.3115	7232.2819	yçs		3	3	?60	31	38664.184	7/2	31431.88	5/2	0.022
1383.9753	7223.5874	yçs		12	15	?80	21	38664.184	7/2	31440.54	9/2	0.057
1384.7746	7219.4179	yçs		1331	1331	?60	5	28340.29	7/2	21120.836	7/2	0.036
1388.4028	7200.5520	yçs		112	110	?95	29	32856.613	5/2	25656.019	5/2	0.042

Tablo 4.1 (devam): Tm I olarak sınıflandırılan çizgiler.

λ / nm	σ / cm^{-1}	Açıklama	Şiddet [12]	S/N (Ar)	S/N (Ne)	W / mK	$\Delta W / \text{mK}$	$E_{\text{üst}} / \text{cm}^{-1}$	$J_{\text{üst}}$	$E_{\text{alt}} / \text{cm}^{-1}$	J_{alt}	$\Delta\sigma / \text{cm}^{-1}$
1388.7343	7198.8332	yçs		21709	24166	265	15	23941.071	9/2	16742.237	7/2	0.001
1392.5977	7178.8619	yçs		2138	2138	250	1	28340.29	7/2	21161.401	5/2	0.027
1393.2168	7175.6719	yçs		70	74	270	15	31593.70	5/2	24418.018	5/2	0.010
1393.2405	7175.5498	yçs		8	9	260		33623.78	7/2	26448.274	5/2	0.044
1393.2928	7175.2805	yçs		4	5	-75		38685.555	9/2	31510.24	7/2	0.035
1394.7200	7167.9381	yçs		21	26	260		40563.90	9/2	33395.984	7/2	0.022
1395.2044	7165.4495	yçs		181	195	290	33	30947.175	9/2	23781.698	9/2	0.028
1396.9941	7156.2698	yçs		9	10	-115	55	39635.56	3/2	32479.326	5/2	0.036
1397.2486	7154.9663	yçs		3072	3584	-90	37	22742.777	13/2	15587.811	11/2	0.000
1401.7217	7132.1338	yçs		176	230	270	9	33778.36	7/2	26646.214	9/2	0.012
1403.3241	7123.9899	yçs		80	92	270	11	32780.04	3/2	25656.019	5/2	0.031
1405.4100	7113.4165	yçs		1075	1421	-60	6	41074.45	9/2	33961.044	7/2	0.011
1405.7982	7111.4522	yçs		22	22	270	12	32856.613	5/2	25745.117	5/2	0.044
1406.1020	7109.9158	yçs		5	5	245	1	42783.46	7/2	35673.62	5/2	0.076
1406.9572	7105.5941	yçs		387	432	260	5	31454.298	9/2	24348.692	9/2	0.012
1407.2907	7103.9102	yçs		3	3	-60	62	41189.162	7/2	34085.20	5/2	0.052
1407.7912	7101.3846	k Ar yçs		4	7	-130	83	39580.72	7/2	32479.326	5/2	0.009
1408.8733	7095.9303	yçs		12	16	+115	39	39542.165	7/2	32446.26	7/2	0.025
1409.1790	7094.3910	yçs		525	634	+145	78	24708.041	7/2	17613.659	9/2	0.009
1410.1304	7089.6045	yçs		3	4	+110	75	49460.24	9/2	42370.718	7/2	0.082
1410.5684	7087.4031	yçs		14541	18225	2105	31	24701.058	9/2	17613.659	9/2	0.004
1411.8444	7080.9976	yçs		32	36	265	14	31499.06	3/2	24418.018	5/2	0.044
1412.6397	7077.0111	yçs		50	61	280	24	33778.36	7/2	26701.325	7/2	0.024
1413.2542	7073.9339	yçs		46	50	-95	38	30947.175	9/2	23873.207	7/2	0.034
1413.6565	7071.9208	yçs		1549	2637	295	26	33961.044	7/2	26889.125	9/2	0.002
1419.6671	7041.9797	yçs		8	9	+90	42	39488.236	9/2	32446.26	7/2	0.004
1420.1510	7039.5802	yçs		5	7	265	35	31388.303	9/2	24348.692	9/2	0.031
1423.0365	7025.3061	yçs		10	13	-115	67	33726.70	9/2	26701.325	7/2	0.069
1423.2537	7024.2339	yçs		4	4	+85	67	39470.489	5/2	32446.26	7/2	0.005
1424.3141	7019.0044	yçs		56	65	260	8	31367.728	7/2	24348.692	9/2	0.032
1424.8313	7016.4566	yçs		13	15	2175	26	39462.782	7/2	32446.26	7/2	0.065
1428.5849	6998.0209	yçs		4	6	-65	40	39444.295	9/2	32446.26	7/2	0.014
1430.2969	6989.6446	yçs		15	21	+160	96	39206.84	9/2	32217.195	9/2	0.000
1430.7408	6987.4760	yçs		8	3	235		42545.150	13/2	35557.70	15/2	0.026
1431.4396	6984.0649	yçs		627	669	-100	48	23941.071	9/2	16957.006	7/2	0.000
1433.9803	6971.6907	yçs		8858	10058	250	0	22559.502	11/2	15587.811	11/2	0.000
1435.4915	6964.3513	yçs		458	458	265	1	40360.37	7/2	33395.984	7/2	0.035
1437.1168	6956.4750	yçs		419	490	+120	47	33395.984	7/2	26439.491	7/2	0.018
1437.3353	6955.4175	yçs		227	266	270	4	24708.041	7/2	17752.634	5/2	0.010
1438.5232	6949.6739	yçs		6	8	230	12	31367.728	7/2	24418.018	5/2	0.036
1439.6601	6944.1857	yçs		9	12	250	18	39161.45	7/2	32217.195	9/2	0.069
1439.7730	6943.6412	yçs		30	34	-130	81	31080.846	11/2	24137.196	13/2	0.009
1440.2367	6941.4056	yçs		92	98	265	7	35389.94	7/2	28448.585	5/2	0.051
1440.5140	6940.0694	yçs		6	8	-85		46262.14	11/2	39322.014	9/2	0.057
1441.5869	6934.9043	yçs		3	4	255		38433.92	5/2	31499.06	3/2	0.044
1442.4240	6930.8797	yçs		8	13	+125	87	39741.913	9/2	32811.02	7/2	0.013
1447.6350	6905.9308	yçs		5	6	+135	89	39123.17	9/2	32217.195	9/2	0.044
1448.2438	6903.0278	k yçs		21709	25805	265	5	24246.425	7/2	17343.374	7/2	0.023
1448.2438	6903.0278	k yçs		21709	25805	265	10	41352.806	11/2	34449.774	13/2	0.004
1448.5132	6901.7439	yçs		8602	9779	264	1	26368.412	11/2	19466.663	13/2	0.005
1449.0007	6899.4219	yçs		1075	1331	270	18	26448.274	5/2	19548.834	5/2	0.018
1450.7553	6891.0775	yçs		10445	9421	270	2	26357.736	13/2	19466.663	13/2	0.005
1451.1485	6889.2103	yçs		8	8	240	12	33778.36	7/2	26889.125	9/2	0.025
1452.6366	6882.1529	yçs		7	7	265		43318.02	5/2	36435.78	7/2	0.087
1453.0408	6880.2385	yçs		13517	15770	255	0	22468.046	11/2	15587.811	11/2	0.004
1456.8341	6862.3238	yçs		7014	6505	255	6	25699.714	9/2	18837.385	9/2	0.005
1457.6103	6858.6695	yçs		4762	6246	285	22	24611.303	5/2	17752.634	5/2	0.000
1458.1021	6856.3562	yçs		4	3	255		34297.17	7/2	27440.858	9/2	0.044
1458.7593	6853.2672	yçs		33	41	+190	122	33292.78	5/2	26439.491	7/2	0.022

Tablo 4.1 (devam): Tm I olarak sınıflandırılan çizgiler.

λ / nm	σ / cm ⁻¹	Açıklama	Şiddet [12]	S/N (Ar)	S/N (Ne)	W / mK	ΔW / mK	$E_{üst}$ / cm ⁻¹	$J_{üst}$	E_{alt} / cm ⁻¹	J_{alt}	$\Delta\sigma$ / cm ⁻¹
1460.3330	6845.8820	yçs		1920	1792	?75	19	25699.714	9/2	18853.823	11/2	0.009
1460.9388	6843.0432	yçs		9574	9728	?70	9	25536.116	15/2	18693.074	15/2	0.001
1462.1220	6837.5056	yçs		37	47	-115	56	33726.70	9/2	26889.125	9/2	0.069
1462.2094	6837.0969	yçs		3	4	?50	16	41836.02	5/2	34999.008	3/2	0.085
1465.1616	6823.3206	yçs		10	8	+130	79	32479.326	5/2	25656.019	5/2	0.014
1466.8499	6815.4672	yçs		21	23	?95		49868.01	9/2	43052.541	7/2	0.002
1469.3015	6804.0953	k Ar yçs			326	+130	51	33292.78	5/2	26488.70	3/2	0.015
1469.7961	6801.8057	yçs		4	4	+160	104	39019.09	9/2	32217.195	9/2	0.089
1470.0028	6800.8492	yçs		820	1075	?50	0	33240.362	7/2	26439.491	7/2	0.022
1470.0028	6800.8492	yçs		820	1075	?50		49834.98	5/2	43034.166	7/2	0.035
1471.6476	6793.2482	yçs		3	5	?45	8	40586.40	13/2	33793.154	11/2	0.002
1475.2365	6776.7219	yçs		2253	2381	?75	17	28514.423	9/2	21737.685	9/2	0.016
1478.4137	6762.1583	k Ar yçs		4	4	+150	108	32479.326	5/2	25717.197	7/2	0.029
1484.5458	6734.2264	yçs		3	3	+140	87	32479.326	5/2	25745.117	5/2	0.017
1485.2205	6731.1672	yçs		11	19	+115	40	39542.165	7/2	32811.02	7/2	0.022
1485.5518	6729.6661	yçs		29	29	+115	46	32856.613	5/2	26126.907	5/2	0.040
1486.0015	6727.6295	yçs		12	15	?60		49469.73	7/2	42742.008	7/2	0.092
1490.0629	6709.2924	yçs		691	637	+100	40	25699.714	9/2	18990.406	11/2	0.016
1490.3446	6708.0242	yçs		5	5	?40	14	32407.78	9/2	25699.714	9/2	0.042
1490.9938	6705.1034	yçs		22	25	-85		43715.572	11/2	37010.534	9/2	0.065
1493.3311	6694.6089	yçs		18	22	?85	20	33395.984	7/2	26701.325	7/2	0.050
1493.3716	6694.4273	yçs		9	12	+165	48	26448.274	5/2	19753.830	7/2	0.017
1494.4498	6689.5975	yçs		9262	11264	+100	46	23431.844	5/2	16742.237	7/2	0.009
1495.7918	6683.5957	yçs		1280	1574	?93	23	25520.987	11/2	18837.385	9/2	0.006
1495.9146	6683.0471	yçs		31	38	?75		49735.52	5/2	43052.541	7/2	0.068
1496.1129	6682.1613	yçs		6	12	-140	96	39161.45	7/2	32479.326	5/2	0.037
1497.0127	6678.1449	yçs		3	5	-60		41124.334	9/2	34446.22	9/2	0.031
1497.2238	6677.2033	yçs		4	5	?55		39488.236	9/2	32811.02	7/2	0.013
1498.9535	6669.4982	yçs		6	9	?40	0	34046.54	15/2	27377.13	13/2	0.088
1499.3310	6667.8190	yçs		3	5	+115	80	34691.802	11/2	28024.01	9/2	0.027
1499.4804	6667.1546	yçs		1114	1357	+115	48	25520.987	11/2	18853.823	11/2	0.009
1501.2108	6659.4696	yçs		3	6	+110		39470.489	5/2	32811.02	7/2	0.001
1501.3416	6658.8894	yçs		111	111	-105	47	31007.60	11/2	24348.692	9/2	0.019
1501.6365	6657.5817	yçs		11	13	?145		49560.1	5/2	42902.504	5/2	0.014
1502.6469	6653.1051	yçs		541	605	+115	64	32780.04	3/2	26126.907	5/2	0.028
1505.1138	6642.2006	yçs		4	4	?60	12	32359.372	7/2	25717.197	7/2	0.026
1506.1464	6637.6468	yçs		5	5	-70		43859.06	5/2	37221.455	7/2	0.042
1507.1422	6633.2611	yçs		5	7	-65		39444.425	9/2	32811.02	7/2	0.144
1507.2587	6632.7484	yçs		1958	2342	+150	78	24246.425	7/2	17613.659	9/2	0.018
1508.6055	6626.8271	yçs		6	8	+140	95	38844.072	11/2	32217.195	9/2	0.050
1510.1942	6619.8558	yçs		240	266	+105	37	26368.412	7/2	19748.543	9/2	0.013
1511.4543	6614.3368	yçs		176	211	+70		32359.372	7/2	25745.117	5/2	0.082
1512.3264	6610.5226	yçs		24	29	?70	12	46238.51	9/2	39627.996	7/2	0.009
1513.7146	6604.4602	yçs		3	3	+90		37519.484	7/2	30915.02	9/2	0.004
1514.1473	6602.5728	yçs		1101	1101	?65	11	28340.29	7/2	21737.685	9/2	0.032
1514.5874	6600.6543	yçs		21	6	?65		49562.54	9/2	42961.884	11/2	0.002
1515.0919	6598.4564	yçs		211	227	?80	22	30947.175	9/2	24348.692	9/2	0.027
1515.2682	6597.6887	yçs		5069	5427	-155	91	23941.071	9/2	17343.374	7/2	0.008
1516.3738	6592.8783	yçs		59802	52429	?60	12	23335.111	7/2	16742.237	7/2	0.004
1517.8759	6586.3539	yçs		36	43	?50		45908.35	7/2	39322.014	9/2	0.018
1528.8724	6538.9813	yçs		44	62	-115	64	33240.362	7/2	26701.325	7/2	0.056
1530.8428	6530.5647	yçs		477	566	+130	69	25520.987	11/2	18990.406	11/2	0.016
1532.0504	6525.4172	yçs		666	686	?65	6	32181.49	3/2	25656.019	5/2	0.054
1534.0450	6516.9327	yçs		4454	4659	?65	8	28514.423	9/2	21997.473	11/2	0.017
1535.9345	6508.9156	yçs		4	5	+80	58	34532.898	11/2	28024.01	9/2	0.028
1536.4314	6506.8105	yçs		7	9	?45	6	33395.984	7/2	26889.125	9/2	0.048
1539.5157	6493.7747	yçs		19661	23757	?70	3	24246.425	7/2	17752.634	5/2	0.016
1544.0205	6474.8286	yçs		221	262	?70	13	23431.844	5/2	16957.006	7/2	0.009
1553.8484	6433.8762	yçs		7	7	+115	81	34457.853	9/2	28024.01	9/2	0.033

Tablo 4.1 (devam): Tm I olarak sınıflandırılan çizgiler.

λ / nm	σ / cm ⁻¹	Açıklama	Şiddet [12]	S/N (Ar)	S/N (Ne)	W / mK	ΔW / mK	$E_{üst}$ / cm ⁻¹	$J_{üst}$	E_{alt} / cm ⁻¹	J_{alt}	$\Delta\sigma$ / cm ⁻¹
1556.8317	6421.5472	yçs		8	9	+80	55	40787.24	5/2	34365.624	7/2	0.069
1557.9107	6417.0997	yçs		102	105	+100	50	32856.613	5/2	26439.491	7/2	0.022
1562.2481	6399.2833	yçs		9	13	240		41425.474	7/2	35026.22	5/2	0.029
1567.4347	6378.1083	yçs		576	688	-100	44	23335.111	7/2	16957.006	7/2	0.003
1568.0498	6375.6064	yçs		3	7	-75	48	41430.237	11/2	35054.681	9/2	0.050
1569.9394	6367.9326	yçs		317	330	290	30	32856.613	5/2	26488.70	3/2	0.020
1570.8088	6364.4081	yçs		17	23	+105		49773.39	9/2	43408.96	11/2	0.022
1571.2148	6362.7636	yçs		6	6	280		32811.02	7/2	26448.274	5/2	0.018
1571.6192	6361.1264	yçs		58	72	260		41751.03	5/2	35389.94	7/2	0.036
1572.8741	6356.0512	yçs		11	12	-85		49469.73	7/2	43113.646	5/2	0.033
1575.7913	6344.2845	yçs		5	5	265	29	28143.67	3/2	21799.38	3/2	0.005
1577.5017	6337.4058	yçs		15	24	+130	64	38696.79	5/2	32359.372	7/2	0.012
1579.9943	6327.4079	yçs		27648	29901	265	9	23941.071	9/2	17613.659	9/2	0.004
1581.8438	6320.0099	yçs		220	307	285	24	27440.858	9/2	21120.836	7/2	0.012
1583.2845	6314.2590	yçs		6	6	+75	39	34365.624	7/2	28051.37	5/2	0.005
1584.3918	6309.8461	yçs		3	4	-75		42745.68	7/2	36435.78	7/2	0.054
1586.7729	6300.3776	yçs		32	35	270		42957.138	11/2	36656.724	11/2	0.036
1588.2465	6294.5320	yçs		11	12	+115	57	26701.325	7/2	20406.84	5/2	0.047
1589.0461	6291.3646	yçs		90	104	270	3	32780.04	3/2	26488.70	3/2	0.025
1590.7093	6284.7866	yçs		25	46	+65	166	38502.00	9/2	32217.195	9/2	0.018
1592.4720	6277.8300	yçs		6	7	250		38685.555	9/2	32407.78	9/2	0.055
1597.0674	6259.7662	yçs		5	6	+105		43481.28	5/2	37221.455	7/2	0.059
1597.9169	6256.4383	yçs		6	8	235	12	38664.184	7/2	32407.78	9/2	0.034
1603.3044	6235.4152	yçs		10	10	-135	63	33726.70	9/2	27491.31	11/2	0.025
1606.2046	6224.1564	yçs		5	5	+90	63	31431.88	5/2	25207.732	3/2	0.008
1607.8202	6217.9021	yçs		7	9	265		49626.86	9/2	43408.96	11/2	0.002
1607.9369	6217.4508	yçs		4	8	-90	56	38696.79	5/2	32479.326	5/2	0.013
1616.2040	6185.6478	yçs		5	9	250	20	41211.943	7/2	35026.22	5/2	0.075
1616.2998	6185.2811	yçs		7	9	245		49773.39	9/2	43588.18	7/2	0.071
1616.9022	6182.9767	yçs		31	35	285		33623.78	7/2	27440.858	9/2	0.055
1624.1920	6155.2259	yçs		3	3	245	14	32856.613	5/2	26701.325	7/2	0.062
1624.8465	6152.7466	yçs		4	5	255		46500.09	7/2	40347.267	5/2	0.076
1627.5269	6142.6135	yçs		134	256	+145	86	38502.00	9/2	32359.372	7/2	0.014
1629.1136	6136.6308	yçs		4	5	250	20	40586.40	13/2	34449.774	13/2	0.005
1629.2037	6136.2915	yçs		8	13	-95		43357.70	9/2	37221.455	7/2	0.046
1630.1123	6132.8712	yçs		13	24	2100		49808.05	9/2	43675.258	9/2	0.079
1630.7384	6130.5166	yçs		8	11	245		43788.44	11/2	37657.928	11/2	0.005
1631.0355	6129.3999	yçs		44	47	260		35389.94	7/2	29260.59	7/2	0.050
1633.5180	6120.0849	yçs		42	49	-85	38	24957.469	11/2	18837.385	9/2	0.001
1634.0486	6118.0976	yçs		11	17	+190	83	39741.913	9/2	33623.78	7/2	0.035
1634.1548	6117.7000	yçs		149	164	-140	81	31773.780	5/2	25656.019	5/2	0.061
1637.9183	6103.6432	yçs		11059	13413	260	13	24957.469	11/2	18853.823	11/2	0.003
1639.8010	6096.6354	yçs		6	7	250		43318.02	5/2	37221.455	7/2	0.070
1642.0046	6088.4536	yçs		218	256	295	30	23431.844	5/2	17343.374	7/2	0.016
1642.3671	6087.1098	yçs		4	7	245	20	37781.90	7/2	31694.749	7/2	0.041
1643.6562	6082.3357	k Ar yçs			10	245		49626.86	7/2	43544.574	9/2	0.050
1644.5815	6078.9136	yçs		3	3	245		37519.484	7/2	31440.54	9/2	0.030
1645.5110	6075.4798	yçs		208	253	-175	123	25207.732	3/2	19132.245	3/2	0.007
1645.6793	6074.8585	yçs		8	11	235		38482.584	7/2	32407.78	9/2	0.054
1645.7685	6074.5292	yçs		60	110	+100	37	38433.92	5/2	32359.372	7/2	0.019
1646.1067	6073.2812	yçs		84	90	-115		35389.94	7/2	29316.69	9/2	0.031
1647.1448	6069.4536	yçs		691	694	265	15	25536.116	15/2	19466.663	13/2	0.001
1647.1448	6069.4536	yçs		691	694	265	10	43715.572	11/2	37646.186	13/1	0.068
1651.2040	6054.5329	yçs		270	270	+140	81	32181.49	3/2	26126.907	5/2	0.050
1651.2629	6054.3169	yçs		208	250	295	33	25520.987	11/2	19466.663	13/2	0.007
1651.9858	6051.6676	k Ar yçs			11	280	11	42429.385	11/2	36377.733	9/2	0.016
1652.1832	6050.9445	yçs		17	34	280		38861.937	5/2	32811.02	7/2	0.028
1653.2359	6047.0916	yçs		148	148	275		35363.77	9/2	29316.69	9/2	0.012
1654.6207	6042.0306	yçs		37	45	255	7	44919.302	9/2	38877.211	11/2	0.060

Tablo 4.1 (devam): Tm I olarak sınıflandırılan çizgiler.

λ / nm	σ / cm^{-1}	Açıklama	Şiddet [12]	S/N (Ar)	S/N (Ne)	W / mK	$\Delta W / \text{mK}$	$E_{\text{üst}} / \text{cm}^{-1}$	$J_{\text{üst}}$	$E_{\text{alt}} / \text{cm}^{-1}$	J_{alt}	$\Delta\sigma / \text{cm}^{-1}$
1655.3619	6039.3253	yçs		4	4	?38	12	32407.78	9/2	26368.412	11/2	0.043
1655.5296	6038.7135	yçs		25	25	?65	13	31694.749	7/2	25656.019	5/2	0.017
1656.1875	6036.3147	yçs		4	5	?50	12	38482.584	7/2	32446.26	7/2	0.009
1656.5183	6035.1093	yçs		18	26	?75	12	39996.221	7/2	33961.044	7/2	0.068
1657.3177	6032.1983	yçs		43	48	+110	57	34587.982	9/2	28555.799	7/2	0.015
1657.6684	6030.9221	yçs		14	15	?75	22	43588.18	7/2	37557.25	7/2	0.008
1658.3067	6028.6007	yçs		27	30	-125	64	31773.780	5/2	25745.117	5/2	0.062
1665.5990	6002.2064	yçs		11	13	+115	59	32441.714	9/2	26439.491	7/2	0.017
1666.5726	5998.7000	yçs		4	4	-100	83	29308.69	9/2	23309.979	11/2	0.011
1668.5103	5991.7335	yçs		1114	1203	-155	88	23335.111	7/2	17343.374	7/2	0.004
1670.9010	5983.1606	yçs		41	63	+125	61	38342.57	7/2	32359.372	7/2	0.037
1675.4114	5967.0533	yçs		5069	5530	?70	8	24957.469	11/2	18990.406	11/2	0.010
1675.5748	5966.4714	yçs		22	28	?90		39206.84	9/2	33240.362	7/2	0.007
1675.7803	5965.7397	yçs		19	21	?85		31454.298	9/2	25488.545	11/2	0.013
1678.9223	5954.5752	yçs		32	51	-135	83	38433.92	5/2	32479.326	5/2	0.019
1679.8867	5951.1568	yçs		29	34	+95	39	25699.714	9/2	19748.543	9/2	0.014
1680.3219	5949.6154	yçs		30	32	?55	5	31694.749	7/2	25745.117	5/2	0.017
1681.0651	5946.9851	yçs		4	5	?40	10	43715.572	11/2	37768.662	9/2	0.075
1681.3800	5945.8713	yçs		458	374	?50	5	25699.714	9/2	19753.830	7/2	0.013
1683.8624	5937.1057	yçs		4	5	+150	110	33961.044	7/2	28024.01	9/2	0.072
1689.1889	5918.3844	yçs		4	6	?70	33	39542.165	7/2	33623.78	7/2	0.001
1689.5673	5917.0589	yçs		3	3	+85	37	34365.624	7/2	28448.585	5/2	0.020
1689.6906	5916.6271	yçs		31	31	?55	6	27037.468	7/2	21120.836	7/2	0.005
1691.6569	5909.7499	yçs		9	13	+85	35	33961.044	7/2	28051.37	5/2	0.076
1692.7657	5905.8789	yçs		14	22	+105	42	38123.02	7/2	32217.195	9/2	0.054
1693.4412	5903.5231	yçs		147	240	?85	24	38120.71	9/2	32217.195	9/2	0.008
1701.2365	5876.4723	yçs		33	48	+95	38	31593.70	5/2	25717.197	7/2	0.031
1704.7295	5864.4314	yçs		4	5	-60		39488.236	9/2	33623.78	7/2	0.025
1704.9480	5863.6799	yçs		187	211	?60	3	24701.058	9/2	18837.385	9/2	0.007
1705.0860	5863.2053	yçs		46	67	-120	56	38342.57	7/2	32479.326	5/2	0.039
1705.3286	5862.3712	yçs		7	12	+115	81	41544.59	5/2	35682.251	7/2	0.032
1707.7466	5854.0707	yçs		86	94	+105	52	39580.72	7/2	33726.70	9/2	0.051
1709.3541	5848.5654	yçs		35	38	?60	1	31593.70	5/2	25745.117	5/2	0.018
1709.7417	5847.2395	yçs		25	28	?65	18	24701.058	9/2	18853.823	11/2	0.005
1712.0726	5839.2788	yçs		45	66	-90	35	38318.62	3/2	32479.326	5/2	0.015
1717.2179	5821.7826	yçs		1139	1280	+100	41	23574.415	3/2	17752.634	5/2	0.002
1721.3732	5807.7292	yçs		7	9	-70	45	39768.79	9/2	33961.044	7/2	0.017
1727.4991	5787.1344	yçs		3	6	+115		45485.87	11/2	39698.70	9/2	0.036
1728.6007	5783.4463	yçs		37	49	+115	49	33292.78	5/2	27509.40	3/2	0.066
1731.5589	5773.5659	yçs		5	4	?40		32811.02	7/2	27037.468	7/2	0.014
1731.9000	5772.4288	yçs		266	266	+120	68	25520.987	11/2	19748.543	9/2	0.015
1734.5212	5763.7055	yçs		87	138	-100	39	38123.02	7/2	32359.372	7/2	0.058
1735.2303	5761.3502	yçs		118	194	-120	54	38120.71	9/2	32359.372	7/2	0.012
1736.0741	5758.5500	yçs		57	87	?100	27	38237.89	3/2	32479.326	5/2	0.014
1736.6868	5756.5184	yçs		106	158	-145		49731.20	9/2	43974.645	11/2	0.037
1737.4798	5753.8910	yçs		7	8	?40	20	31499.06	3/2	25745.117	5/2	0.052
1740.3462	5744.4142	yçs		10	12	?70		46262.14	11/2	40517.661	9/2	0.065
1742.2979	5737.9794	yçs		7	7	+85		35054.68	9/2	29316.69	9/2	0.012
1744.9693	5729.1951	yçs		522	810	?70	14	37946.39	9/2	32217.195	9/2	0.000
1745.6320	5727.0201	yçs		59	74	?60	6	33778.36	7/2	28051.37	5/2	0.030
1747.3305	5721.4531	yçs		3686	3942	?55	5	23335.111	7/2	17613.659	9/2	0.001
1747.7434	5720.1014	yçs		4	3	?35		49721.34	9/2	44001.272	9/2	0.033
1750.6362	5710.6494	yçs		9	10	+65	42	24701.058	9/2	18990.406	11/2	0.003
1751.6257	5707.4234	yçs		4	4	+95		44206.39	7/2	38499.016	9/2	0.049
1752.9348	5703.1611	yçs		9	10	?100	30	27440.858	9/2	21737.685	9/2	0.012
1753.0809	5702.6858	yçs		166	221	?95	31	33726.70	9/2	28024.01	9/2	0.004
1754.9959	5696.4632	yçs		4	7	-55	42	37064.18	5/2	31367.728	7/2	0.011
1756.1284	5692.7896	yçs		81	82	?85	14	32181.49	3/2	26488.70	3/2	0.000
1760.3308	5679.1994	yçs		4813	5222	?85	29	23431.844	5/2	17752.634	5/2	0.011
1760.8532	5677.5145	yçs		3072	3482	+190	104	22419.764	9/2	16742.237	7/2	0.012

Tablo 4.1 (devam): Tm I olarak sınıflandırılan çizgiler.

λ / nm	σ / cm ⁻¹	Açıklama	Şiddet [12]	S/N (Ar)	S/N (Ne)	W / mK	ΔW / mK	$E_{\text{üst}}$ / cm ⁻¹	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} / cm ⁻¹	J_{alt}	$\Delta\sigma$ / cm ⁻¹
1766.6468	5658.8955	yçs		154	154	-145	96	25207.732	3/2	19548.834	7/2	0.003
1767.8815	5654.9433	yçs		5	7	740		42876.38	5/2	37221.455	7/2	0.018
1769.7261	5649.0491	yçs		20	29	-125	63	38128.37	5/2	32479.326	5/2	0.005
1770.4270	5646.8127	yçs		333	378	755	4	31773.780	5/2	26126.907	5/2	0.060
1771.3876	5643.7505	yçs		26	40	-215	159	38123.02	7/2	32479.326	5/2	0.056
1778.0615	5622.5669	yçs		8	10	735	4	31367.728	7/2	25745.117	5/2	0.044
1782.4015	5608.8764	k Ar yçs			4	-90		42543.119	7/2	36934.216	7/2	0.027
1785.4468	5599.3098	yçs		10	15	775	32	39560.41	7/2	33961.044	7/2	0.056
1789.6372	5586.1991	yçs		8	12	770	25	39547.31	5/2	33961.044	7/2	0.067
1794.6850	5570.4872	yçs		21	26	+110		49751.42	9/2	44180.935	11/2	0.002
1800.2548	5553.2527	yçs		9	13	755		44238.85	9/2	38685.555	9/2	0.042
1801.1013	5550.6427	yçs		32	53	-115		43196.848	11/2	37646.186	13/2	0.019
1801.6099	5549.0758	yçs		7	7	760	28	28340.29	7/2	22791.176	7/2	0.038
1802.9911	5544.8248	yçs		4	6	735	20	37138.57	3/2	31593.70	5/2	0.045
1811.4170	5519.0328	yçs		256	256	765		31007.60	11/2	25488.545	11/2	0.022
1815.9144	5505.3641	yçs		4	4	-135		49687.61	5/2	44182.324	5/2	0.078
1816.1238	5504.7293	yçs		5	7	-120	83	37946.39	9/2	32441.714	9/2	0.053
1818.1763	5498.5151	yçs		4	5	730		43981.104	7/2	38482.584	7/2	0.005
1819.7103	5493.8799	yçs		53	78	+145	91	37711.074	9/2	32217.195	9/2	0.001
1823.5019	5482.4565	yçs		32	30	-190		43428.78	7/2	37946.39	9/2	0.067
1823.5402	5482.3414	yçs		8	8			42139.01	9/2	36656.724	11/2	0.055
1824.6344	5479.0537	yçs		2125	2419	770		24611.303	5/2	19132.245	3/2	0.004
1829.2417	5465.2537	yçs		253	355	745		43588.18	7/2	38123.02	7/2	0.094
1830.0817	5462.7452	yçs		794	909	+130	73	22419.764	9/2	16957.006	7/2	0.013
1831.4710	5458.6013	yçs		96	101	760		30947.175	9/2	25488.545	11/2	0.029
1835.2665	5447.3124	yçs		2086	2086	770	20	22902.127	13/2	17454.818	13/2	0.003
1836.5942	5443.3745	yçs		4	4	+60	40	27440.858	9/2	21997.473	11/2	0.011
1843.6247	5422.6167	yçs		65	101	+155	96	37781.90	7/2	32359.372	7/2	0.089
1847.7404	5410.5382	yçs		33	31	765	9	28340.29	7/2	22929.717	5/2	0.035
1848.2590	5409.0201	yçs		4	4	-95	44	24246.425	7/2	18837.385	9/2	0.020
1848.3331	5408.8032	yçs		4	4	730	14	32446.26	7/2	27037.468	7/2	0.011
1849.3310	5405.8846	yçs		3	4	-105		49862.08	7/2	44456.23	7/2	0.035
1860.9600	5372.1037	yçs		18	23	+90	37	31499.06	3/2	26126.907	5/2	0.049
1861.6245	5370.1862	yçs		5	5	750		32811.02	7/2	27440.858	9/2	0.024
1863.2634	5365.4626	yçs		127	193	+145	79	37724.84	5/2	32359.372	7/2	0.005
1865.2639	5359.7082	yçs		110	162	+120	51	37576.866	9/2	32217.195	9/2	0.037
1868.0521	5351.7084	yçs		31	47	765	13	37711.074	9/2	32359.372	7/2	0.006
1869.5999	5347.2779	yçs		19	19	770	17	32856.613	5/2	27509.4	3/2	0.065
1870.5296	5344.6201	yçs		7	9	740	3	33395.984	7/2	28051.37	5/2	0.006
1872.1245	5340.0669	yçs		141	221	+105	48	37557.25	7/2	32217.195	9/2	0.012
1874.1684	5334.2433	yçs		53	68	760	8	31773.780	5/2	26439.491	7/2	0.046
1875.7229	5329.8225	yçs		94	121	755	3	33778.36	7/2	28448.585	5/2	0.048
1883.5124	5307.7804	yçs		7	7	744	4	35389.94	7/2	30082.18	5/2	0.020
1884.2390	5305.7336	yçs		27	33	+110	49	40360.37	7/2	35054.681	9/2	0.045
1885.3313	5302.6597	yçs		173	272	785	20	37781.90	7/2	32479.326	5/2	0.086
1890.5736	5287.9561	yçs		720	746	785	29	22742.777	13/2	17454.818	13/2	0.003
1891.6056	5285.0712	yçs		4	4	-105	77	31773.780	5/2	26488.70	3/2	0.009
1896.7581	5270.7144	yçs		15	18	-50	1	32780.04	3/2	27509.4	3/2	0.074
1898.6256	5265.5301	yçs		477	589	-85	29	30921.58	7/2	25656.019	5/2	0.031
1905.7664	5245.8005	yçs		6	8	740	19	39206.84	9/2	33961.044	7/2	0.004
1905.8765	5245.4974	yç		9	16	-95		37724.84	5/2	32479.326	5/2	0.017
1915.8922	5218.0756	yçs		17	20	-125	70	32107.268	11/2	26889.125	9/2	0.067
1916.0916	5217.5326	yçs		106	160	785	29	37576.866	9/2	32359.372	7/2	0.039
1916.5205	5216.3649	yçs		29	38	785	30	33240.362	7/2	28024.01	9/2	0.013
1919.2604	5208.9182	yçs		5530	6042	-55	8	24957.469	11/2	19748.543	9/2	0.008
1920.9188	5204.4211	yçs		33	33	770	14	28514.423	9/2	23309.979	11/2	0.023
1922.3888	5200.4414	yçs		82	137	770	15	39161.45	7/2	33961.044	7/2	0.035
1923.3302	5197.8960	yçs		5	7	-55	32	37557.25	7/2	32359.372	7/2	0.018
1930.9176	5177.4713	yçs		5	5	735	13	44919.302	9/2	39741.913	9/2	0.082
1933.3791	5170.8795	yçs		464	614	760	7	33726.70	9/2	28555.799	7/2	0.021
1937.7528	5159.2084	yçs		5427	6042	775	21	24708.041	7/2	19548.834	5/2	0.001
1941.5548	5149.1055	yçs		98	128	785	33	33292.78	5/2	28143.67	3/2	0.005

Tablo 4.1 (devam): Tm I olarak sınıflandırılan çizgiler.

λ / nm	σ / cm ⁻¹	Açıklama	Şiddet [12]	S/N (Ar)	S/N (Ne)	W / mK	ΔW / mK	$E_{üst}$ / cm ⁻¹	$J_{üst}$	E_{alt} / cm ⁻¹	J_{alt}	$\Delta\sigma$ / cm ⁻¹
1952.3357	5120.6719	yçs		6	9	?35		42902.504	5/2	37781.9	7/2	0.068
1958.4512	5104.6820	yçs		622	624	?55	7	22559.502	11/2	17454.818	13/2	0.002
1965.1643	5087.2441	yçs		595	595	?70	18	23941.071	9/2	18853.823	11/2	0.004
1969.3735	5076.3710	yçs		9830	11315	?85	28	22419.764	9/2	17343.374	7/2	0.019
1970.1799	5074.2933	yçs		6	8	?45		45660.65	13/2	40586.40	13/2	0.043
1974.7849	5062.4605	yçs		3635	4147	?60	4	24611.303	5/2	19548.834	5/2	0.008
1988.1653	5028.3901	yçs		2509	2995	?60	10	47484.84	11/2	42456.47	13/2	0.020
1993.5529	5014.8008	yçs		64	70	+105	53	31454.298	9/2	26439.491	7/2	0.006
1994.1778	5013.2294	yçs		998	1101	?65	9	22468.046	11/2	17454.818	13/2	0.001
1995.3210	5010.3571	yçs		98	114	?85	23	31499.06	3/2	26488.70	3/2	0.003
2002.1004	4993.3913	yçs		16	16	?60	2	31694.749	7/2	26701.325	7/2	0.033
2015.7814	4959.5014	yçs		59	67	+140	87	24708.041	7/2	19748.543	9/2	0.003
2017.9318	4954.2164	yçs		2496	2803	+100	42	24708.041	7/2	19753.830	7/2	0.005
2018.6257	4952.5134	yçs		1254	1395	+95	40	24701.058	9/2	19748.543	9/2	0.002
2019.3837	4950.6544	yçs		1216	1216	?55	3	23941.071	9/2	18990.406	11/2	0.011
2020.1453	4948.7880	yçs		461	531	?89	23	31388.303	9/2	26439.491	7/2	0.024
2020.7045	4947.4185	yçs		256	307	?65	1	33395.984	7/2	28448.585	5/2	0.019
2020.7817	4947.2295	yçs		8192	9216	?55	6	24701.058	9/2	19753.830	7/2	0.001
2021.3506	4945.8371	yçs		9626	10035	?80	24	22559.502	11/2	17613.659	9/2	0.006
2043.4512	4892.3463	yçs		9	11	?60	6	31593.70	5/2	26701.325	7/2	0.029
2054.0906	4867.0058	yçs		24	25	?85		32181.49	3/2	27314.56	1/2	0.076
2058.1232	4857.4696	yçs		5	5	+105	70	24611.303	5/2	19753.830	7/2	0.003
2059.4312	4854.3845	yçs		4506	4762	+85	30	22468.046	11/2	17613.659	9/2	0.002
2065.4733	4840.1841	yçs		20	23	+110	57	33395.984	7/2	28555.799	7/2	0.001
2080.1260	4806.0891	yçs		723	822	+165	109	22419.764	9/2	17613.659	9/2	0.016
2080.4937	4805.2397	yçs		18	18	?60	8	32856.613	5/2	28051.37	5/2	0.003
2085.0907	4794.6456	yçs		95	110	+160	106	30921.58	7/2	26126.907	5/2	0.027
2111.0278	4735.7364	yçs		17	27	?75	24	38696.79	5/2	33961.044	7/2	0.010
2121.2429	4712.9309	yçs		27	30	-95	40	32856.613	5/2	28143.67	3/2	0.012
2126.0458	4702.2840	yçs		7	6	?35		45557.72	15/2	40855.53	13/2	0.094
2126.8422	4700.5232	yçs		5	7	-45	18	43544.574	9/2	38844.072	11/2	0.021
2128.1780	4697.5728	yç		483	531	?55		24246.425	7/2	19548.834	5/2	0.018
2133.0151	4686.9200	yçs		7	9	-70	40	31388.303	9/2	26701.325	7/2	0.058
2134.0906	4684.5580	yçs		163	221	?60	12	33240.362	7/2	28555.799	7/2	0.005
2150.1055	4649.6654	yçs		21	24	+105	48	27440.858	9/2	22791.176	7/2	0.017
2152.5528	4644.3791	yçs		9	13	+90	38	33961.044	7/2	29316.69	9/2	0.025
2154.0346	4641.1841	yçs		4	4	?60	28	28514.423	9/2	23873.207	7/2	0.032
2156.2696	4636.3735	yçs		29	33	?90	21	32780.04	3/2	28143.67	3/2	0.004
2158.9004	4630.7237	yçs		7	8	?50	20	26368.412	11/2	21737.685	9/2	0.003
2170.2675	4606.4696	yçs		6	8	+80		44265.285	7/2	39658.852	5/2	0.037
2181.6325	4582.4727	yçs		54	70	?65	13	45908.35	5/2	41325.87	5/2	0.007
2183.3498	4578.8684	yçs		58	74	?70	24	25699.714	9/2	21120.836	7/2	0.010
2201.5853	4540.9421	yçs		90	145	+105	48	38502.00	9/2	33961.044	7/2	0.014
2217.8385	4507.6643	yçs		12	13	+85	38	30947.175	9/2	26439.491	7/2	0.020
2222.6743	4497.8571	yçs		79	85	+165	103	24246.425	7/2	19748.543	9/2	0.025
2225.2887	4492.5728	yç		627	730	+115	59	24246.425	7/2	19753.830	7/2	0.022
2230.5007	4482.0750	yçs		17	23	+160	108	30921.58	7/2	26439.491	7/2	0.014
2235.0973	4472.8574	yçs		58	99	?55	3	38433.92	5/2	33961.044	7/2	0.019
2250.5384	4442.1688	yçs		2330	2624	?60		23574.415	3/2	19132.245	3/2	0.001
2267.9619	4408.0421	yçs		74	79	?55	4	32856.613	5/2	28448.585	9/2	0.014
2267.9619	4408.0421	yçs		74	79	?55	4	42119.080	11/2	37711.074	9/2	0.036
2281.7062	4381.4894	yçs		19	29	?80	21	38342.57	7/2	33961.044	7/2	0.037
2287.2181	4370.9306	yçs		74	74	?60	11	26368.412	11/2	21997.473	11/2	0.008
2292.2431	4361.3488	yçs		7	8	?55	25	31007.60	11/2	26646.214	9/2	0.037
2297.5144	4351.3423	yçs		3	3	?45	29	42133.263	7/2	37781.9	7/2	0.021
2322.3081	4304.8860	yçs		31	42	?55		41881.739	9/2	37576.866	9/2	0.013
2324.4486	4300.9218	yçs		19	21	?55	5	30947.175	9/2	26646.214	9/2	0.039
2325.1699	4299.5876	yçs		27	29	-125	73	23431.844	5/2	19132.245	3/2	0.011
2331.7673	4287.4226	yçs		6	8	?40		49773.39	9/2	45485.87	11/2	0.097

Tablo 4.1 (devam): Tm I olarak sınıflandırılan çizgiler.

λ / nm	σ / cm^{-1}	Açıklama	Şiddet [12]	S/N (Ar)	S/N (Ne)	W / mK	$\Delta W / \text{mK}$	$E_{\text{üst}} / \text{cm}^{-1}$	$J_{\text{üst}}$	$E_{\text{alt}} / \text{cm}^{-1}$	J_{alt}	$\Delta\sigma / \text{cm}^{-1}$
2354.3564	4246.2865	yçs		9	9	?75	24	27037.468	7/2	22791.176	7/2	0.006
2354.6262	4245.7999	yçs		7	7	?60	27	30947.175	9/2	26701.325	7/2	0.050
2384.5504	4192.5186	yçs		3034	3034	?55	2	23941.071	9/2	19748.543	9/2	0.009
2387.5618	4187.2306	yçs		3	3	-80	42	23941.071	9/2	19753.830	7/2	0.010
2389.0617	4184.6018	yçs		6	7	-115		43571.61	5/2	39386.959	5/2	0.049
2402.0164	4162.0331	yçs		9	14	-135	77	38123.02	7/2	33961.044	7/2	0.057
2433.7617	4107.7448	yçs		13	15	?55	9	27037.468	7/2	22929.717	5/2	0.006
2448.3570	4083.2575	yçs		234	269	?70	12	32107.268	11/2	28024.01	9/2	0.001
2463.5965	4057.9990	yçs		12	14	?70	16	30947.175	9/2	26889.125	9/2	0.051
2463.5965	4057.9990	yçs		12	14	?70	14	44418.396	7/2	40360.37	7/2	0.027
2468.6450	4049.7001	yçs		4	4	?60	28	22742.777	13/2	18693.074	15/2	0.003
2469.4970	4048.3030	yçs		1306	1306	?65	15	22902.127	13/2	18853.823	11/2	0.001
2470.4513	4046.7392	yçs		1434	1434	?70	18	21799.38	3/2	17752.634	5/2	0.007
2475.9221	4037.7975	yçs		6	6	?30	3	32181.49	3/2	28143.67	3/2	0.023
2476.0784	4037.5426	yçs		45	58	?60	3	45467.723	9/2	41430.237	11/2	0.057
2483.4402	4025.5739	yçs		198	224	?75	21	23574.415	3/2	19548.834	5/2	0.007
2493.4783	4009.3680	yçs		5	5	?40		42694.95	7/2	38685.555	9/2	0.027
2504.8725	3991.1301	yçs		9	16	?55		49626.86	9/2	45635.737	11/2	0.007
2555.7282	3911.7118	yçs		129	129	?65	6	22902.127	13/2	18990.406	11/2	0.009
2570.6896	3888.9457	yçs		69	71	?70	20	22742.777	13/2	18853.823	11/2	0.008
2574.6324	3882.9901	yçs		8	7	-75	47	23431.844	5/2	19548.834	5/2	0.020

yçs: yeni çizgi ve yeni sınıflandırmayı, ys: yeni sınıflandırmayı, k: karışmış çizgi (birbirine yakın iki çizgiye ait desenlerin çakışması durumu), kAr: Ar soygazı ile karışmış çizgi. - : spektral çizginin simetrik olmayıp şiddetin frekans ile azalan yönde bir dağılıma sahip olduğunu, + : spektral çizginin simetrik olmayıp şiddetin frekans ile artan yönde bir dağılıma sahip olduğunu, ? : spektral çizginin tek pikten oluşan simetrik bir yapıda olduğunu göstermektedir.

Benzer şekilde Tm II olarak sınıflandırılan spektral çizgiler Tablo 4.2’de verildi. Tablo 4.2’nin 3. kolonda * işareti ile gösterilen dokuz tane geçiş için referans [12]’de Tm I geçişi olduğu belirtilmiş olup sınıflandırması yapılmamıştır. Bu çalışmada FT spektroskopisi ile elde edilen deneysel spektrumda bu geçişler için Tm II önerisinin daha uygun olduğu belirlendi.

Tablo 4.2: Tm II olarak sınıflandırılan çizgiler.

λ / nm	σ / cm^{-1}	Açıklama	Şiddet [12]	S/N (Ar)	S/N (Ne)	W / mK	$E_{\text{üst}} / \text{cm}^{-1}$	$J_{\text{üst}}$	$E_{\text{alt}} / \text{cm}^{-1}$	J_{alt}	$\Delta\sigma / \text{cm}^{-1}$
1013.1523	9867.4794	yçs		15	5	?80	33391.55	4	23524.09	4	0.019
1023.6023	9766.7422	yçs		13	6	?90	31745.49	3	21978.77	2	0.022
1053.0209	9493.8862	*	3	13	4	?95	30627.58	5	21133.68	6	0.014
1055.7539	9469.3097	yçs		9	4	-135	31926.82	5	22457.51	4	0.000
1056.3474	9463.9895	yçs		7	3	-105	33398.70	3	23934.73	3	0.020
1058.7527	9442.4890	yçs		8	20	-130	31900.00	4	22457.51	4	0.001
1064.3565	9392.7748	yçs		10	5	?50	33665.99	4	24273.2	5	0.015
1076.3652	9287.9826	*	3	3	3	+75	31745.49	3	22457.51	4	0.003
1078.5823	9268.8905	*	1	3	2	-90	31726.40	5	22457.51	4	0.001
1095.3481	9127.0179	*	10	19	8	?50	30840.77	4	21713.74	3	0.012
1096.3916	9118.3312	*	3	17	6	?55	33391.55	4	24273.2	5	0.019
1114.4359	8970.6928	*	2	7	6	-90	30684.43	3	21713.74	3	0.003
1116.4344	8954.6347	*	95	48	20	?65	29183.39	4	20228.75	5	0.005
1116.4989	8954.1173	*	70	169	79	?45	26578.77	3	17624.65	2	0.003
1117.2499	8948.0985	*	2	19	10	?75	31090.09	2	22141.96	1	0.031
1153.9620	8663.4248	yçs		22	8	-130	30377.16	4	21713.74	3	0.005
1156.2396	8646.3593	yçs		8	4	-95	28875.12	5	20228.75	5	0.011
1167.1477	8565.5511	yçs		6	3	?55	32500.26	2	23934.73	3	0.021
1192.5288	8383.2472	yçs		27	12	?60	30840.77	4	22457.51	4	0.013
1193.5702	8375.9327	yçs		22	11	-130	31900	4	23524.09	4	0.023
1196.5074	8355.3715	yçs		182	85	-110	25980.02	3	17624.65	2	0.001
1216.0008	8221.4289	yçs		38	17	+110	31745.49	3	23524.09	4	0.029
1236.2506	8086.7621	yçs		3	3	?30	50274.65	5	42187.96	5	0.072
1250.4581	7994.8818	yçs		17	5	-110	36868.99	3	28874.14	4	0.032
1251.4709	7988.4116	yçs		47	23	-130	29967.17	2	21978.77	2	0.012
1262.3383	7919.6400	yçs		27	13	-120	30377.16	4	22457.51	4	0.010
1269.6056	7874.3076	yçs		2	4	+65	52003.50	8	44129.13	8	0.062
1277.5749	7825.1890	yçs		38	20	-135	29967.17	2	22141.96	1	0.021
1279.9315	7810.7814	yçs		14	30	?100	31745.49	3	23934.73	3	0.021
1281.4593	7801.4691	yçs		4	6	?45	39638.41	7	31836.90	7	0.041
1291.3988	7741.4237	yçs		190	95	-130	28875.12	5	21133.68	6	0.016
1291.6485	7739.9272	yçs		8	8	?70	30197.45	5	22457.51	4	0.013
1306.2014	7653.6938	yçs		24	13	-120	31926.82	5	24273.20	5	0.074
1307.6538	7645.1929	yçs		11	3	?80	46807.32	5	39162.07	4	0.057
1310.8099	7626.7852	yçs		50	24	-120	31900.00	4	24273.20	5	0.015
1338.3857	7469.6449	yçs		9	4	-140	29183.39	4	21713.74	3	0.005
1341.3413	7453.1858	yçs		13	5	-150	31726.4	5	24273.20	5	0.014
1342.5972	7446.2140	yçs		28	14	?90	29424.98	3	21978.77	2	0.004
1366.3648	7316.6890	yçs		24	10	?55	30840.77	4	23524.09	4	0.009
1368.1831	7306.9652	yçs		34	15	?95	29285.72	2	21978.77	2	0.015
1377.4249	7257.9394	yçs		22	7	?90	36132.08	3	28874.14	4	0.001
1394.1666	7170.7833	yçs		4	5	?30	46807.32	5	39636.53	4	0.007
1394.9258	7166.8806	yçs		17	4	-100	36041.02	3	28874.14	4	0.001
1396.1958	7160.3615	yçs		15	8	?100	30684.43	3	23524.09	4	0.021
1397.1661	7155.3888	yçs		13	7	?70	31090.09	2	23934.73	3	0.029
1399.4473	7143.7250	yçs		43	19	?65	29285.72	2	22141.96	1	0.035
1399.6607	7142.6358	yçs		49	23	-110	28276.32	5	21133.68	6	0.004
1431.3133	6984.6812	yçs		18	7	?75	30508.76	4	23524.09	4	0.011
1453.1781	6879.5884	yçs		32	14	?85	35753.72	3	28874.14	4	0.008
1474.3843	6780.6389	yçs		72	35	-115	27009.39	4	20228.75	5	0.001
1481.1355	6749.7319	yçs		83	88	?75	30684.43	3	23934.73	3	0.032
1486.3899	6725.8716	yçs		5	3	?55	29183.39	4	22457.51	4	0.008
1522.2234	6567.5432	yçs		51	22	?60	30840.77	4	24273.2	5	0.027
1525.3377	6554.1342	yçs		4	8	-65	28267.88	3	21713.74	3	0.006
1538.2590	6499.0798	yçs		3	3	-75	38225.46	6	31726.40	5	0.020
1557.7882	6417.6043	yçs		6	4	-105	28875.12	5	22457.51	4	0.006
1575.3892	6345.9038	yçs		166	82	?90	26574.66	4	20228.75	5	0.006
1589.6129	6289.1214	yçs		6	3	-60	28267.88	3	21978.77	2	0.011
1603.2731	6235.5369	yçs		22	9	?75	30508.76	4	24273.2	5	0.023
1657.2448	6032.4636	yçs		5	9	-130	29967.17	2	23934.73	3	0.024
1766.5150	5659.3177	yçs		7	3	?65	29183.39	4	23524.09	4	0.018

Tablo 4.2(devam): Tm II olarak sınıflandırılan çizgiler.

λ / nm	σ / cm^{-1}	Açıklama	Şiddet [12]	S/N (Ar)	S/N (Ne)	W / mK	$E_{\text{üst}} / \text{cm}^{-1}$	$J_{\text{üst}}$	$E_{\text{alt}} / \text{cm}^{-1}$	J_{alt}	$\Delta\sigma / \text{cm}^{-1}$
1809.7307	5524.1754	yçs		10	4	?35	34398.3	3	28874.14	4	0.015
1820.9090	5490.2633	yçs		18	9	?75	29424.98	3	23934.73	3	0.013
1868.2925	5351.0198	yçs		5	2	?40	28875.12	5	23524.09	4	0.010
1898.1025	5266.9813	yçs		22	32	-85	49195.03	6	43928.00	7	0.049
1977.7814	5054.7905	yçs		4	6	-120	26188.47	5	21133.68	6	0.000
2036.0335	4910.1701	yçs		3	6	-70	29183.39	4	24273.2	5	0.020
2054.9237	4865.0327	yçs		12	5	-75	26578.77	3	21713.74	3	0.003
2343.3168	4266.2912	yçs		8	3	-75	25980.02	3	21713.74	3	0.011
2428.2026	4117.1490	yçs		6	4	?40	26574.66	4	22457.51	4	0.001
2498.5536	4001.2238	yçs		16	21	-95	25980.02	3	21978.77	2	0.026
2522.9760	3962.4920	yçs		11	14	?60	42187.96	5	38225.46	6	0.008

Tm I veya Tm II olarak isimlendirilenlerin listesi ise Tablo 4.3’de verildi. Tablo 4.3’te sekiz adet spektral geçiş referans [12]’de sınıflandırması yapılmaksızın Tm I geçişi olarak verilmiştir. Yapılan çizgi analizi sonucunda bu çizgilerin Tm I önerisine uymadıkları belirlendi. Bu nedenle ** işareti ile gösterilen bu geçişler Tm I veya Tm II tablosunda yer aldılar.

Tablo 4.3: Tm I veya Tm II isimlendirilen çizgiler.

λ / nm	σ / cm^{-1}	Şiddet [12]	Açıklama	S/N (Ar)	S/N (Ne)	W / mK
1004.1814	9955.6307		yç	7	10	?50
1005.1007	9946.5250		yç	4	5	?60
1014.0895	9858.3602		yç	4	4	?70
1016.2573	9837.3311	9	**	22	28	?80
1016.9142	9830.9765		yç	40	44	?70
1019.4700	9806.3304		yç	9	11	?65
1019.4794	9806.2400		yç	8	8	?45
1019.7480	9803.6571		yç	9	10	?75
1028.2003	9723.0665		yç	5	5	?55
1028.8941	9716.5101		yç	25	32	?70
1028.9049	9716.4081		yç	6	5	?35
1031.2427	9694.3814		yç	31	36	-65
1034.1699	9666.9417		yç	3	3	+75
1038.3857	9627.6944		yç	5	5	?35
1045.4537	9562.6047		yç	21	27	?80
1046.7516	9550.7477		yç	5	7	?80
1047.0045	9548.4408		k Ar yç		22	?70
1053.1128	9493.0577	3	*	7	9	+85
1053.8909	9486.0489		yç	11	14	?65
1053.9928	9485.1318	20	**	74	86	?60
1055.1801	9474.4591		yç	3	3	?55

Tablo 4.3 (devam): Tm I veya Tm II isimlendirilen çizgiler.

λ / nm	σ / cm ⁻¹	Şiddet [12]	Açıklama	S/N (Ar)	S/N (Ne)	W / mK
1055.6087	9470.6123		yç	79	76	?65
1056.3804	9463.6939		yç	28	9	?75
1056.4998	9462.6243	10	**	26	33	?75
1057.2970	9455.4895		yç	13	3	?40
1063.1705	9403.2527		yç	17	24	?65
1067.2757	9367.0839		yç	20	20	?55
1067.3556	9366.3827	1	k Ar **		46	+110
1074.1981	9306.7202		yç	25	6	?65
1075.1481	9298.4968		yç	58	13	?100
1077.1645	9281.0905		yç	13	13	?75
1079.7344	9259.0005	3	**	9	12	?85
1084.9033	9214.8871	15	**	26	33	+140
1085.2558	9211.8940	10	**	35	41	?75
1086.0518	9205.1424		yç	158	172	?75
1086.6197	9200.3315		yç	15	16	+150
1087.1975	9195.4419		yç	5	3	?25
1088.9852	9180.3466		yç	13	15	?55
1090.7747	9165.2855		yç	6	4	?150
1091.7430	9157.1566	1	**	4	4	?45
1094.8860	9130.8699		yç	3	4	+80
1096.8605	9114.4332		yç	4	4	?40
1097.5840	9108.4252		yç	26	29	-100
1097.7475	9107.0686		yç	17	4	?70
1101.2848	9077.8169		yç	8	10	?65
1103.9950	9055.5318		yç	43	59	+120
1105.0846	9046.6032		yç	26	6	-110
1107.1234	9029.9437		yç	6	10	?55
1112.8269	8983.6632		yç	4	4	?85
1116.3916	8954.9780		yç	30	30	?60
1118.3048	8939.6578		yç	5	7	?40
1118.3430	8939.3524		yç	15	19	?85
1118.8003	8935.6986		yç	22	18	?60
1122.4114	8906.9501		yç	29	29	?60
1125.2487	8884.4914		yç	9	10	?65
1132.4130	8828.2831		yç	18	22	?90
1132.9179	8824.3486		yç	3	4	+85
1137.9951	8784.9786		yç	3	3	?40
1143.0320	8746.2667		yç	14	17	?90
1145.6730	8726.1049		yç	5	7	?60
1153.0453	8670.3124		yç	3	4	?35
1154.7847	8657.2527		yç	26	33	?70

Tablo 4.3 (devam): Tm I veya Tm II isimlendirilen çizgiler.

λ / nm	σ / cm ⁻¹	Şiddet [12]	Açıklama	S/N (Ar)	S/N (Ne)	W / mK
1156.4408	8644.8550		yç	13	15	?100
1156.6813	8643.0575		yç	11	11	+80
1156.7426	8642.5995		yç	4	3	?60
1157.9780	8633.3791		yç	3	3	?35
1159.8888	8619.1565		yç	6	6	?33
1162.6696	8598.5418		yç	33	8	?105
1165.3725	8578.5989		yç	4	6	?50
1165.7035	8576.1630		yç	5	6	?60
1169.0207	8551.8274		yç	6	9	?45
1170.8674	8538.3394		yç	13	7	?50
1172.9205	8523.3938		yç	4	6	?60
1174.9575	8508.6170		yç	6	8	-85
1177.2839	8491.8034		yç	14	17	?75
1178.6646	8481.8560		yç	18	21	?60
1179.5425	8475.5432		yç	5	6	?40
1185.0312	8436.2872		yç	3	3	-90
1185.4443	8433.3474		yç	26	28	?65
1185.7423	8431.2279		yç	3	3	?65
1185.8175	8430.6932		yç	3	3	?65
1187.3189	8420.0324		yç	12	12	-100
1187.4141	8419.3573		yç	4	4	?85
1187.5219	8418.5930		yç	4	5	?30
1187.5317	8418.5236		yç	7	6	?95
1187.9234	8415.7477		yç	14	14	?60
1188.8505	8409.1849		yç	18	23	?75
1189.8640	8402.0221		yç	5	6	?40
1198.1874	8343.6563		yç	3	4	?40
1198.1972	8343.5880		yç	3	3	?45
1200.6926	8326.2476		yç	38	41	?80
1205.3816	8293.8581		yç	15	15	-145
1206.8978	8283.4387		yç	20	19	?55
1209.2972	8267.0034		yç	15	15	?60
1209.9189	8262.7555		yç	11	12	?55
1212.3621	8246.1041		yç	30	41	?100
1215.1187	8227.3971		yç	352	416	?65
1219.6120	8197.0858		yç	11	13	?60
1222.1666	8179.9521		yç	3	4	?55
1223.8508	8168.6953		yç	3	3	?40
1224.1210	8166.8922		yç	110	116	?65
1224.3865	8165.1213		yç	11	13	?40

Tablo 4.3 (devam): Tm I veya Tm II isimlendirilen çizgiler.

λ / nm	σ / cm ⁻¹	Şiddet [12]	Açıklama	S/N (Ar)	S/N (Ne)	W / mK
1225.6812	8156.4964		yç	4	6	?35
1227.9370	8141.5124		yç	4	4	?40
1229.1688	8133.3535		yç	75	75	?55
1232.4234	8111.8749		yç	3	5	-70
1235.6290	8090.8302		yç		13	?70
1239.8643	8063.1925		yç	7	7	?45
1240.1435	8061.3772		yç	15	10	?90
1240.2805	8060.4867		kAr yç		31	?100
1241.2848	8053.9652		yç	8	8	?30
1243.3228	8040.7635		yç	29	31	?65
1246.6013	8019.6167		yç	10	12	?60
1246.6672	8019.1928		yç	6	6	?50
1250.7413	7993.0715		yç	27	34	?65
1251.1967	7990.1623		yç	23	28	-110
1252.2058	7983.7234		yç	4	4	-130
1253.3406	7976.4948		yç	3	3	?40
1256.0219	7959.4669		yç	7	10	?30
1256.6525	7955.4728		yç	3	3	?60
1256.8556	7954.1873		yç	4	7	?40
1256.8734	7954.0746		yç	5	7	?35
1256.8883	7953.9803		yç	3	5	?30
1259.8461	7935.3064		yç	12	16	?60
1260.5643	7930.7853		yç	16	5	?50
1262.4035	7919.2310		yç	8	19	?50
1267.8872	7884.9798		yç	4	3	?40
1269.2458	7876.5397		yç	3	4	+80
1270.2285	7870.4461		k Ar yç		15	?85
1274.2066	7845.8745		yç	3	3	-105
1280.1213	7809.6233		yç	8	8	?65
1280.2737	7808.6937		k Ar yç		39	?70
1281.7683	7799.5884		yç	5	6	-90
1282.0790	7797.6982		yç	30	7	?95
1282.4820	7795.2479		yç	4	4	?45
1284.4214	7783.4776		yç	5	6	?60
1293.0042	7731.8120		yç	19	6	?55
1293.5722	7728.4170		yç	10	13	-120
1295.3011	7718.1015		yç	7	7	?25
1295.6663	7715.9261		k Ar yç		119	?70
1296.4039	7711.5360		yç	27	35	?100
1298.4871	7699.1642		yç	16	20	?90
1299.3086	7694.2964		yç	6	6	?45
1300.8269	7685.3157		k Ar yç		32	?85

Tablo 4.3 (devam): Tm I veya Tm II isimlendirilen çizgiler.

λ / nm	σ / cm ⁻¹	Şiddet [12]	Açıklama	S/N (Ar)	S/N (Ne)	W / mK
1301.9586	7678.6354		yç	11	14	+130
1304.0023	7666.6011		yç	23	6	?55
1307.2534	7647.5345		yç	7	11	?55
1309.4448	7634.7362		yç	17	18	?65
1309.5348	7634.2115		yç	143	186	?70
1314.0928	7607.7318		yç	14	18	+120
1314.3210	7606.4109		yç	10	10	-115
1315.6314	7598.8348		yç	4	4	?45
1316.1514	7595.8326		yç	17	4	?90
1321.3976	7565.6757		k Ar yç		55	?65
1322.8102	7557.5965		k Ar yç		32	?70
1323.0905	7555.9954		k Ar yç		14	?75
1326.7758	7535.0076		yç	19	21	?105
1327.5949	7530.3587		yç	10	12	?110
1329.4381	7519.9183		yç	20	25	?60
1329.7426	7518.1963		yç	30	6	?70
1331.5289	7508.1103		yç	9	8	+85
1334.7932	7489.7489		yç	10	4	?65
1336.7106	7479.0055		k Ar yç		101	?70
1336.7815	7478.6088		k Ar yç		7	?35
1336.8292	7478.3420		yç		7	?35
1336.8735	7478.0942		yç	66	66	?60
1340.6586	7456.9812		k Ar yç		42	?75
1343.2181	7442.7720		yç	11	12	?60
1348.9412	7411.1949		yç	7	8	?65
1356.4335	7370.2590		yç	4	5	?40
1356.4547	7370.1438		yç	4	4	?35
1357.7896	7362.8979		yç	192	221	?80
1363.2176	7333.5807		yç	9	11	?40
1364.8592	7324.7602		yç	5	5	-80
1365.4892	7321.3807		yç	9	7	?35
1375.6108	7267.5108		yç	18	23	?125
1382.2526	7232.5901		yç	5	5	?40
1384.9744	7218.3764		yç	7	5	?40
1387.7394	7203.9942		yç	659	659	?55
1388.5843	7199.6108		yç	9	11	?85
1395.1413	7165.7736		yç	37	46	?60
1397.7968	7152.1602		yç	14	19	?70
1403.4688	7123.2554		yç	156	174	?60
1403.9398	7120.8657		yç	4	5	?60
1403.9398	7120.8657		yç	4	5	?60
1404.7671	7116.6720		yç	4	5	?60
1404.8320	7116.3433		yç	8	8	?40

Tablo 4.3 (devam): Tm I veya Tm II isimlendirilen çizgiler.

λ / nm	σ / cm ⁻¹	Şiddet [12]	Açıklama	S/N (Ar)	S/N (Ne)	W / mK
1414.4125	7068.1409		yç	4	6	?50
1414.6265	7067.0717		yç	12	13	+95
1416.9814	7055.3268		yç	33	31	?75
1419.7117	7041.7585		yç	5	4	-65
1421.1947	7034.4105		yç	3	5	?60
1421.7763	7031.5330		yç	21	25	?80
1422.0119	7030.3680		yç	26	31	?50
1422.5811	7027.5550		yç	18	24	?70
1422.9614	7025.6768		yç	173	82	?65
1424.2233	7019.4519		yç	104	124	?65
1424.5331	7017.9254		yç	12	3	-95
1426.0828	7010.2991		yç	41	45	?65
1429.8179	6991.9862		yç	6	6	?45
1432.9491	6976.7077		yç	5	6	?55
1433.5621	6973.7244		yç	6	8	?35
1433.7476	6972.8222		yç	8	10	?45
1435.1438	6966.0386		yç	29	36	?50
1436.7515	6958.2437		yç	10	12	-110
1439.0105	6947.3205		yç	4	7	?30
1440.4297	6940.4756		yç	13	4	?100
1440.9803	6937.8236		yç	7	9	?50
1449.9087	6895.1012		yç	8	8	?35
1451.0304	6889.7710		yç	19	26	?90
1451.4618	6887.7233		yç	24	29	?70
1452.1574	6884.4240		yç	10	12	?110
1452.8194	6881.2870		yç	5	5	?70
1453.1451	6879.7447		yç	14	15	?105
1456.9718	6861.6752		yç	5	6	?65
1459.3176	6850.6453		yç	5	8	?60
1480.0205	6754.8169		yç	3	3	?40
1482.8834	6741.7759		yç	234	227	?60
1484.0342	6736.5480		yç	3	3	?50
1486.1153	6727.1144		yç	20	25	?75
1487.9507	6718.8164		yç	144	137	?55
1489.4674	6711.9748		yç	34	42	?75
1492.6951	6697.4613		yç	39	56	?55
1493.5295	6693.7196		yç	13	16	?80
1496.3745	6680.9931		yç	26	35	?75
1497.6500	6675.3031		yç	4	9	?40
1506.5590	6635.8289		yç	5	6	?50

Tablo 4.3 (devam): Tm I veya Tm II isimlendirilen çizgiler.

λ / nm	σ / cm ⁻¹	Şiddet [12]	Açıklama	S/N (Ar)	S/N (Ne)	W / mK
1507.7022	6630.7974		yç	5	6	-125
1507.8583	6630.1109		yç	12	3	?90
1511.6373	6613.5361		yç	8	10	?30
1512.4806	6609.8486		yç	50	63	?80
1513.6372	6604.7979		yç	13	3	?70
1521.2268	6571.8458		yç	4	6	?90
1521.8935	6568.9668		yç	4	4	?45
1526.3923	6549.6059		yç	33	41	?80
1534.7591	6513.9005		yç	4	5	?40
1535.0007	6512.8752		yç	8	10	?40
1536.6260	6505.9865		yç	15	4	-85
1542.0154	6483.2479		yç	390	461	?60
1543.0350	6478.9639		yç	18	20	?100
1546.5471	6464.2507		yç	5	5	?35
1546.6225	6463.9355		yç	4	10	?60
1547.3112	6461.0585		yç	8	3	?35
1547.4525	6460.4685		yç	40	49	?50
1550.0620	6449.5924		yç	94	98	?55
1564.5527	6389.8572		yç	17	20	?85
1565.4232	6386.3039		yç	8	10	?30
1568.2641	6374.7352		yç	11	13	?60
1568.3002	6374.5884		yç	26	31	?55
1572.3588	6358.1342		yç	43	47	?60
1584.1628	6310.7582		yç	21	25	?75
1591.1425	6283.0755		yç	10	13	?80
1593.0457	6275.5692		yç	15	15	?70
1595.3434	6266.5308		yç	8	10	?30
1596.0418	6263.7886		yç	6	8	?50
1598.2918	6254.9708		yç	4	7	?65
1601.2012	6243.6055		yç	33	39	?75
1601.8077	6241.2414		yç	3	7	?55
1606.6401	6222.4692		yç	11	12	-105
1610.0259	6209.3837		yç	6	10	?35
1612.7533	6198.8828		yç	9	18	?30
1613.3607	6196.5490		yç	4	7	?40
1615.4113	6188.6831		yç	39	39	?80
1617.5554	6180.4799		yç	11	14	-90
1618.4913	6176.9060		yç	8	15	?70
1619.0161	6174.9038		yç	8	8	?45
1619.6847	6172.3548		yç	14	22	?95
1620.2473	6170.2116		yç	5	8	?45

Tablo 4.3 (devam): Tm I veya Tm II isimlendirilen çizgiler.

λ / nm	σ / cm ⁻¹	Şiddet [12]	Açıklama	S/N (Ar)	S/N (Ne)	W / mK
1628.0128	6140.7802		yç	4	9	-130
1637.7480	6104.2778		yç	25	34	+115
1638.2831	6102.2840		yç	18	25	?90
1638.9752	6099.7072		yç	4	4	-75
1639.9245	6096.1763		yç	5	6	?70
1643.9899	6081.1011		yç	13	17	?100
1646.0762	6073.3937		yç	53	80	?65
1646.5352	6071.7007		yç	17	21	?55
1651.0397	6055.1354		yç	41	54	?65
1654.4307	6042.7245		yç	3	5	-100
1654.7718	6041.4789		yç	10	20	-105
1658.0405	6029.5686		yç	10	3	?65
1658.5864	6027.5841		yç	6	2	?40
1665.2200	6003.5725		yç	3	3	+95
1679.6268	5952.0776		yç	4	5	?30
1680.5849	5948.6844		yç	7	8	?45
1685.5415	5931.1913		yç	29	45	?60
1694.0579	5901.3740		yç		102	?55
1713.1587	5835.5769		yç	11	14	?80
1720.3171	5811.2945		yç	7	15	?40
1720.3528	5811.1739		yç	9	15	?50
1720.8491	5809.4980		yç	5	8	-75
1723.1040	5801.8955		yç	6	10	?30
1730.6605	5776.5630		yç	19	33	?75
1746.4736	5724.2603		yç	8	11	+95
1761.1282	5676.6280		yç	4	4	-160
1761.9554	5673.9629		yç	15	20	-115
1765.3638	5663.0082		yç	3	4	-75
1765.3959	5662.9052		yç	3	4	?30
1772.0864	5641.5250		yç	8	11	?35
1790.3245	5584.0546		yç	20	18	?55
1791.1578	5581.4567		k Ar yç	9	11	-80
1791.4727	5580.4756		k Ar yç		22	?80
1804.5426	5540.0575		yç	5	6	?35
1804.9798	5538.7156		yç	13	12	?55
1811.5294	5518.6904		yç	7	6	?40
1815.3305	5507.1349		yç	4	4	?35
1828.8667	5466.3743		yç	3	5	+115
1829.1290	5465.5904		k Ar yç	59	64	-60
1839.6310	5434.3887		yç	4	4	-85
1848.1918	5409.2168		yç	11	14	-110

Tablo 4.3 (devam): Tm I veya Tm II isimlendirilen çizgiler.

λ / nm	σ / cm ⁻¹	Şiddet [12]	Açıklama	S/N (Ar)	S/N (Ne)	W / mK
1863.8287	5363.8353		yç	4	4	?40
1865.2111	5359.8599		yç	9	11	?70
1881.2383	5314.1966		yç	4	6	-75
1881.9421	5312.2092		yç	22	28	?55
1897.3912	5268.9558		yç	4	6	?35
1923.2860	5198.0155		yç	3	6	?45
1934.7113	5167.3190		yç	4	5	-105
1935.7310	5164.5970		yç	3	3	?40
1939.0238	5155.8266		yç	6	7	?40
1960.3401	5099.7633		yç	9	11	?55
1961.4500	5096.8776		yç	12	17	?80
1977.6786	5055.0532		yç	17	17	?60
1981.7502	5044.6674		k Ar yç		6	?35
1985.5851	5034.9243		yç	15	18	?80
1996.1249	5008.3393		yç	9	12	?50
1997.0816	5005.9400		yç	70	128	+115
2000.1680	4998.2155		yç	15	18	+105
2003.9525	4988.7763		yç	5	6	?70
2022.7571	4942.3981		yç	26	33	?80
2046.3845	4885.3336		yç	30	40	?55
2053.4883	4868.4333		yç	4	4	?30
2055.4549	4863.7754		yç	4	6	?40
2061.6204	4849.2297		k Ar yç		20	?55
2063.9218	4843.8225		yç	362	493	?55
2068.4321	4833.2604		yç	4	4	?65
2079.6517	4807.1853		yç	9	9	+75
2097.5562	4766.1517		yç	16	20	?60
2099.4922	4761.7567		yç	6	9	+90
2114.5916	4727.7550		yç	9	13	?85
2119.4824	4716.8455		yç	28	37	?60
2124.5398	4705.6173		yç	12	15	?85
2135.5353	4681.3889		yç	10	14	+115
2144.7292	4661.3210		k Ar yç	205	266	?75
2153.4218	4642.5049		k Ar yç		5	?35
2193.1612	4558.3842		yç	11	14	+100
2215.4007	4512.6245		yç	4	5	-75
2236.6145	4469.8232		k Ar yç	8	9	-90
2268.2031	4407.5734		yç	3	4	-90
2281.5647	4381.7612		yç	4	5	+95
2298.9957	4348.5386		yç	4	5	?50

Tablo 4.3 (devam): Tm I veya Tm II isimlendirilen çizgiler.

λ / nm	σ / cm ⁻¹	Şiddet [12]	Açıklama	S/N (Ar)	S/N (Ne)	W / mK
2338.6543	4274.7967		yç	5	7	?40
2343.4895	4265.9768		yç	12	14	?85
2385.6554	4190.5767		yç	5	5	?40
2396.8028	4171.0865		yç	49	59	?55
2417.0189	4136.1993		yç	5	5	-105
2417.1004	4136.0598		yç	7	5	?55
2462.4726	4059.8511		yç	5	7	?35

4.2. TULYUM ELEMENTİNİN AŞIRI İNCE YAPI ANALİZİ SONUÇLARI

FT spektroskopisi metodunda Doppler genişlemesi nedeni ile spektral çizgiler tam olarak ayrışamazlar. Bu yüzden bir spektral çizginin alt ve üst enerji seviyelerinin aşırı ince yapı sabitlerini aynı anda belirlemek hatalara neden olur. Spektrumda en fazla iki pikten oluşan çizgi desenine sahip olan Tm elementinin aşırı ince yapı sabitlerinin hassas olarak belirlenmesi ekstra zordur.

Bu çalışmada aşırı ince yapı sabitleri belirlenecek spektral çizgiler seçilirken;

- alt enerji seviyelerine ait manyetik dipol aşırı ince yapı sabitlerinin, A , literatürden bilinmesine,
- spektral çizginin iki pike sahip olmasına

dikkat edildi.

Her bir çizgi FT spektrumundan Origin programı yardımı ile kesildi ve fit işlemi için kullanılacak FITTER programına hazır hale getirildi. Aşırı ince yapı sabitlerini belirlerken fit işlemi süresince bilinen A değerleri sabit tutuldu ve değerlerin listesi Tablo 4.4’de verildi. Ayrıca spektral çizginin aşırı ince yapı bileşenlerinden küçük şiddete sahip olup ayrışmamış olanlar, en şiddetli bileşenin teorik değeri ile bağlandı.

Tablo 4.4: Fit işleminde referanslardan alınarak sabit tutulan hfs sabitleri.

Enerji /cm ⁻¹	<i>J</i>	Parite	<i>A</i> /MHz	Referans
16742.237	3.5	çift	-736.6(1.0)	[16]
16957.006	3.5	çift	-491.1(1.0)	[16]
17343.374	3.5	çift	-166.24(8)	[14]
17613.659	4.5	çift	-629.25(8)	[14]
18837.385	4.5	çift	-422.4(9)	[11]
18990.406	5.5	çift	-581.4(1.3)	[24]
19748.543	4.5	çift	-694.8(4)	[24]
19753.83	3.5	çift	-536.6(9)	[13]
21737.685	4.5	çift	-357.1(1.5)	[13]
21997.473	5.5	çift	-342.8(1.3)	[28]
24348.692	4.5	çift	-371.7(1.5)	[33]
25656.019	2.5	çift	-410.7(1.4)	[16]
25745.117	2.5	çift	-493.38(1.00)	[33]
26126.907	2.5	çift	-1161.47(1.20)	[33]
26439.491	3.5	çift	-904.98(1.00)	[33]
26701.325	3.5	çift	-426(15)	[11]
28143.670	1.5	çift	-475.6(8)	[24]
28555.799	3.5	çift	-992.4(1.5)	[24]

Bir seviye için aşırı ince yapı sabiti belirlenirken;

- ✓ Alt ve üst enerji seviyesinin manyetik dipol aşırı ince yapı sabitinden en az bir tanesi bilinen geçişler dikkate alındı.
- ✓ Bu geçişler arasından çift pikli olanlar seçildi.
- ✓ En az iki farklı çizgiden elde edilmesine dikkat edildi.
- ✓ Tablo 4.5 ve Tablo 4.6'nın son kolonunda belirlenen manyetik dipol aşırı ince yapı sabitin ağırlıklı ortalama değeri 4.1a ve 4.1b eşitlikleri kullanılarak hesaplandı. Eşitlik 4.1a ağırlıklı ortalama hesabı olup x_i değeri MHz cinsinden hfs sabitlerini σ_i ise herbir değerin hatasını göstermektedir. Eşitlik 4.1b ise ağırlıklı ortalama sonucu belirlenen nihai hfs değerinin hatasını vermektedir. Üst seviyenin hfs sabitlerinin hataları verilirken literatürden alınan alt seviyenin de hataları fit sonucu elde edilen hatalara eklendi.

$$\xi = \frac{\sum_i \frac{x_{i,0}}{\sigma_i^2}}{\sum_i \frac{1}{\sigma_i^2}} \quad (4.1a)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{\sum_i \frac{1}{\sigma_i^2}}} \quad (4.1b)$$

Yapılan analizler sırasında daha önce literatürde verilen iki seviyeye ait manyetik dipol aşırı ince yapı sabitinin fit işleminde doğru sonuç vermediği belirlendi. Bu seviyeler;

- **24246.425 cm⁻¹ ince yapı enerji seviyesi:**

2005 yılında Başar, G. ve diğerleri [28] optogalvanik spektroskopisi yöntemi ile bu seviyeye ait manyetik dipol aşırı ince yapı sabitini deneysel olarak -197(5) MHz olarak belirlemiştir. FITTER programı ile yapılan fit işlemi sonucunda bu değer beş farklı geçiş kullanılarak -80.6 (2.0) MHz olarak belirlendi ve fit sonuçları Tablo 4.5’de verildi.

Tablo 4.5: 24246.425 cm⁻¹ ince yapı enerji seviyesi için iyileştirilen A değeri.

Konfigürasyon	Terim	J	E / cm^{-1}	$\lambda \text{ (Å)}$	A / MHz	$A_{\text{ort}} / \text{MHz}$
$4f^{13}(^2F_{7/2})5d6s(^3D)$	$^3[9/2]^0$	3.5	24246.425	13322.277	-81 (3)	-80.6 (2.0)
				13714.798	-80 (3)	
				15072.587	-82 (10)	
				22226.743	-80 (7)	
				22252.887	-84 (12)	

- **37724.84 cm⁻¹ ince yapı enerji seviyesi:**

Üst enerji seviyesi 37724.84 cm⁻¹ ($J=5/2$) ve alt enerji seviyesi 32359.372 cm⁻¹ ($J=7/2$) olan $\lambda = 1863.2634$ nm spektral geçişinde alt ve üst enerji seviyelerine ait hfs sabitlerinin literatürde mevcut olduğu belirlendi.

37724.84 cm⁻¹ ($J=5/2$) üst seviyesi için, Krüger J. [34] tarafından 1986 yılında yapılan tez çalışmasından alınan, sadece bir geçiş kullanılarak elde edildiği belirtilen A değeri -2263.3(3.9) MHz olarak verilmektedir. Bu çizginin alt enerji seviyesi için ise hfs sabiti Kröger S. [33] tarafından -613.9(1.2) MHz olarak verilmiştir. $\lambda = 1863.2634$ nm spektral çizgisinin fit işleminde bu iki değer ile spektrumun fit olmadığı görüldü. Bu durumun iki nedeni olabilir:

- Her iki hfs sabiti de hatalıdır
ya da,
- Hfs sabitlerinden biri hatalıdır.

Bu nedenle çizginin alt ve üst enerji seviyelerini içeren spektrumdaki diğer spektral çizgiler araştırıldı. İncelenen çizginin alt enerji seviyesi [$E = 32359.372 \text{ cm}^{-1}$ ($J=7/2$)] için çift pike sahip ve diğer seviyeye ait hfs sabiti belli olan aşağıdaki spektral geçişler belirlendi.

- $\lambda = 1249.5051 \text{ nm}$ ($40360.37 \text{ cm}^{-1} J = 7/2 \rightarrow 32359.372 \text{ cm}^{-1} J = 7/2$)
- $\lambda = 1923.3302 \text{ nm}$ ($37557.25 \text{ cm}^{-1} J = 7/2 \rightarrow 32359.372 \text{ cm}^{-1} J = 7/2$)

Yapılan fit işlemlerinde $32359.372 \text{ cm}^{-1}$ seviyesi için Kröger, S. [33] tarafından belirlenen hfs sabitinin doğru olduğu saptandı. Bunun anlamı 37724.84 cm^{-1} seviyesinin literatürde verilen hfs değerinin yanlış olmasıdır. Bu nedenle bu seviyeyi içeren çift pike sahip ve diğer seviyeye ait hfs sabiti belli olan aşağıdaki spektral geçişler spektrumdan belirlendi ve analiz edildi.

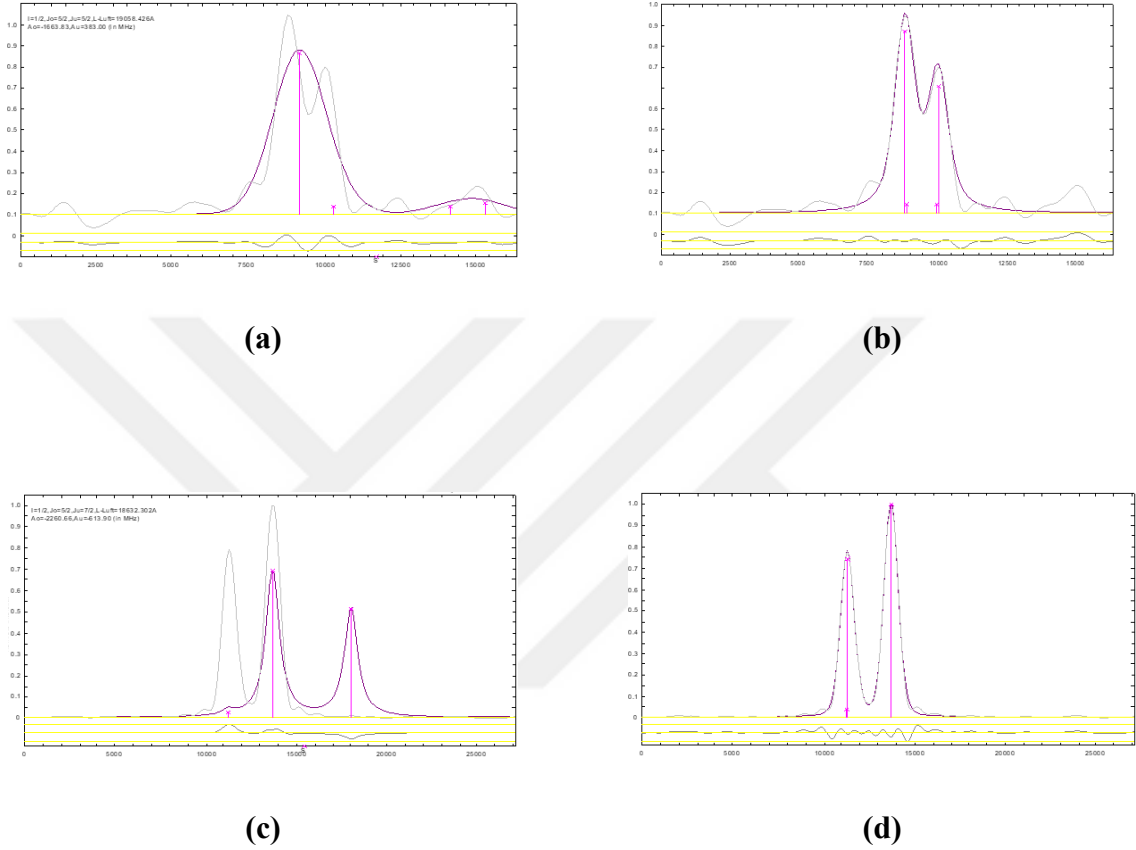
- $\lambda = 1905.8765 \text{ nm}$ ($37724.84 \text{ cm}^{-1} J = 5/2 \rightarrow 32479.326 \text{ cm}^{-1} J = 5/2$)
- $\lambda = 1863.2634 \text{ nm}$ ($37724.84 \text{ cm}^{-1} J = 5/2 \rightarrow 32359.372 \text{ cm}^{-1} J = 7/2$)

37724.84 cm^{-1} ($J=5/2$) seviyesi için, iki farklı geçişten elde edilen ağırlıklı ortalama A değeri analiz sonucunda $-17 (2)$ olarak bulundu.

Şekil 4.1a'da 37724.84 cm^{-1} ($J=5/2$) ince yapı enerji seviyesi için literatürden alınan $A = -2263.3 \text{ MHz}$ [34] değeri ile fit edilen spektrum verildi. Şekilden de görüldüğü gibi bu değer spektruma kesinlikle uymamaktadır. Böylece fit işleminin yapılmasında kullanılan giriş bilgilerinin doğruluğunun önemi net olarak görülmektedir.

Şekil 4.1b'de ise giriş değeri klasifikasyon programının [2,3] içinde yer alan simülasyon programı ile belirlenen A değeri kullanılarak yapılan fit işlemi sonucu elde edilen en iyi fit sonucuna ait spektrum verildi. Bu değer ile yapılan fit işlemi sonucunda doğru hfs değeri elde edildi.

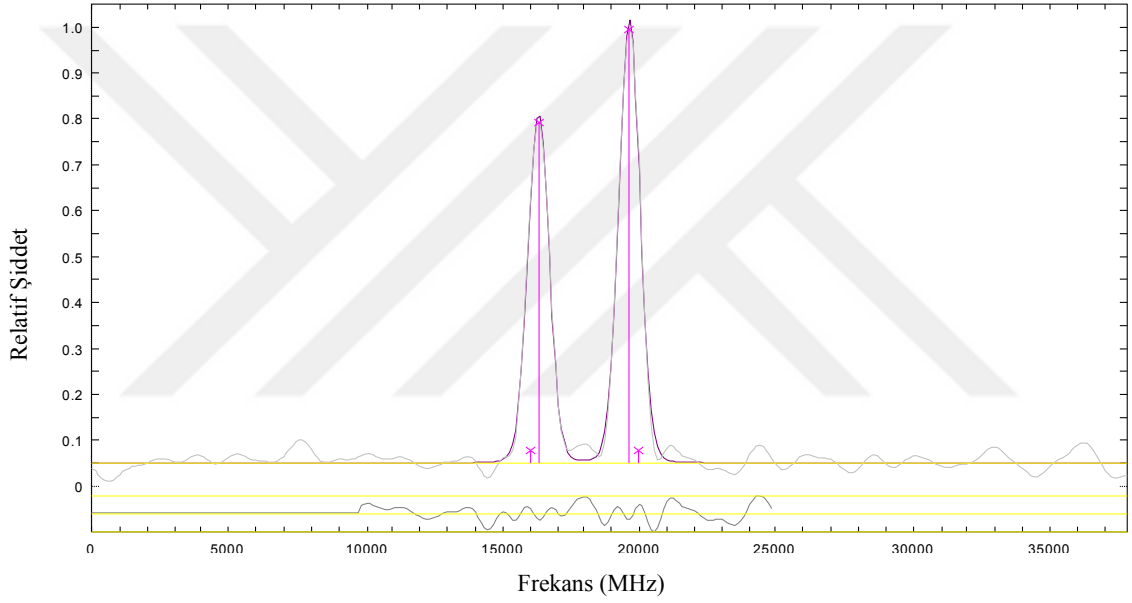
Şekil 4.1c ve Şekil 4.1d ise yine sırası ile hatalı ve yenilenmiş A değerleri ile yapılan fit işlemi ile alınan en iyi fit spektrumları görülmektedir.



Şekil 4.1: (a) Literatürden alınarak giriş değeri $A = -2263.3$ MHz [34] olarak verilerek ve elde edilen en iyi fit sonucuna ait spektrum, (b) bu çalışmada belirlenen A değeri kullanılarak yapılan fit işlemi sonucu elde edilen en iyi fit sonucuna ait spektrum, (c) hatalı ve (d) yenilenmiş A değerleri ile yapılan fit işlemi ile alınan en iyi fit spektrumları.

Şekil 4.2 – Şekil 4.40 arasında ise alt ve üst enerji seviyesinin manyetik dipol aşırı ince yapı sabitinden en az bir tanesi bilinen geçişler için elde edilen en iyi fit sonuçları verildi. Her bir spektrumda aşırı ince yapı bileşenlerinin yerleri görülmektedir. Spektrumun altında yer alan tabloda; fit işlemi süresince sabit tutulan hfs sabiti değeri (referansı ile birlikte), analiz edilen her geçişe ait MHz cinsinden Voigt, Gauss ve Lorentz yarı genişlikleri, Gauss / Voigt oranı, spektrumun ne kadar iyi fit edildiğini veren kalite olarak adlandırılan değer tabloda verildi.

Şekil 4.2’de $26439.491 \text{ cm}^{-1} (J = 7/2) \rightarrow 30921.580 \text{ cm}^{-1} (J = 7/2)$ geçişine ait en iyi fit spektrumu ve fit sonuçları verildi. $\Delta J = 0$ olduğu durumlarda dört adet aşırı ince yapı geçişi söz konusu olmaktadır. Spektrumun alt kısmında deneysel ve teorik spektrumlar arasındaki fark görülmektedir. Spektrumdaki dikey çizgiler tam olarak hfs geçişlerinin yerini göstermektedir. Alt enerji seviyesine ait hfs sabiti, A_{alt} literatüden alındı ve fit işlemi sırasında sabit tutuldu. Üst enerji seviyesine ait hfs sabiti, $A_{\text{üst}}$ ilk defa bu çalışmada elde edildi (Tablo 4.6).

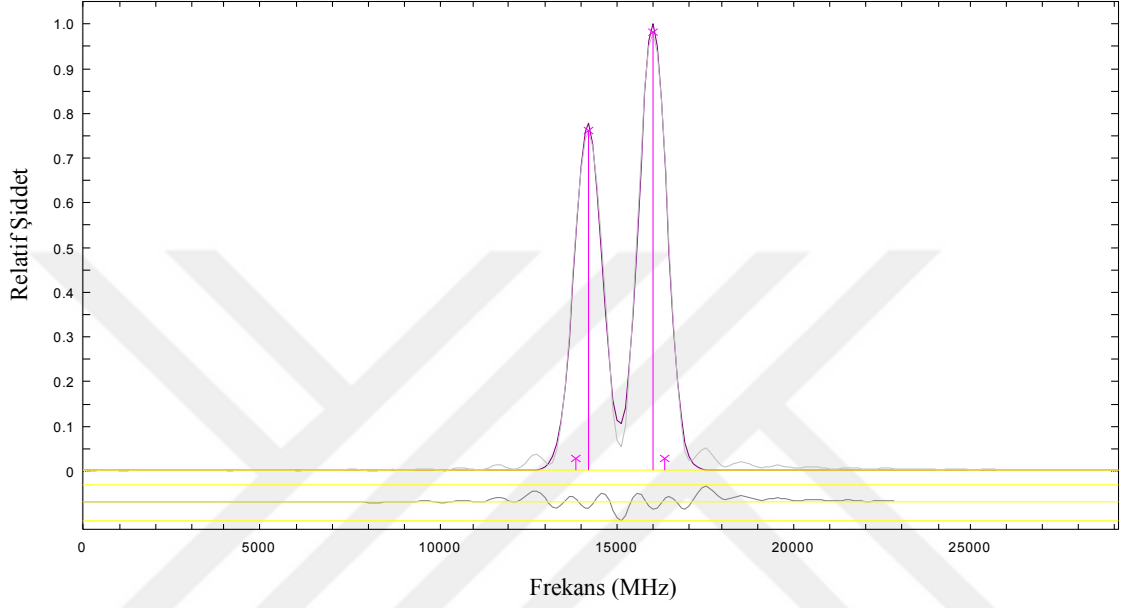


Şekil 4.2: $\lambda = 2230.5007 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.6: $\lambda = 2230.5007 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.

Parametre		Ref
Yarı Genişlik (Voigt)	889.41 MHz	
Yarı Genişlik (Gauss)	858.27 MHz	
Yarı Genişlik (Lorentz)	58.06 MHz	
Gauss/Voigt	0.965	
$A_{\text{üst}}$	-80.1(4.3)MHz	
A_{alt}	-904.98(1.0)MHz	[33]
Kalite	15.22	

24246.425 cm^{-1} ($J = 7/2$) $\rightarrow$ 19753.83 cm^{-1} ($J = 7/2$) geçişine ait en iyi fit spektrumu ile fit işlemi sonucu elde edilen çıkış verileri Şekil 4.3'te verildi. Literatürden alınan A_{alt} değeri fit işlemi sürecinde sabit tutuldu. $A_{\text{üst}}$ değeri ise bu çalışmada iyileştirildi (Tablo 4.7).

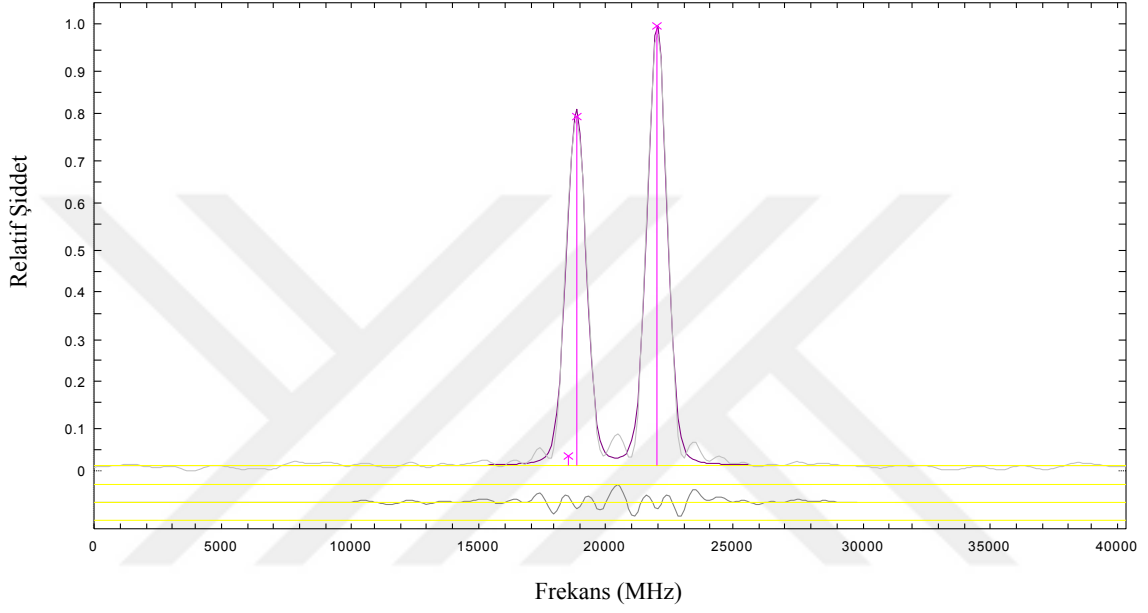


Şekil 4.3: $\lambda = 2225.2887$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.7: $\lambda = 2225.2887$ nm çizgisinin fit sonuçları.

Parametre	Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	890.17 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	883.56 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	12.69 MHz
Gauss/Voigt	0.913
$A_{\text{üst}}$	-84(12)MHz
A_{alt}	-536.6(9)MHz [13]
Kalite	17.67

$\Delta J = -1$ olduğunda hfs geçiş sayısı üçtür. $24246.425 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 7/2$) $\rightarrow 19748.543 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 9/2$) geçişinde bu durum görülmektedir. $\lambda = 2222.6743 \text{ nm}$ çizgisinin en iyi fit spektrumu ve sonuçları Şekil 4.4'te verildi. $A_{\text{üst}}$ değeri bu çalışmada revize elde edilirken A_{alt} değeri literatürden alınıp sabit tutuldu (Tablo 4.8).

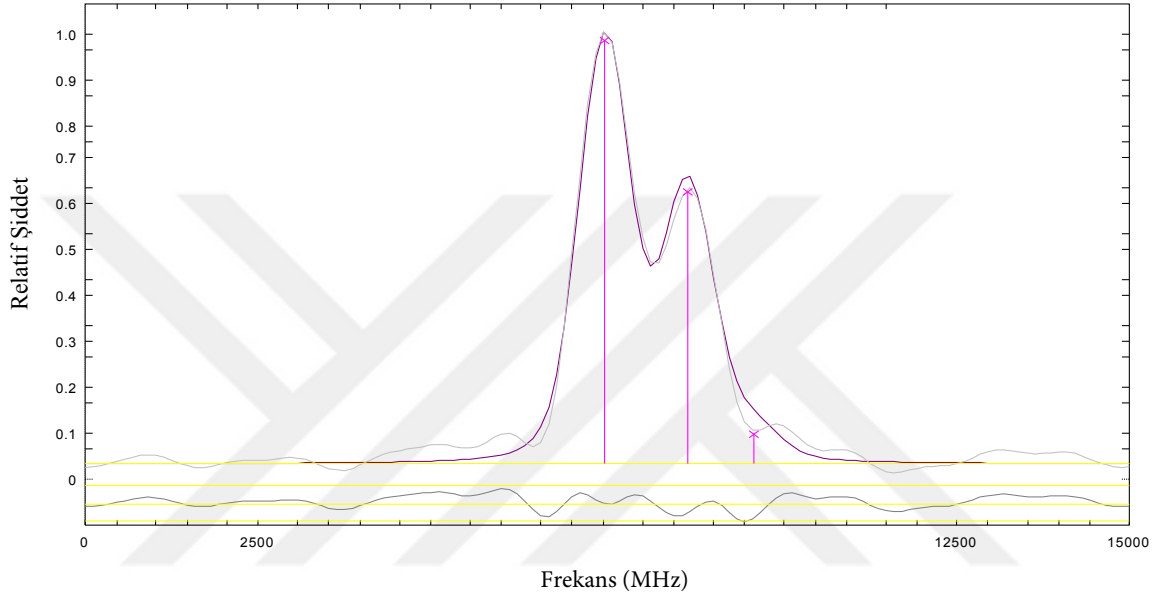


Şekil 4.4: $\lambda = 2222.6743 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.8: $\lambda = 2222.6743 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.

Parametre		Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	875.45 MHz	
Yarı Genişlik (Gauss)	799.42 MHz	
Yarı Genişlik (Lorentz)	138.25 MHz	
Gauss/Voigt	0.913	
$A_{\text{üst}}$	-80(7) MHz	
A_{alt}	-694.8(4)MHz	[24]
Kalite	15.78	

$32856.613 \text{ cm}^{-1} (J = 5/2) \rightarrow 28143.670 \text{ cm}^{-1} (J = 3/2)$ geçişi için $\Delta J = +1$ dir ve bu durumda da u aşırı ince yapı geçişi görülür. şekil 4.5'te alt enerji seviyesinin hfs sabiti değeri daha önceki yapılan çalışmalardan alınarak fit işleminde sabit tutuldu. st enerji seviyesi için bulunan $A_{\text{st}}$ değeri ilk defa bu çalışmada elde edildi (Tablo 4.9).

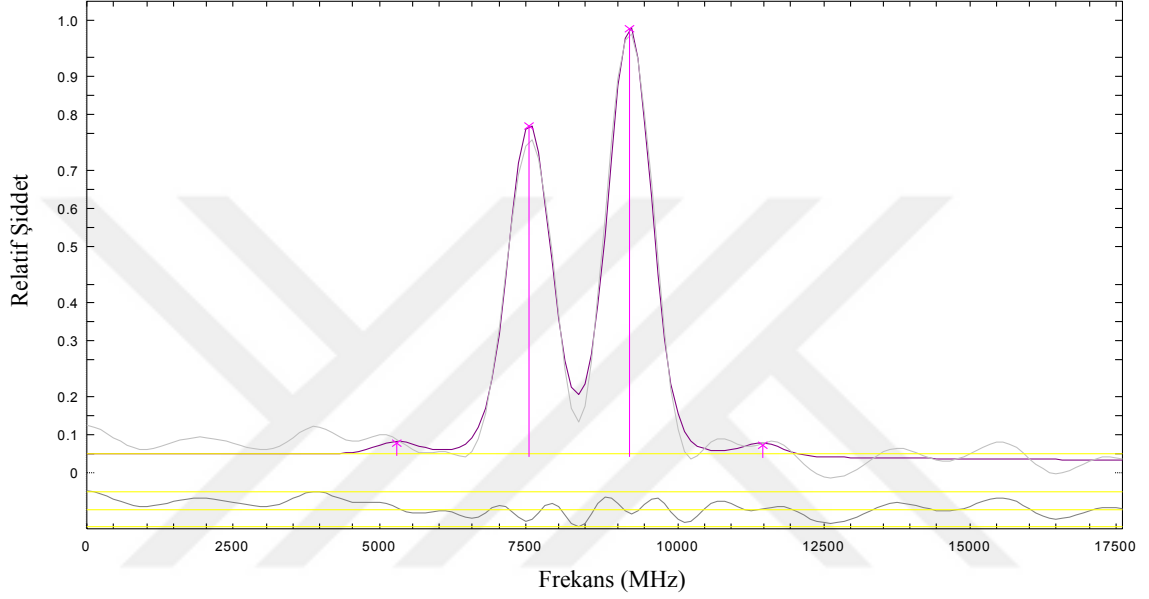


şekil 4.5: $\lambda = 2121.2429 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.9: $\lambda = 2121.2429 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları

Parametre		Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	885.43 MHz	
Yarı Genişlik (Gauss)	769.43 MHz	
Yarı Genişlik (Lorentz)	206.69 MHz	
Gauss/Voigt	0.869	
$A_{\text{st}}$	-718(14) MHz	
A_{alt}	-475.6(8)MHz	[24]
Kalite	12.04	

$33395.984 \text{ cm}^{-1} (J=7/2) \rightarrow 28555.799 \text{ cm}^{-1} (J=7/2)$ geçişinin aşırı ince yapı analizi sonucu elde edilen veriler Şekil 4.6'da görülmektedir. Burada da alt seviye A değeri bilinen bir değer olup fit süresince sabit tutuldu. Üst seviye için manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti ilk defa bu çalışmada elde edildi (Tablo 10).

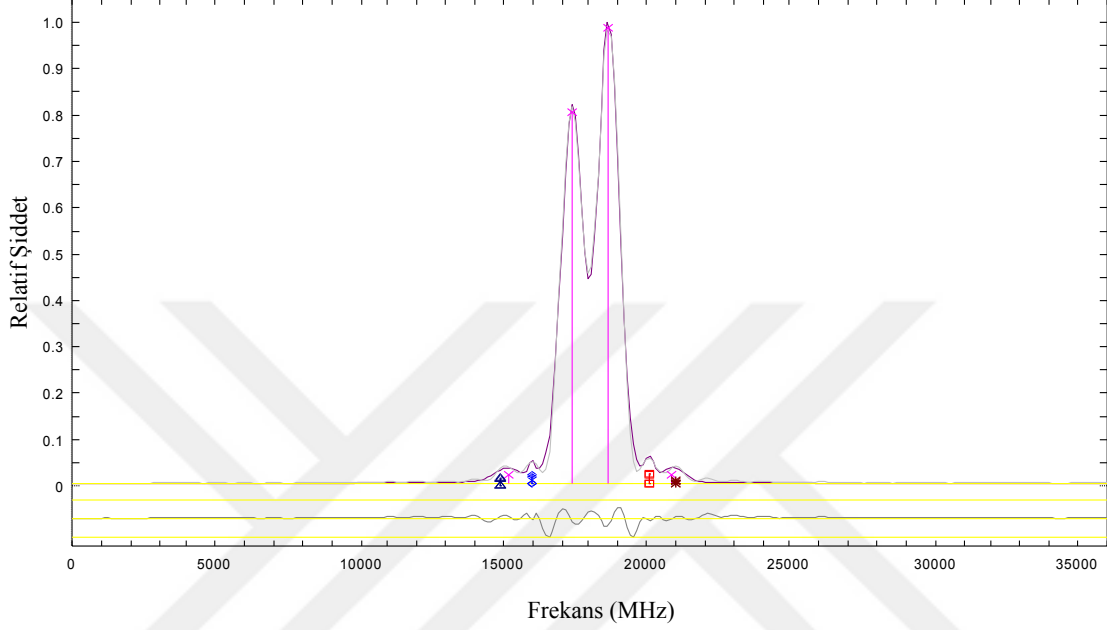


Şekil 4.6: $\lambda = 2065.4733 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.10: $\lambda = 2065.4733 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.

Parametre	Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	854.22 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	784.82 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	126.51 MHz
Gauss/Voigt	0.919
$A_{\text{üst}}$	-564.2(6.4) MHz
A_{alt}	-992.4(1.5) MHz [24]
Kalite	8.78

Şekil 4.7’de $19748.543 \text{ cm}^{-1} (J = 9/2) \rightarrow 24701.058 \text{ cm}^{-1} (J = 9/2)$ geçişine ait fit sonuçları verildi. Literatürden alınan A_{alt} değeri sabit tutuldu (Tablo 4.11).

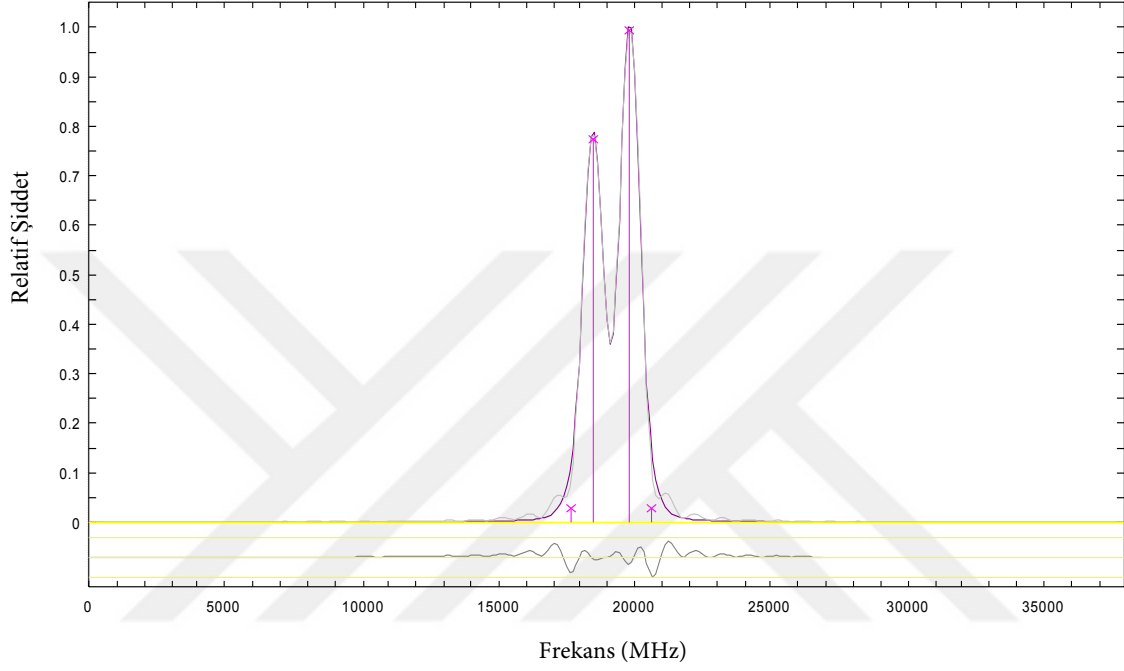


Şekil 4.7: $\lambda = 2018.6257 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.11: $\lambda = 2018.6257 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.

Parametre	Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	880.04 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	810.72 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	126.51 MHz
Gauss/Voigt	0.921
$A_{\text{üst}}$	-447(10) MHz
A_{alt}	-694.5(1.5) MHz [14]
Kalite	29.53

19753.830 cm^{-1} ($J=7/2$) $\rightarrow$ 24708.041 cm^{-1} ($J=7/2$) geçişine (Şekil 4.8) ait fit işleminde alt seviyeye ait değer literatürden alınarak sabit tutulup üst seviye için hfs sabiti ilk defa bu çalışmada belirlendi. Sonuçlar Tablo 4.12'de derlendi.

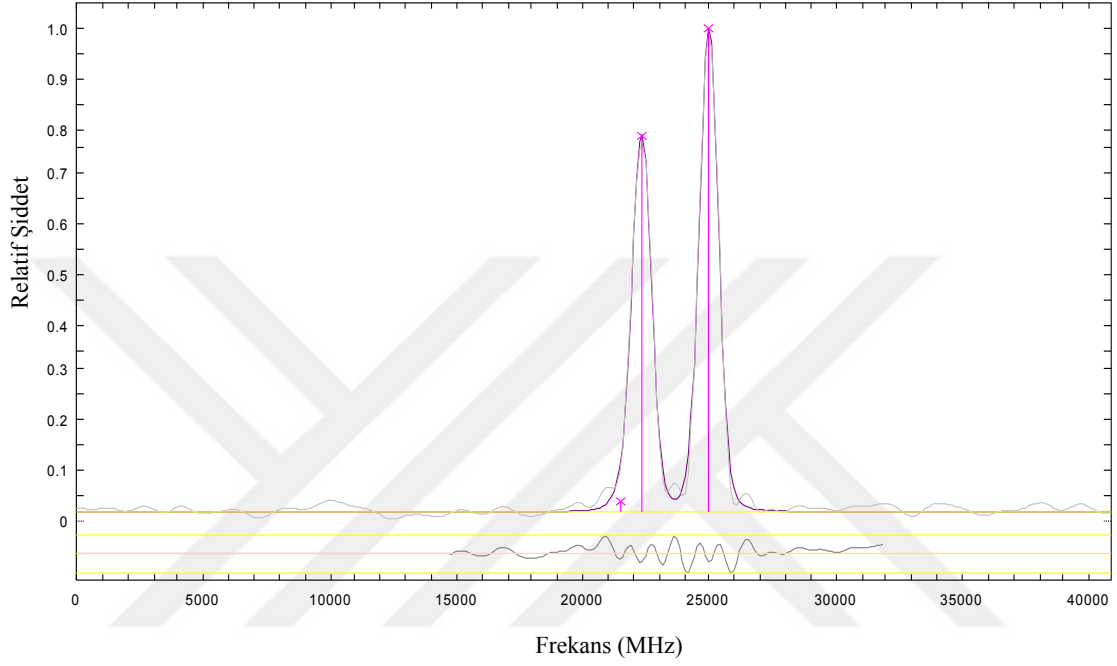


Şekil 4.8: $\lambda = 2017.9318$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.12: $\lambda = 2017.9318$ nm çizgisinin fit sonuçları.

Parametre		Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	869.43 MHz	
Yarı Genişlik (Gauss)	789.87 MHz	
Yarı Genişlik (Lorentz)	144.36 MHz	
Gauss/Voigt	0.908	
$A_{\text{üst}}$	-200(11) MHz	
A_{alt}	-536.6(9) MHz	[13]
Kalite	25.3	

Şekil 4.9'da $24708.041 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 7/2$) $\rightarrow$ $19748.543 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 9/2$) geçişi için alt seviye hfs değeri sabit tutuldu. Üst seviye için ise ilk defa bu çalışmada manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti belirlendi (Tablo 4.13).

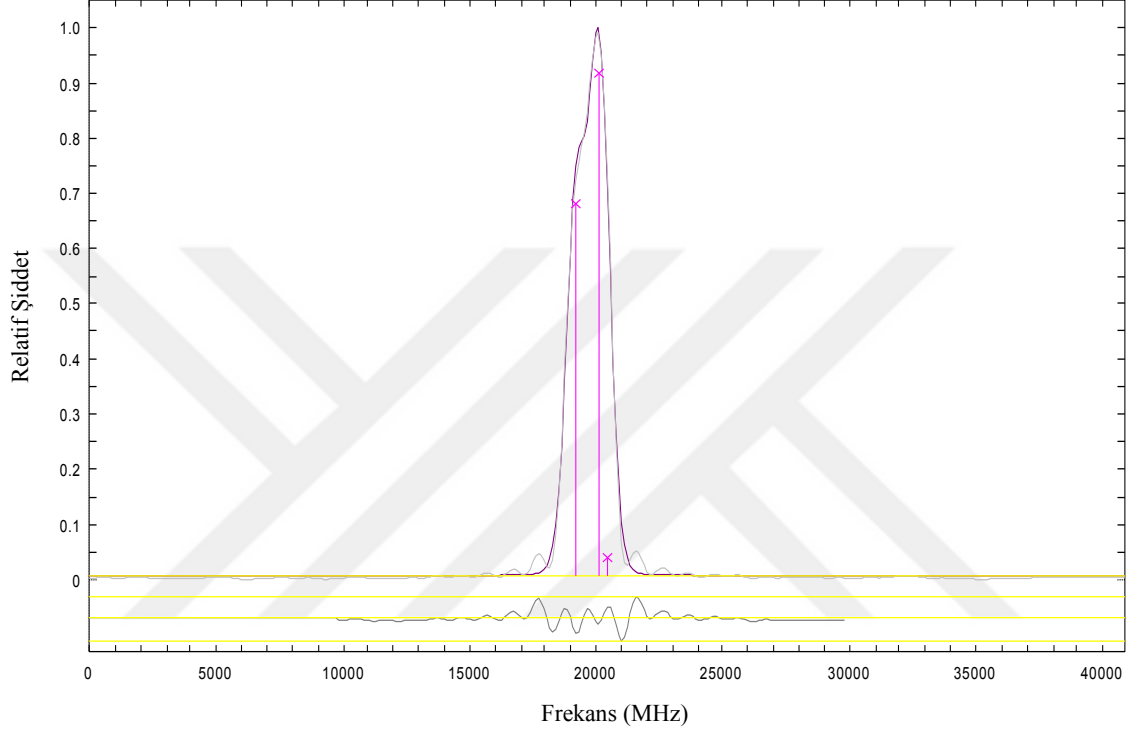


Şekil 4.9: $\lambda = 2015.7814 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.13: $\lambda = 2015.7814 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.

Parametre	Ref.	
Yarı Genişlik (Voigt)	885.15 MHz	
Yarı Genişlik (Gauss)	819.94 MHz	
Yarı Genişlik (Lorentz)	119.29 MHz	
Gauss/Voigt	0.926	
$A_{\text{üst}}$	-206.2(6.4) MHz	
A_{alt}	-694.8(4) MHz	[24]
Kalite	18.84	

Şekil 4.10'da $30921.580 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 7/2$) $\rightarrow$ 25656.019 ($J = 5/2$) geçiş bilgileri verildi. Üst seviye için hfs sabiti ilk defa bu çalışmada bulunurken alt seviyeye ait hfs sabiti değeri literatürden alınarak sabit tutuldu (Tablo 4.14).

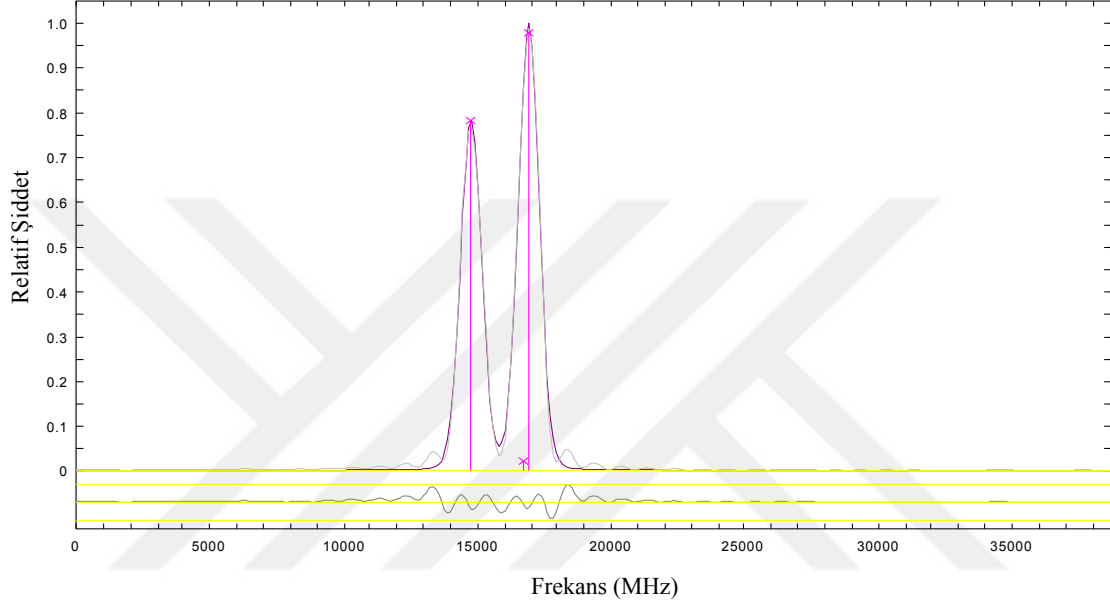


Şekil 4.10: $\lambda = 1898.6256 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.14: $\lambda = 1898.6256 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.

Parametre	Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	934.38 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	903.3 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	58.01 MHz
Gauss/Voigt	0.967
$A_{\text{üst}}$	-81.5(3.7) MHz
A_{alt}	-410.7(1.4) MHz [16]
Kalite	22.97

Şekil 4.11 de $22419.764 \text{ cm}^{-1}$ ($J=9/2$) seviyesinden $16957.006 \text{ cm}^{-1}$ ($J=7/2$) seviyesine geçiş gösterilerek, geçişe ait bilgiler verildi. En iyi fit durumu oluşturulduktan sonra alt seviyeye ait manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti sabit tutulurken, üst seviyenin manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti ilk kez elde edildi (Tablo 4.15).

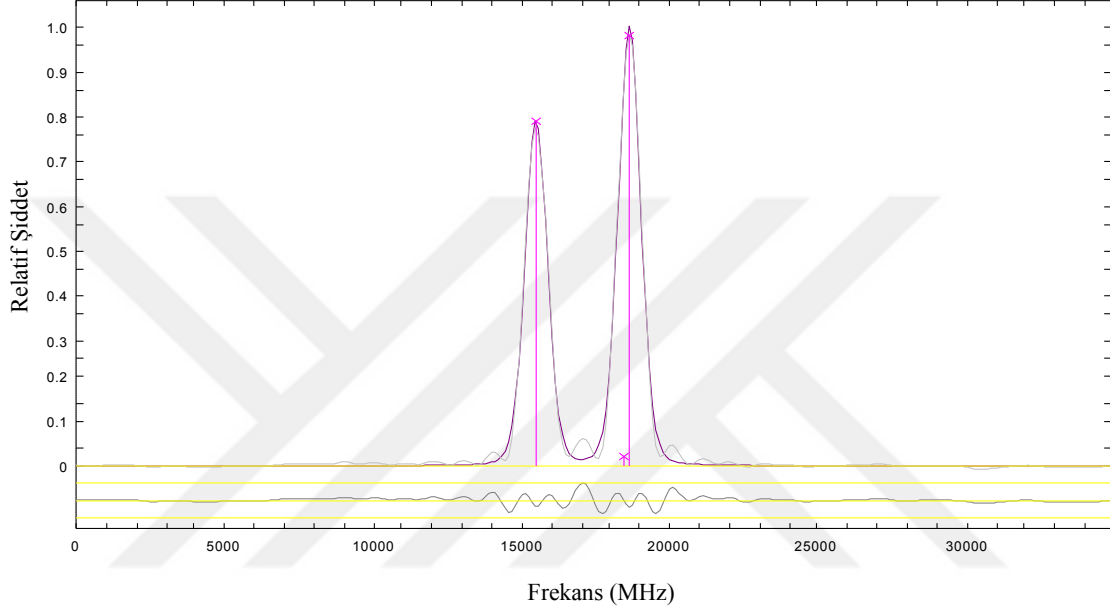


Şekil 4.11: $\lambda = 1830.0817 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.15: $\lambda = 1830.0817 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.

Parametre	Ref.	
Yarı Genişlik (Voigt)	910.57 MHz	
Yarı Genişlik (Gauss)	878.83 MHz	
Yarı Genişlik (Lorentz)	59.18 MHz	
Gauss/Voigt	0.965	
$A_{\text{üst}}$	40.4(2.1) MHz	
A_{alt}	-491.1(1.0) MHz	[16]
Kalite	21.15	

22419.764 cm⁻¹ ($J=9/2$) seviyesinden 16742.237 cm⁻¹ ($J=7/2$) seviyesine geçiş Şekil 4.12 de spektrum olarak gösterildi ve bu geçişe ait bilgiler tabloda verildi. Alt seviyeye ait manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti (A_{alt}) sabit tutulurken, üst seviyenin manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti ($A_{üst}$) ilk defa bulundu (Tablo 4.16).

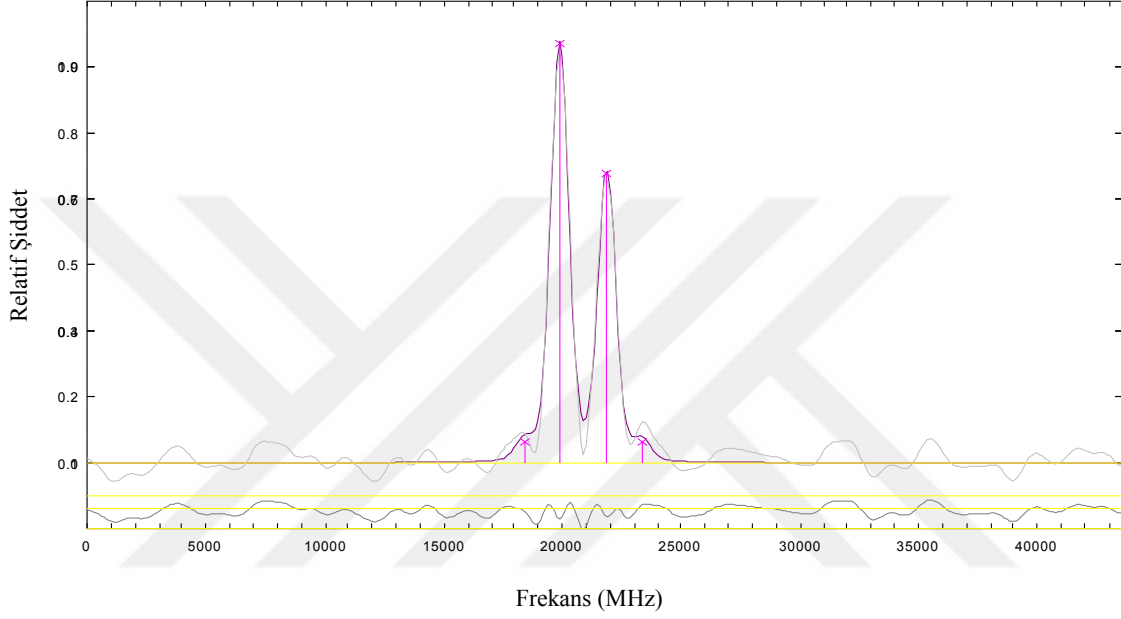


Şekil 4.12: $\lambda = 1760.8532$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.16: $\lambda = 1760.8532$ nm çizgisinin fit sonuçları.

Parametre	Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	891.91 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	830.37 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	112.82 MHz
Gauss/Voigt	0.931
$A_{üst}$	41.1(2.4) MHz
A_{alt}	736.6(1.0) MHz [16]
Kalite	17.68

Şekil 4.13 ile $31773.780 \text{ cm}^{-1}$ ($J=5/2$) seviyesinden $25745.117 \text{ cm}^{-1}$ ($J=5/2$) seviyesine aşırı ince yapı geçişi spektrum olarak gösterildi. $\Delta J = 0$ olduğundan burada 4 adet aşırı ince yapı geçişi mümkün olup, bu geçişe ait veriler tabloda gösterilmiştir. En iyi fit işlemi süresince A_{alt} sabit tutulurken, $A_{\text{üst}}$ bu çalışmada ilk defa verildi (Tablo 4.17).

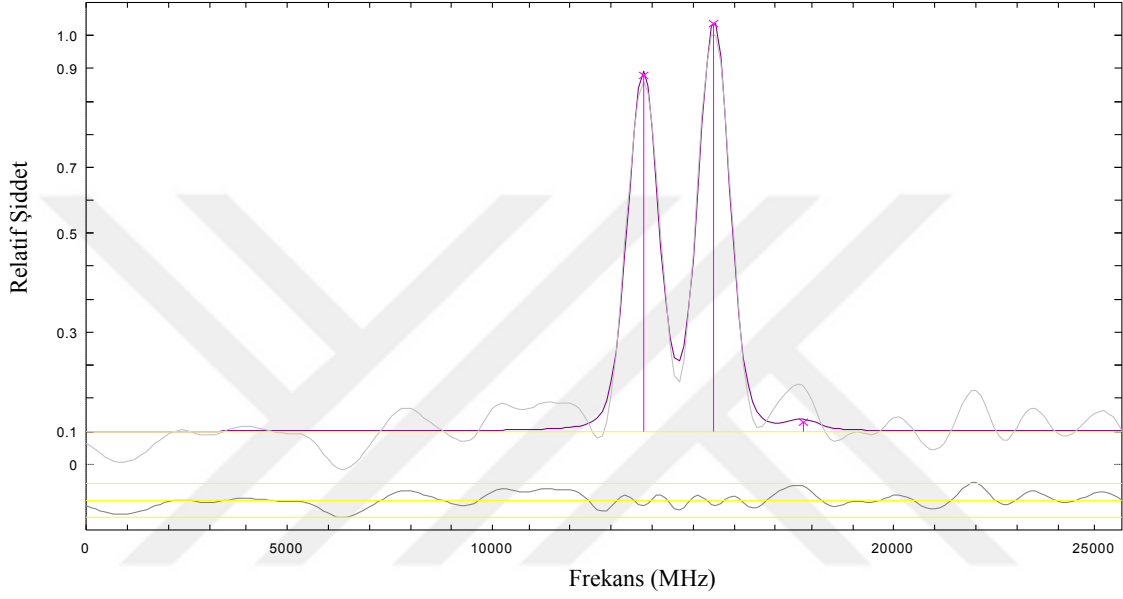


Şekil 4.13: $\lambda = 1658.3067 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.17: $\lambda = 1658.3067 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.

Parametre		Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	886.77 MHz	
Yarı Genişlik (Gauss)	786.15 MHz	
Yarı Genişlik (Lorentz)	180.73 MHz	
Gauss/Voigt	0.887	
$A_{\text{üst}}$	-1155.1(7.5) MHz	
A_{alt}	-493.38(1.0) MHz	[33]
Kalite	6.18	

$34587.982 \text{ cm}^{-1} (J = 9/2) \rightarrow 28555.799 \text{ cm}^{-1} (J = 7/2)$ aşırı ince yapı geçişine ait spektrum görüntüsü aşağıdaki şekilde verildi. Alt enerji seviyesinin manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A_{alt} sabit tutularak, bu geçişin en iyi fit işlemi gerçekleştirildi ve üst enerji seviyesinin manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A_{\text{üst}}$ elde edildi (Tablo 4.18).

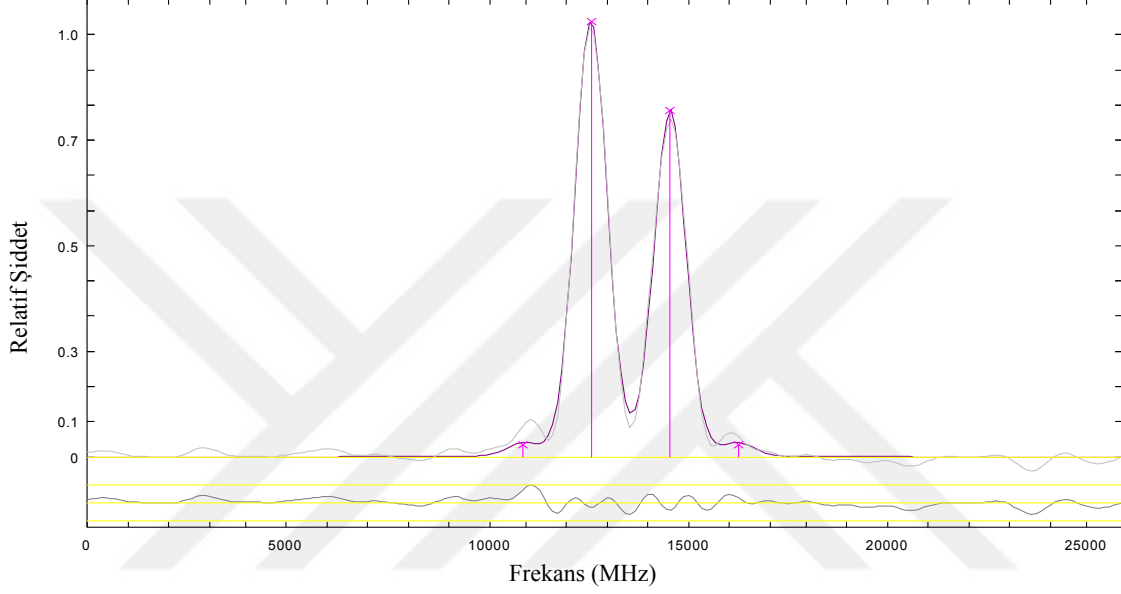


Şekil 4.14: $\lambda = 1657.3177 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.18: $\lambda = 1657.3177 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.

Parametre		Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	890.89 MHz	
Yarı Genişlik (Gauss)	805.07 MHz	
Yarı Genişlik (Lorentz)	155.37 MHz	
Gauss/Voigt	0.904	
$A_{\text{üst}}$	-442(7) MHz	
A_{alt}	-992.4(1.5) MHz	[24]
Kalite	5.43	

31773.780 cm^{-1} ($J=5/2$) enerji seviyesinden 25656.019 cm^{-1} ($J=5/2$) enerji seviyesine aşırı ince yapı geçişinin görüntüsü aşağıda verildi. Teorik ve deneysel geçişler arasındaki fark spektrumun alt kısmında gösterilmiştir. Bu geçişin fit işlemi süresince A_{alt} sabit tutularak, $A_{\text{üst}}$ değeri en iyi şekilde bulundu (Tablo 4.19).

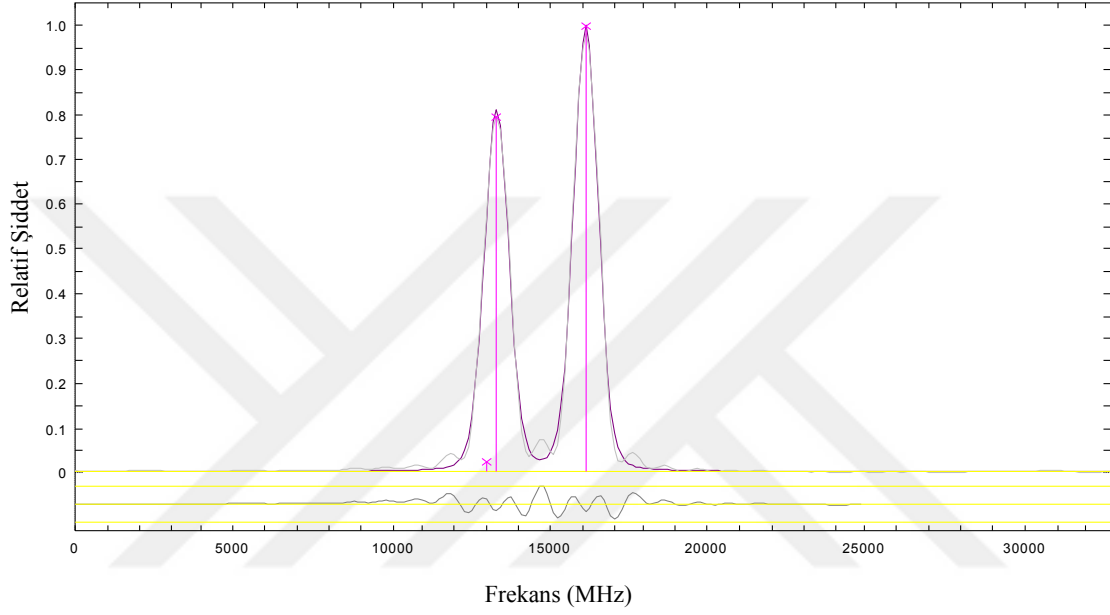


Şekil 4.15: $\lambda = 1634.1548$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.19: $\lambda = 1634.1548$ nm çizgisinin fit sonuçları.

Parametre		Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	938.71 MHz	
Yarı Genişlik (Gauss)	905.59 MHz	
Yarı Genişlik (Lorentz)	61.75 MHz	
Gauss/Voigt	0.965	
$A_{\text{üst}}$	-1241.0(3.9) MHz	
A_{alt}	-410.7(1.4) MHz	[16]
Kalite	15.46	

24246.425 cm^{-1} ($J=7/2$) seviyesinden 17613.659 cm^{-1} ($J=9/2$) seviyesine geçişin aşırı ince yapı spektrumu Şekil 4.16 da gösterilmiştir. $\Delta J = -1$ olduğundan burada üç adet enerji geçişi olasıdır. Fit işleminde alt seviyenin manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A_{alt} sabit tutulduktan sonra üst seviyeye ait manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A_{\text{üst}}$ bulundu (Tablo 4.20).

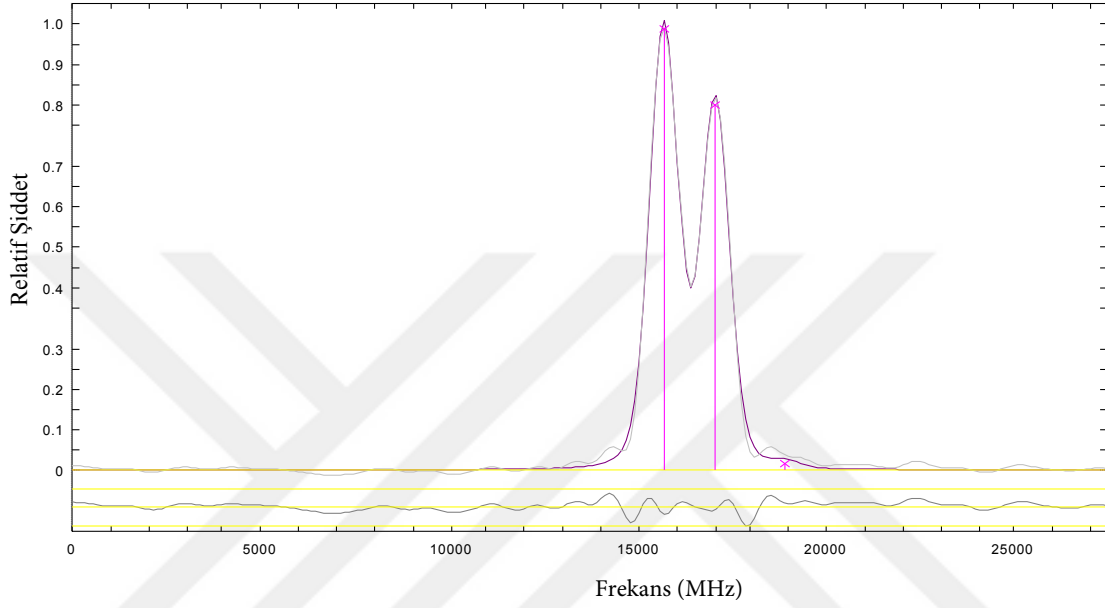


Şekil 4.16: $\lambda = 1507.2587$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.20: $\lambda = 1507.2587$ nm çizgisinin fit sonuçları.

Parametre	Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	909.96 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	832.25 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	141.39 MHz
Gauss/Voigt	0.915
$A_{\text{üst}}$	-82(10) MHz
A_{alt}	-629.25(8) MHz [14]
Kalite	20.02

Şekil 4.17 ile verilen spektrumda 31007.60 cm^{-1} ($J=11/2$) enerji seviyesinden $24348.692 \text{ cm}^{-1}$ ($J=9/2$) seviyesine geçiş gösterilmiştir. Buna göre fit işlemi sonucunda A_{alt} sabit tutulduktan sonra $A_{\text{üst}}$ değeri elde edilmiştir (Tablo 4.21). Bu geçişte $\Delta J = 1$ olduğundan 3 adet geçiş söz konusudur.

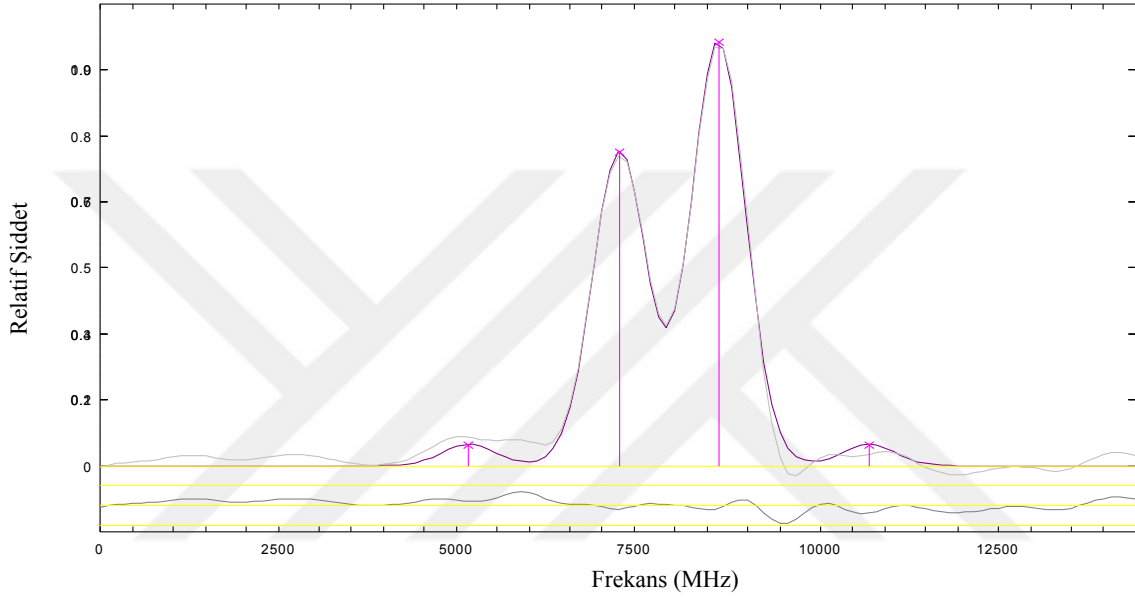


Şekil 4.17: $\lambda = 1501.3416 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.21: $\lambda = 1501.3416 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.

Parametre		Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	897.75 MHz	
Yarı Genişlik (Gauss)	787.89 MHz	
Yarı Genişlik (Lorentz)	196.52 MHz	
Gauss/Voigt	0.878	
$A_{\text{üst}}$	-534.5(2.5) MHz	
A_{alt}	-371.7(1.5) MHz	[33]
Kalite	22.05	

Şekil 4.18 de $32856.613 \text{ cm}^{-1}$ ($J=5/2$) seviyesinden $26126.907 \text{ cm}^{-1}$ ($J=5/2$) seviyesine geçiş gösterilmiştir. Buna göre alt enerji seviyesine ait A_{alt} değeri sabit tutularak, en iyi fit işlemi gerçekleştirilmiş ve fit işlemi sonucunda üst enerji seviyesinin $A_{\text{üst}}$ değeri elde edilmiştir (Tablo 4.22).

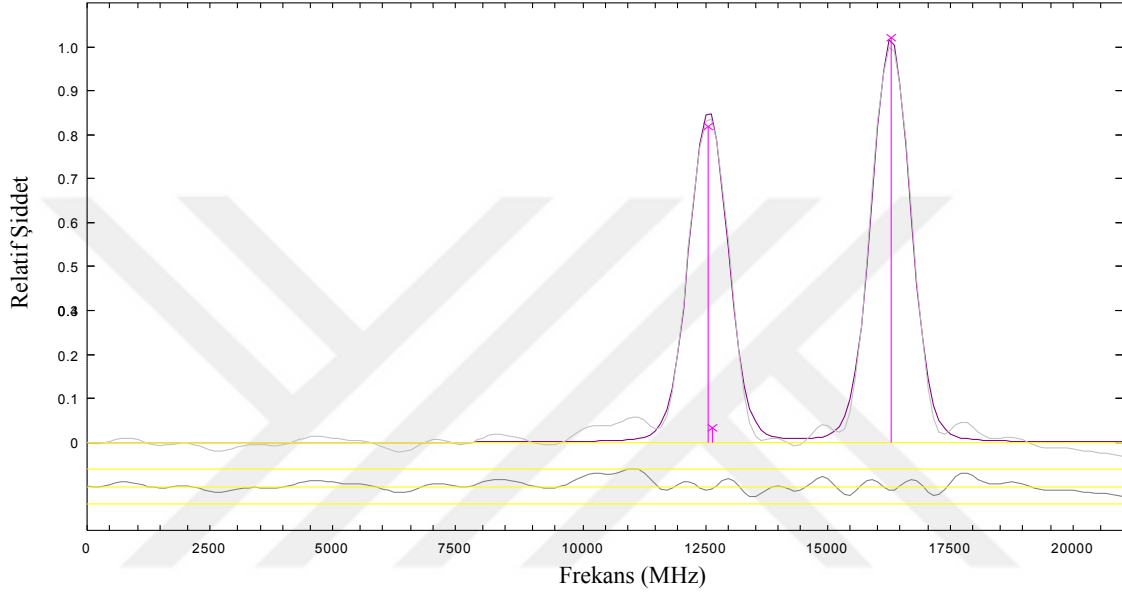


Şekil 4.18: $\lambda = 1485.5518 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.22: $\lambda = 1485.5518 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.

Parametre	Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	888.83 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	877.34 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	21.8 MHz
Gauss/Voigt	0.987
$A_{\text{üst}}$	-701.5(5.9) MHz
A_{alt}	-1161.47(1.2) MHz [33]
Kalite	13.49

$33892.780 \text{ cm}^{-1} (J=5/2) \rightarrow 26439.491 \text{ cm}^{-1} (J=7/2)$ geişı için aşıırı ince yapı spektrumu Şekil 4.19 da gösterilmiştir. Burada alt seviyenin A_{alt} manyetik dipol aşıırı ince yapı sabiti fit işlemi sırasında sabit tutulmuş ve fit işlemi gerçekleştirilerek, buradan üst seviyenin $A_{\text{üst}}$ manyetik dipol aşıırı ince yapı sabiti elde edilmiştir (Tablo 4.23).

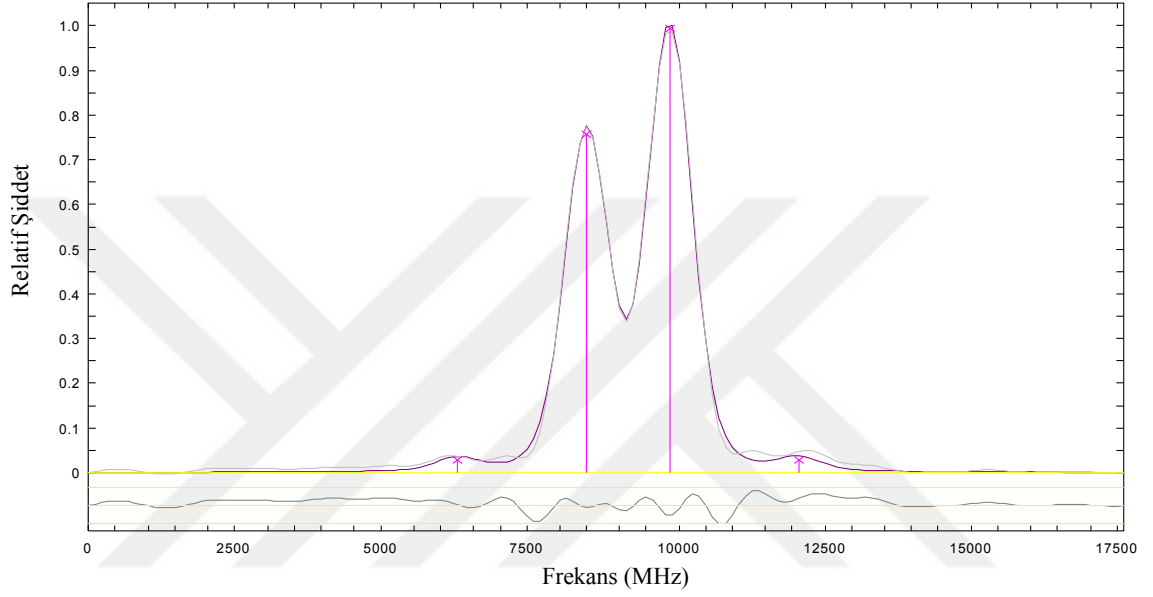


Şekil 4.19: $\lambda = 1458.7593 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.23: $\lambda = 1458.7593 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.

Parametre	Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	892.93 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	834.27MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	107.71 MHz
Gauss/Voigt	0.934
$A_{\text{üst}}$	30.0(5.5)MHz
A_{alt}	-904.98(1.0) MHz [33]
Kalite	12.58

33395.984 cm^{-1} ($J=7/2$) seviyesinden 26439.491 cm^{-1} ($J=7/2$) seviyesine geçiş Şekil 4.20’de gösterilmiş, bu geçişe ait bilgiler tabloda verilmiştir. Fit işlemi ile $A_{\text{üst}}$ değeri ilk kez elde edilmiş, bu işlem sırasında A_{alt} değeri sabit tutulmuştur. $\Delta J = 0$ olduğundan burada dört adet aşırı ince yapı geçişi vardır.

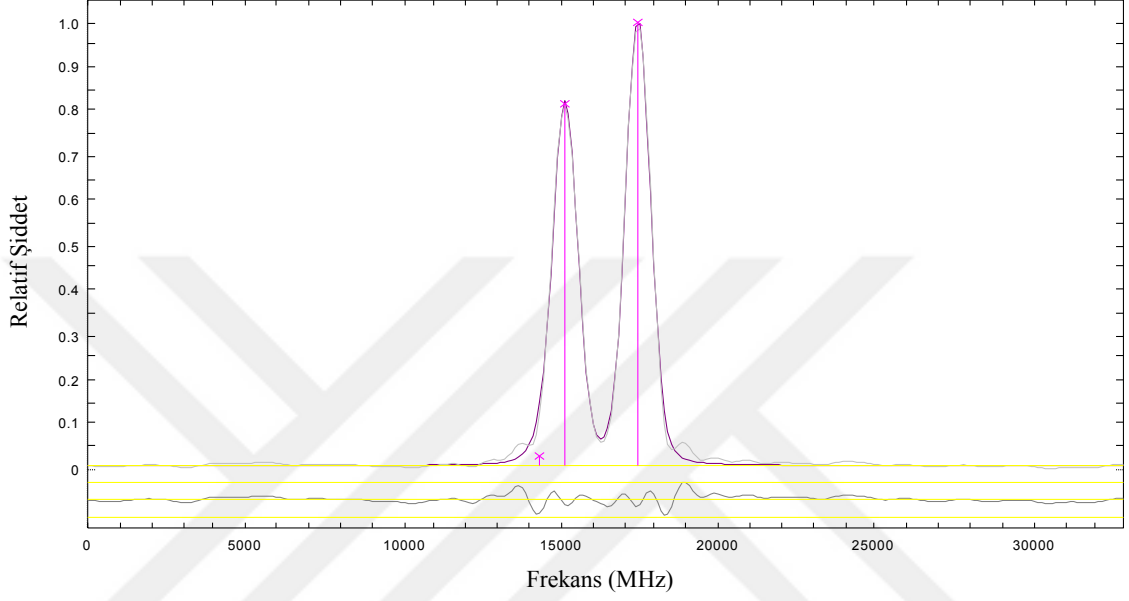


Şekil 4.20: $\lambda = 1437.1168$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.24: $\lambda = 14537.1168$ nm çizgisinin fit sonuçları.

Parametre	Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	896.92 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	783.21 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	203.01 MHz
Gauss/Voigt	0.873
$A_{\text{üst}}$	-551.1(2.6) MHz
A_{alt}	-904.98(1.0) MHz [33]
Kalite	28.07

Şekil 4.21 spektrumu, $24708.041 \text{ cm}^{-1}$ ($J=7/2$) seviyesinden 17613.659 ($J=9/2$) seviyesine aşırı ince yapı geçişinin en iyi fit sonucunu göstermektedir. Burada alt seviyenin A_{alt} manyetik dipol aşırı ince yapı sabitinin bilinmesi yardımıyla fit işlemi ile üst enerji seviyesine ait $A_{\text{üst}}$ manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti ilk defa bulunmuştur.

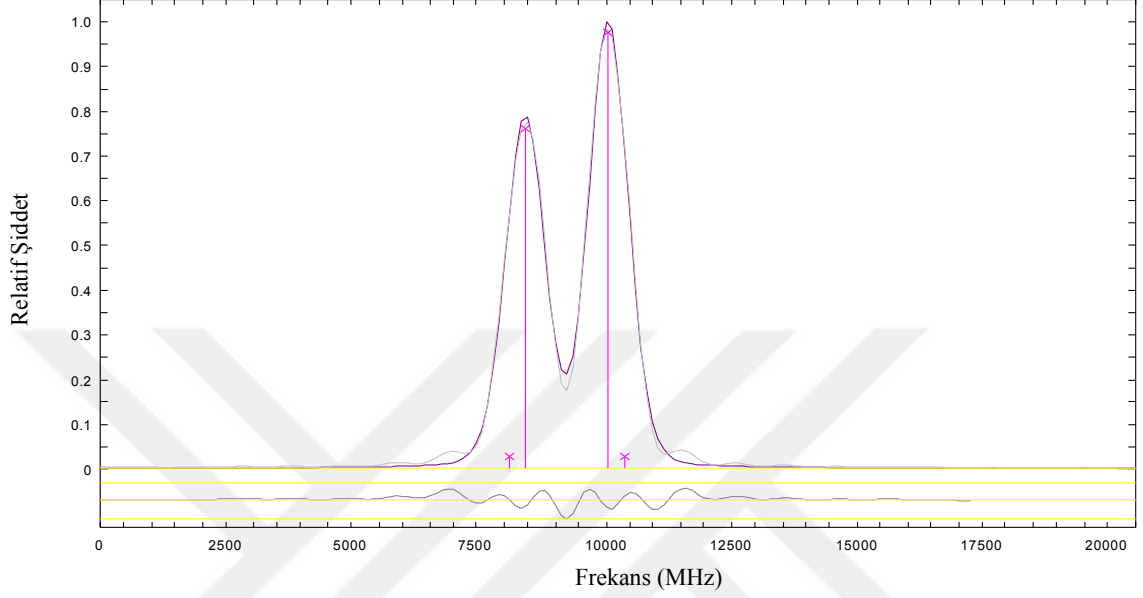


Şekil 4.21: $\lambda = 1409.1790 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.25: $\lambda = 1409.1790 \text{ nm}$ çizgisinin fit sonuçları.

Parametre	Ref.	
Yarı Genişlik (Voigt)	926.81 MHz	
Yarı Genişlik (Gauss)	852.17 MHz	
Yarı Genişlik (Lorentz)	136.11 MHz	
Gauss/Voigt	0.919	
$A_{\text{üst}}$	-207.9(9.4) MHz	
A_{alt}	-629.25(8) MHz	[14]
Kalite	23.42	

24246.425 cm^{-1} ($J = 7/2$) den 16957.006 cm^{-1} ($J = 7/2$) seviyesine aşırı ince yapı geçişi Şekil 4.22 de verilmiştir. Buna göre A_{alt} sabit tutularak $A_{\text{üst}}$ değeri en iyi fit durumu gerçekleştirilerek bu çalışmada ilk kez elde edilmiştir.

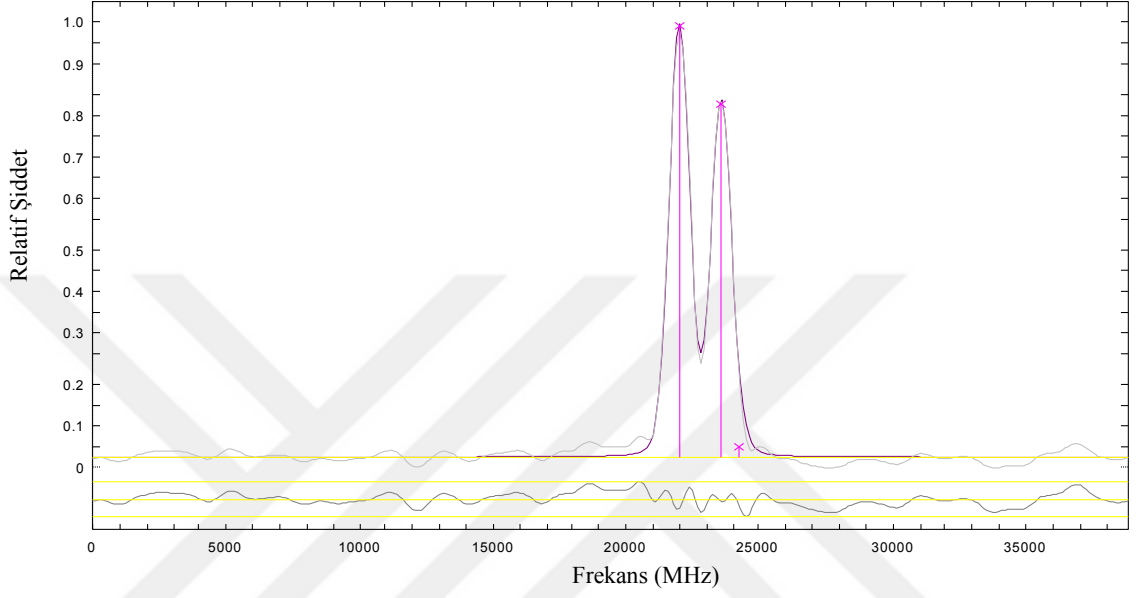


Şekil 4.22: $\lambda = 1371.4798$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.26: $\lambda = 1371.4798$ nm çizgisinin en iyi fit sonucu.

Parametre	Ref.	
Yarı Genişlik (Voigt)	905.49 MHz	
Yarı Genişlik (Gauss)	830.46 MHz	
Yarı Genişlik (Lorentz)	136.68 MHz	
Gauss/Voigt	0.917	
$A_{\text{üst}}$	-80(3) MHz	
A_{alt}	-491.1(1.0) MHz	[16]
Kalite	26.31	

Şekil 4.23 ile $24701.058 \text{ cm}^{-1}$ ($J=9/2$) $\rightarrow$ $17343.374 \text{ cm}^{-1}$ ($J=7/2$) geçişinin aşırı ince yapı geçişinin spektrumunu gösterilmektedir. En iyi fit işleminin gerçekleştirilmesiyle $A_{\text{üst}}$ değeri elde edilmiş olup, fit sırasında A_{alt} değeri sabit tutulmuştur. Deneysel ve teorik spektrum arasındaki fark spektrumun alt bölümünde görülmektedir.

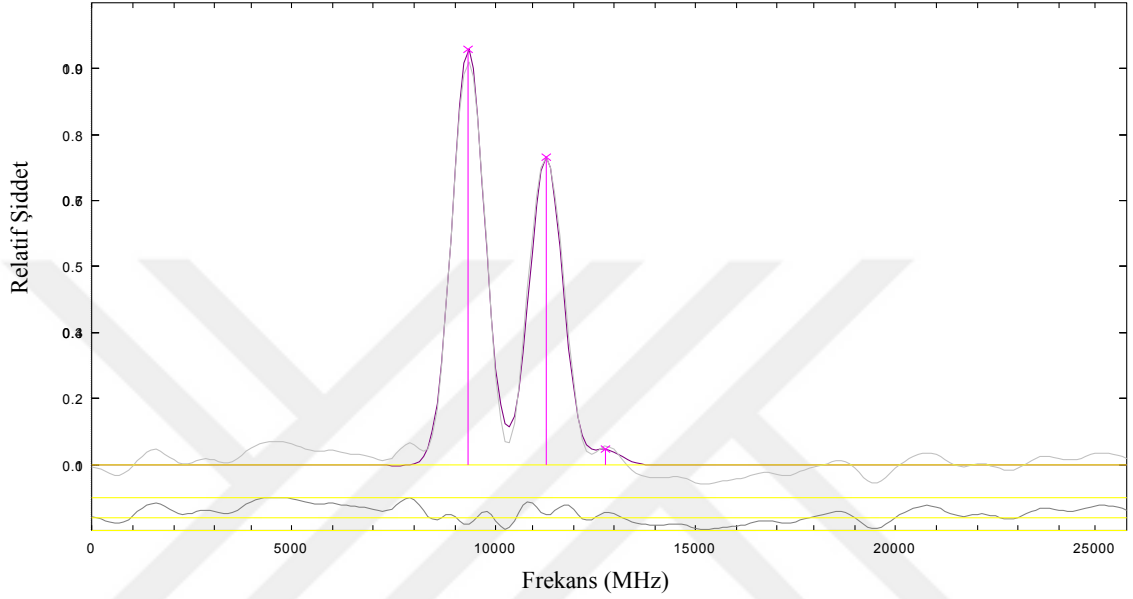


Şekil 4.23: $\lambda = 1358.7519 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.27: $\lambda = 1358.7519 \text{ nm}$ çizgisinin en iyi fit sonucu.

Parametre	Ref.	
Yarı Genişlik (Voigt)	899.02 MHz	
Yarı Genişlik (Gauss)	843.52 MHz	
Yarı Genişlik (Lorentz)	102.11 MHz	
Gauss/Voigt	0.938	
$A_{\text{üst}}$	-447(10) MHz	
A_{alt}	-166.24(8) MHz	[14]
Kalite	12.71	

$33240.362 \text{ cm}^{-1}$ ($J=7/2$) üst enerji seviyesinden $25745.217 \text{ cm}^{-1}$ ($J=5/2$) alt enerji seviyesine geçiş için aşırı ince yapı spektrumu Şekil 4.24 ile gösterilmiştir. Buna göre literatürden alınan A_{alt} değeri fit süresi boyunca sabit tutularak, $A_{\text{üst}}$ değeri fit yardımıyla elde edilmiştir. Bu geçişe ait bilgiler tabloda verilmiştir.

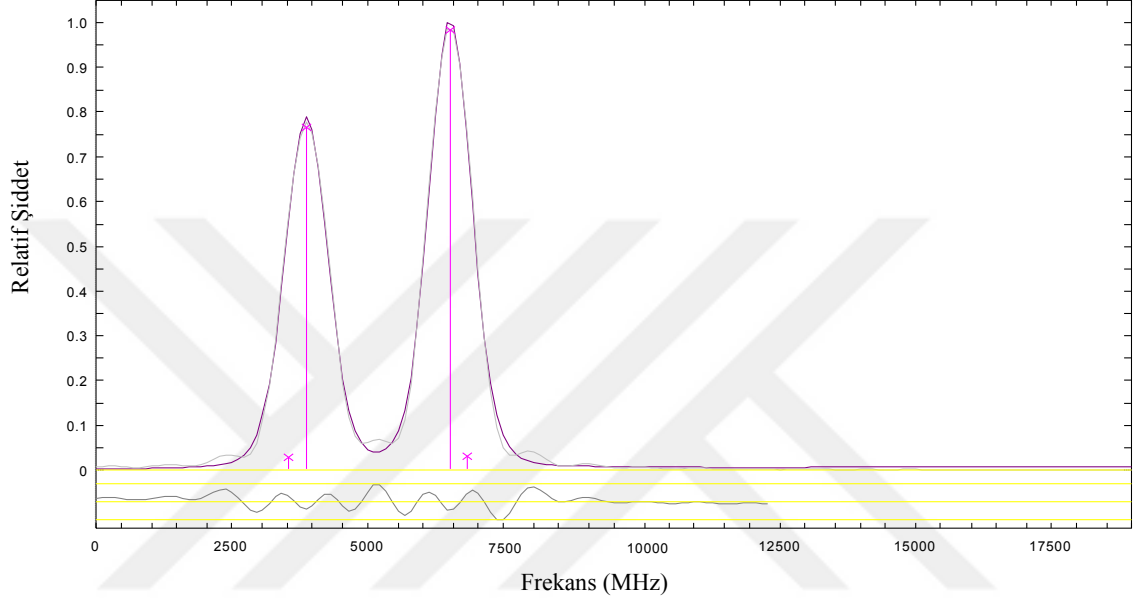


Şekil 4.24: $\lambda = 1333.822 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.28: $\lambda = 1333.822 \text{ nm}$ çizgisinin en iyi fit sonucu.

Parametre	Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	909.92 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	809.44 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	180.73MHz
Gauss/Voigt	0.890
$A_{\text{üst}}$	-856 (6) MHz
A_{alt}	-493.38(1.0) MHz [33]
Kalite	8.2

24246.425 cm⁻¹ ($J=7/2$) seviyesinden 16742.237 cm⁻¹ ($J=7/2$) seviyesine mümkün olan aşırı ince yapı geçişi sayısı dört adet olup, aşırı ince yapı spektrumu Şekil 4.25 ile verilmiştir. Alt enerji seviyesine ait manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A_{alt} geçmiş çalışmalardan alınmış, üst enerji seviyesine ait manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A_{\text{üst}}$ en iyi fit durumu gerçekleştirilerek bu çalışmada ilk defa elde edilmiştir.

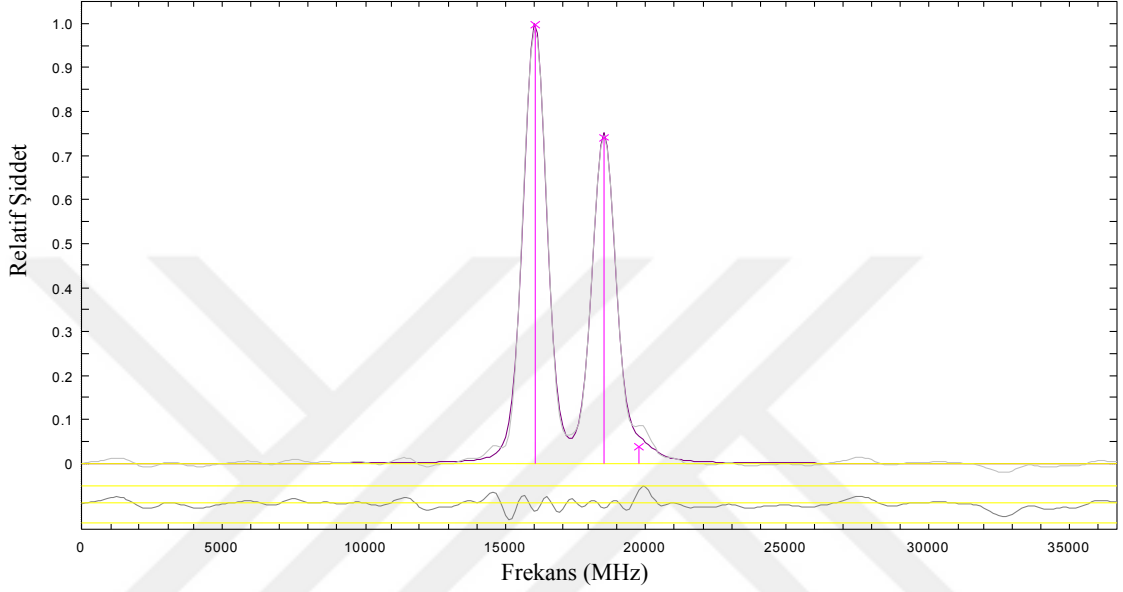


Şekil 4.25: $\lambda = 1332.2277$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.29: $\lambda = 1332.2277$ nm çizgisinin en iyi fit sonucu.

Parametre	Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	923.30 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	841.58 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	148.48 MHz
Gauss/Voigt	0.911
$A_{\text{üst}}$	-81(3) MHz
A_{alt}	-736.6(1.0) MHz [16]
Kalite	28.47

Şekil 4.26 da $33240.362 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 7/2$) seviyesinden $25656.019 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 5/2$) seviyesine geçişin aşırı ince yapı spektrumu görülmektedir. A_{alt} manyetik dipol aşırı ince yapı sabitinin fit işleminde sabit tutulmasıyla, üst seviyenin manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A_{\text{üst}}$ bu çalışmada ilk defa elde edilmiştir. Tabloda bu geçişe ait bazı bilgiler verilmiştir.

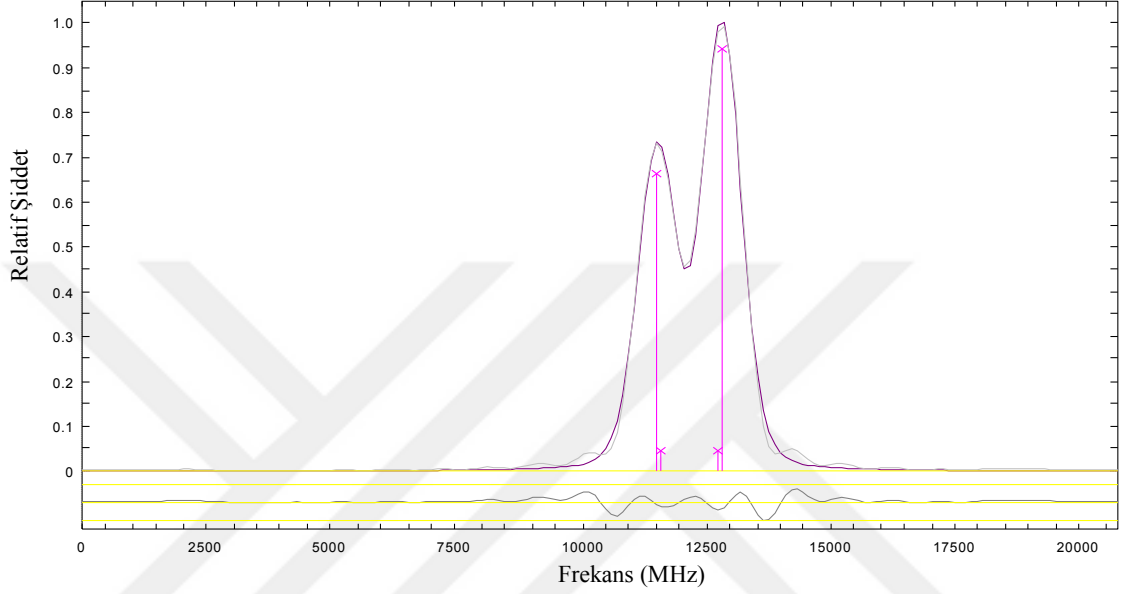


Şekil 4.26: $\lambda = 1318.1521 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.30: $\lambda = 1318.1521 \text{ nm}$ çizgisinin en iyi fit sonucu.

Parametre	Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	937.06 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	834.61 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	184.38 MHz
Gauss/Voigt	0.891
$A_{\text{üst}}$	-922.6(2.9) MHz
A_{alt}	-410.7(1.4) MHz [16]
Kalite	22.49

$33292.780 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 5/2$) enerji seviyesinden $25656.019 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 5/2$) enerji seviyesine geçişteki aşırı ince yapı geçişi Şekil 4.27 de verilmiş olup, A_{alt} fit işleminde sabit tutularak, spektrumun fit işleminin gerçekleşmesiyle, $33292.780 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 5/2$) enerji seviyesine ait manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A_{\text{üst}}$ ilk kez bu çalışmada belirlenmiştir.

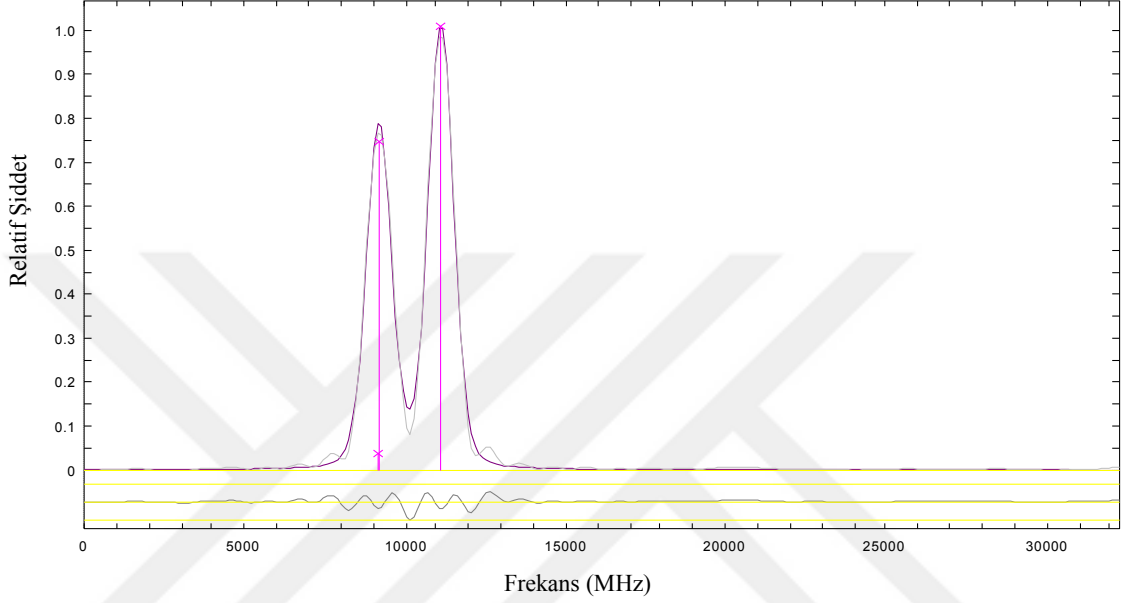


Şekil 4.27: $\lambda = 1309.1045 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.31: $\lambda = 1309.1045 \text{ nm}$ çizgisinin en iyi fit sonucu.

Parametre	Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	925.89 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	821.01 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	188.42MHz
Gauss/Voigt	0.887
$A_{\text{üst}}$	25.9(3.7) MHz
A_{alt}	-410.7(1.4) MHz [16]
Kalite	28.42

$24611.303 \text{ cm}^{-1} (J=5/2) \rightarrow 16957.006 \text{ cm}^{-1} (J=7/2)$ geçişine ait aşırı ince yapı geçişinin spektrumu Şekil 4.28 ile verilmiştir. $\Delta J = -1$ olduğundan üç tane aşırı ince yapı geçişi vardır. En iyi fit işlemi ile literatürden alınan A_{alt} değeri sabit tutuldu, üst seviye $24611.303 \text{ cm}^{-1} (J=5/2)$ ye ait $A_{\text{üst}}$ değeri belirlendi ve tabloda bu geçişe ait özellikler sıralandı.

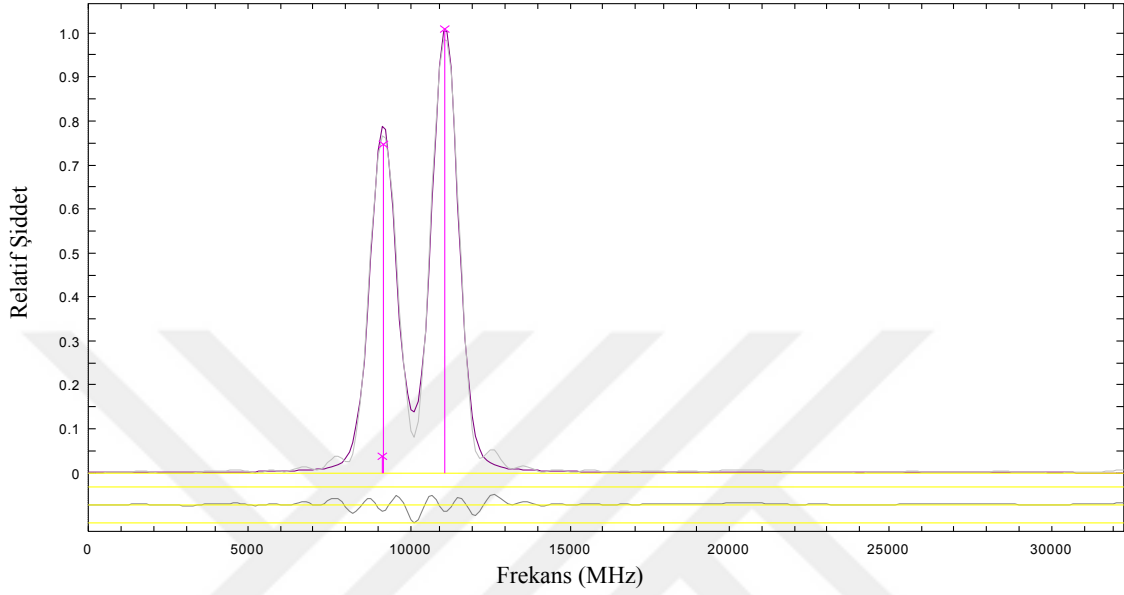


Şekil 4.28: $\lambda = 1306.0984 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.32: $\lambda = 1306.0984 \text{ nm}$ çizgisinin en iyi fit sonucu.

Parametre	Ref.	
Yarı Genişlik (Voigt)	928.5 MHz	
Yarı Genişlik (Gauss)	828.12 MHz	
Yarı Genişlik (Lorentz)	180.73 MHz	
Gauss/Voigt	0.892	
$A_{\text{üst}}$	-10.4(3.1) MHz	
A_{alt}	-491.1(1.0) MHz	[16]
Kalite	19.76	

27440.858 cm^{-1} ($J=9/2$) den 19753.83 cm^{-1} ($J=7/2$) seviyesine geçişe ait aşırı ince yapı geii ekil 4.29 da verildi ve en iyi fit durumunda A_{alt} değeri sabit tutularak, st seviyeye ait manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A_{\text{st}}$ belirlendi. Tabloda bu geçişe ait özellikler belirtildi.

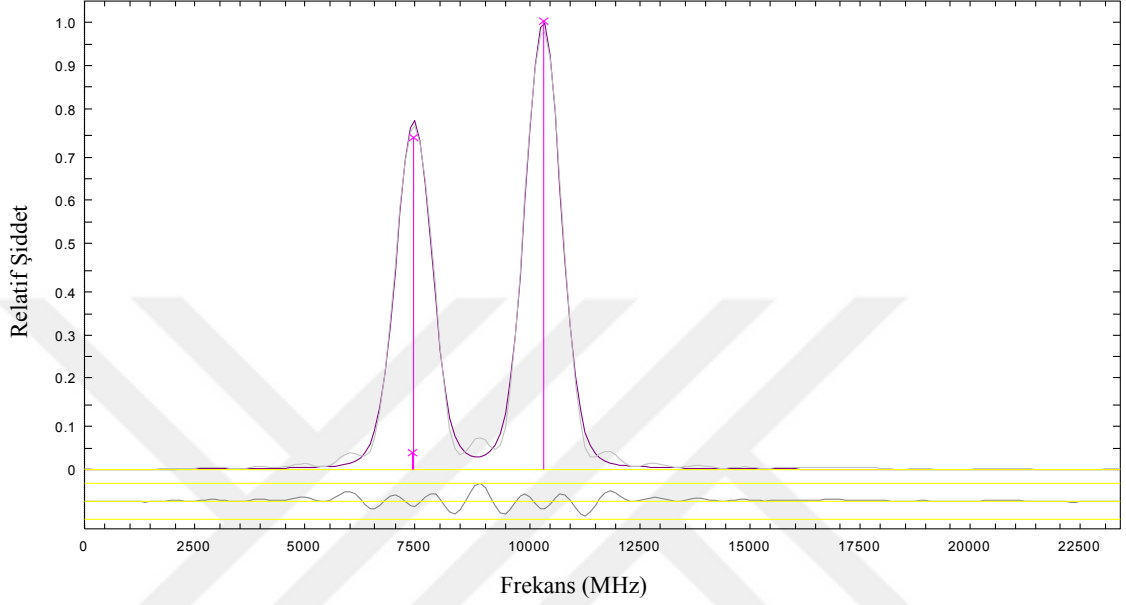


Şekil 4.29: $\lambda = 1300.5400$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.33: $\lambda = 1300.5400$ nm çizgisinin en iyi fit sonucu.

Parametre		Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	922.65 MHz	
Yarı Genişlik (Gauss)	821.07 MHz	
Yarı Genişlik (Lorentz)	182.74MHz	
Gauss/Voigt	0.89	
$A_{\text{st}}$	-163(10) MHz	
A_{alt}	-536.6(9) MHz	[13]
Kalite	29.7	

Şekil 4.30 da $24611.303 \text{ cm}^{-1}$ ($J=5/2$) seviyesinden $16742.237 \text{ cm}^{-1}$ ($J=7/2$) seviyesine geçişin aşırı ince yapı spektrumu gösterildi ve geçmiş çalışmadan alınan A_{alt} değeri yardımıyla en iyi fit işlemi gerçekleştirilerek üst seviyeye ait manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A_{\text{üst}}$ ilk olarak bu tez çalışmasında belirtildi.

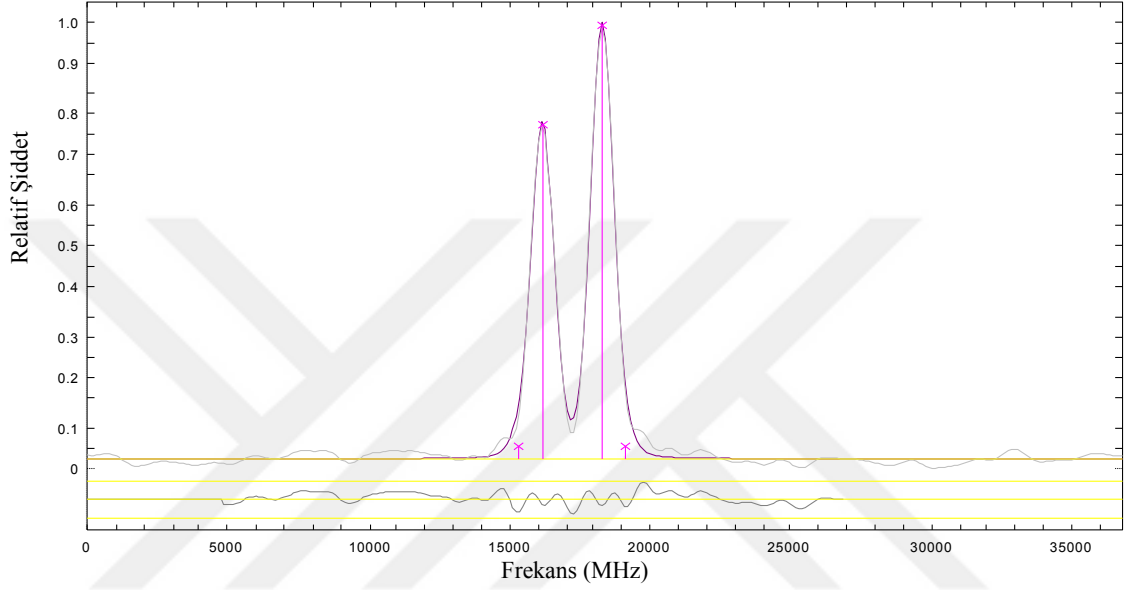


Şekil 4.30: $\lambda = 1270.4512 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.34: $\lambda = 1270.4512 \text{ nm}$ çizgisinin en iyi fit sonucu.

Parametre	Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	938.4 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	851.41 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	157.74 MHz
Gauss/Voigt	0.907
$A_{\text{üst}}$	-9.3(3.6) MHz
A_{alt}	-736.6(1.0) MHz [16]
Kalite	22.05

24708.041 cm^{-1} ($J=7/2$) üst enerji seviyesinden 16742.237 cm^{-1} ($J=7/2$) alt enerji seviyesine geçişteki aşırı ince yapı geçişinin gösterimi Şekil 4.31 de spektrum olarak belirtilmiştir. Alt enerji seviyesinin hfs sabiti A_{alt} fit işlemi süresince sabit tutulduktan sonra, fit işleminin tamamlanmasıyla alt enerji seviyesine ait $A_{\text{üst}}$ manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti en iyi haliyle hesaplanmıştır.

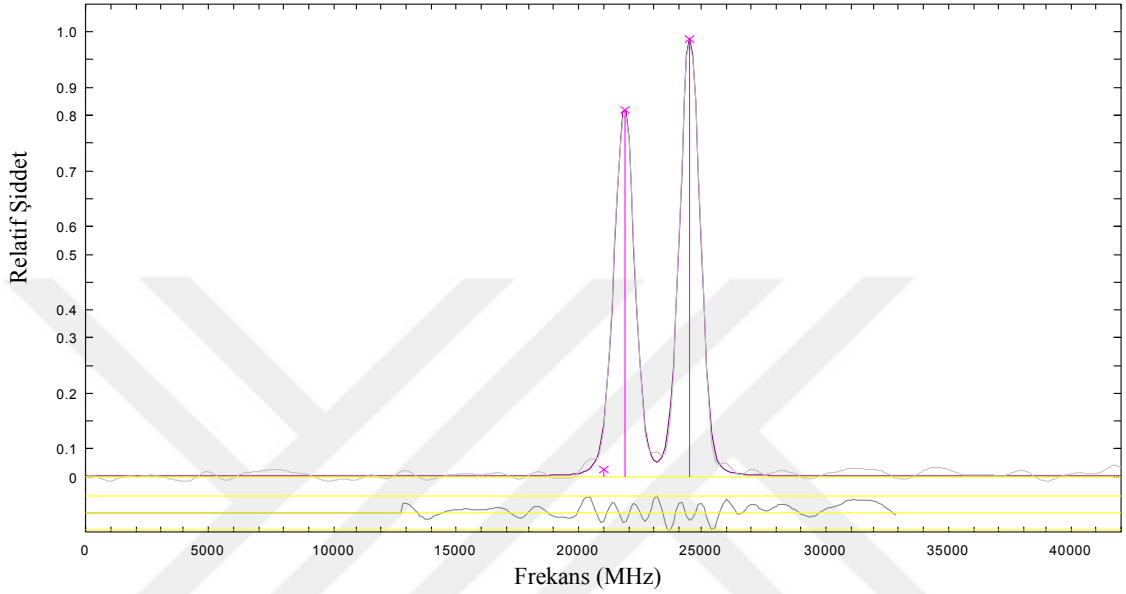


Şekil 4.31: $\lambda = 1255.0206$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.35: $\lambda = 1255.0206$ nm çizgisinin en iyi fit sonucu.

Parametre	Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	959.24 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	902.5 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	104.5 MHz
Gauss/Voigt	0.941
$A_{\text{üst}}$	-207.9(3.5) MHz
A_{alt}	-736.6(1.0) MHz [16]
Kalite	17.36

Şekil 4.32 ile $27440.858 \text{ cm}^{-1}$ ($J=9/2$) enerji seviyesinden $18990.406 \text{ cm}^{-1}$ ($J=11/2$) enerji seviyesine geçişteki aşırı ince yapı spektrumu verilmiştir. Burada literatür çalışmalarından elde edilen, alt seviyeye ait manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A_{alt} sabit tutularak, fit işlemi ile üst seviyenin manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti olan $A_{\text{üst}}$ değeri elde edilmiştir.

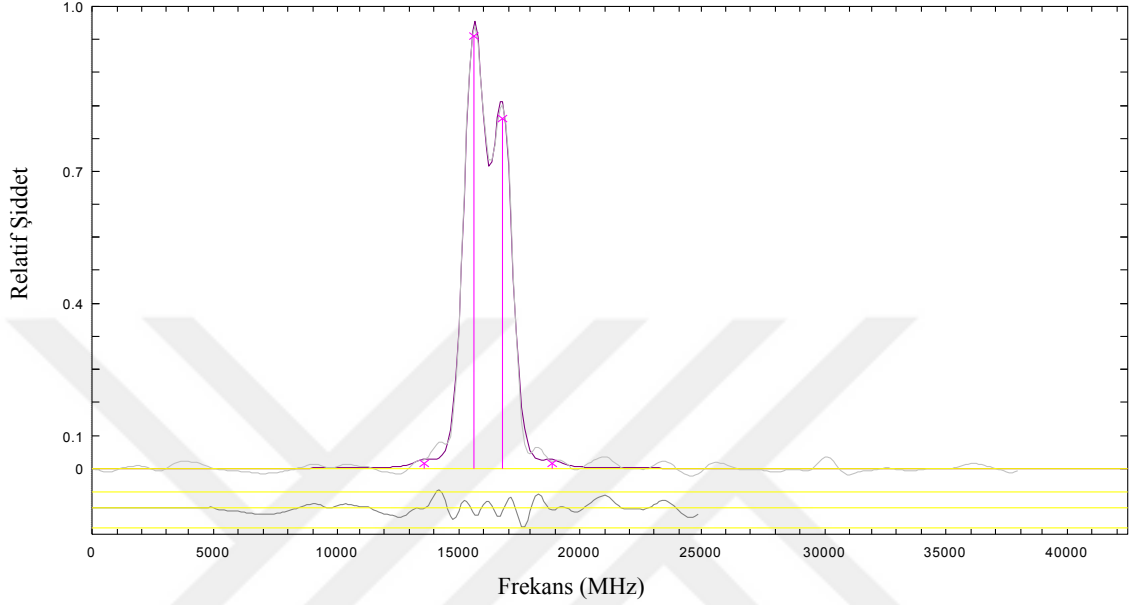


Şekil 4.32: $\lambda = 1183.0477 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.36: $\lambda = 1183.0477 \text{ nm}$ çizgisinin en iyi fit sonucu.

Parametre	Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	945.43 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	882.45 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	115.6 MHz
Gauss/Voigt	0.933
$A_{\text{üst}}$	-167.1(2.7) MHz
A_{alt}	-581.4(1.3) MHz [24]
Kalite	24.97

Şekil 4.33’de 31007.60 cm^{-1} ($J = 11/2$) enerji seviyesinden $21997.473 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 11/2$) seviyesine geçişi göstermektedir. Fit işlemi sonucunda A_{alt} değerinin sabit tutulmasıyla üst seviyeye ait hfs sabiti $A_{\text{üst}}$ değeri saptanmıştır.

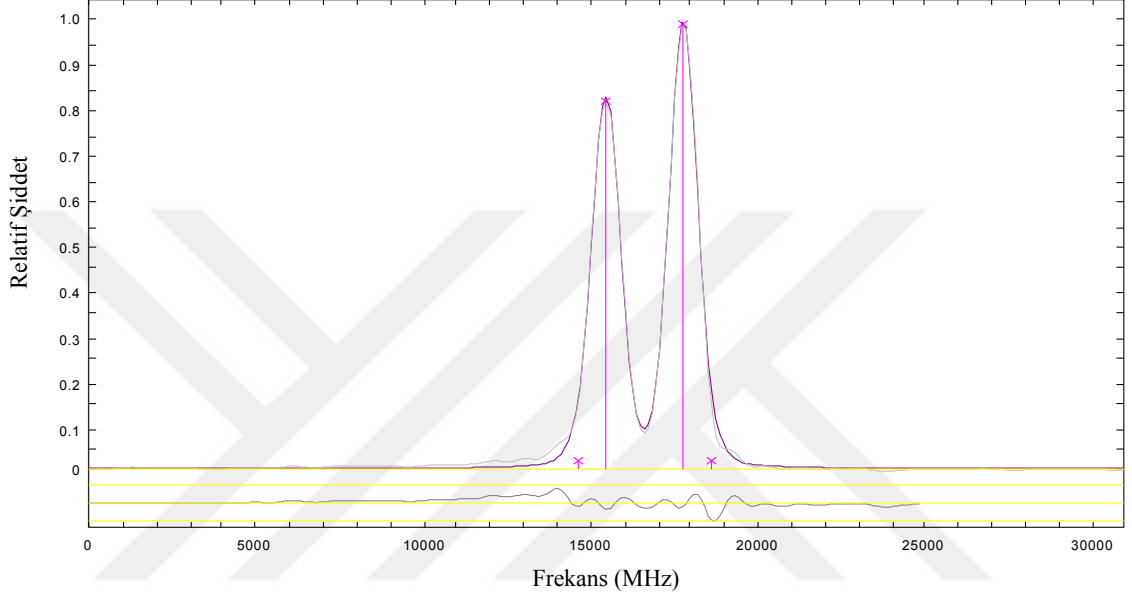


Şekil 4.33: $\lambda = 1109.56 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.37: $\lambda = 1109.56 \text{ nm}$ çizgisinin en iyi fit sonucu.

Parametre	Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	982.31 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	906.3 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	138.8 MHz
Gauss/Voigt	0.923
$A_{\text{üst}}$	-534.4(2.7) MHz
A_{alt}	-342.8(1.3) MHz [28]
Kalite	21.87

27440.858 cm^{-1} ($J=9/2$) enerji seviyesinden 17613.659 cm^{-1} ($J=9/2$) seviyesine geçişten elde edilen aşırı ince yapı spektrumunun görünümü Şekil 4.34’de verilmiştir. Buna göre en iyi fit işlemi sonucunda Tm elementine dait gerçekleştirilen literatür taraması ile alınan A_{alt} alt seviye manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti, fit boyunca sabit tutulmuş ve üst seviyenin manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A_{\text{üst}}$ elde edilmiştir.

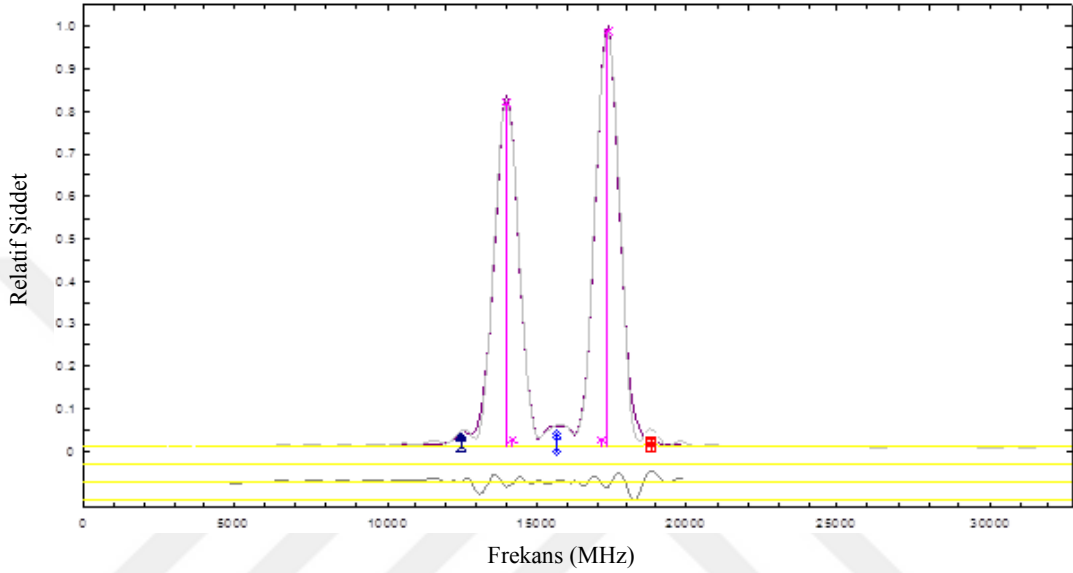


Şekil 4.34: $\lambda = 1017.3065$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.38: $\lambda = 1017.3065$ nm çizgisinin en iyi fit sonucu.

Parametre	Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	997.66 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	905.01 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	168 MHz
Gauss/Voigt	0.907
$A_{\text{üst}}$	-169(9) MHz
A_{alt}	-629.25(8) MHz [14]
Kalite	27.34

22419.764 cm^{-1} ($J=9/2$) enerji seviyesinden 17613.659 cm^{-1} ($J=9/2$) enerji seviyesine geçişe ait aşırı ince yapı geçişi aşağıdaki şekil 4.35 ile verilmiştir. Burada alt enerji seviyesinin manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A_{alt} fit işlemi suresince sabit tutularak, st seviyenin hfs sabiti $A_{\text{st}}$ bulunmuştur.

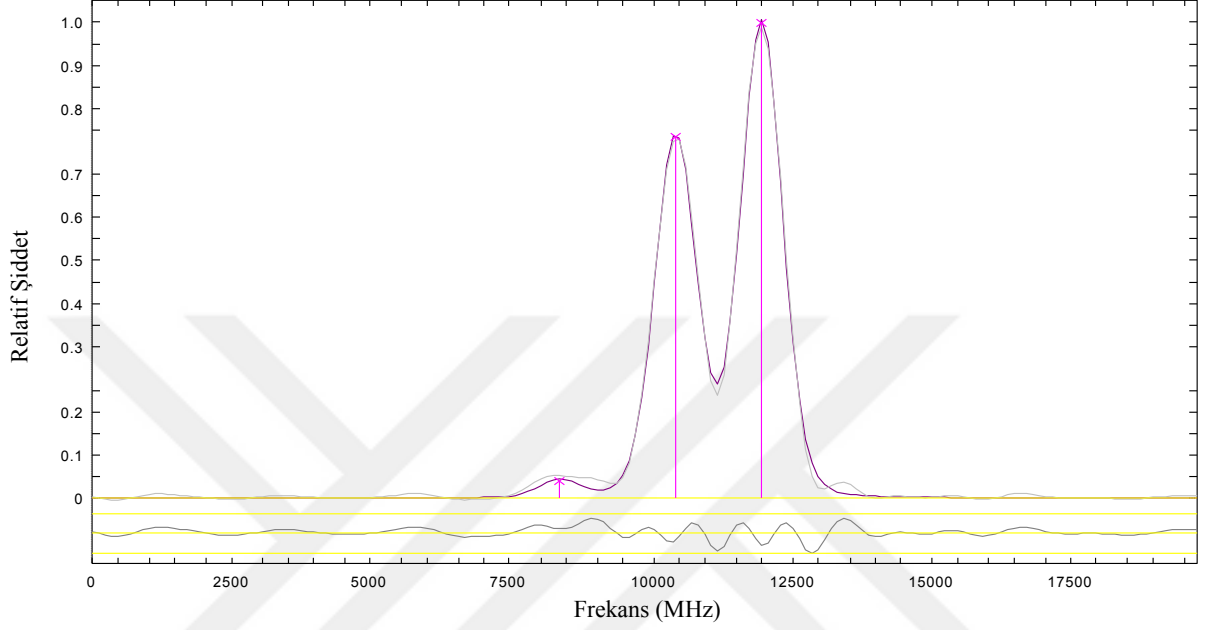


şekil 4.35: $\lambda=2080.1260$ nm çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.39: $\lambda = 2080.1260$ nm çizgisinin en iyi fit sonucu.

Parametre	Ref.	
Yarı Genişlik (Voigt)	886.14 MHz	
Yarı Genişlik (Gauss)	806.51 MHz	
Yarı Genişlik (Lorentz)	144.59 MHz	
Gauss/Voigt	0.91	
$A_{\text{st}}$	41(8) MHz	
A_{alt}	-629.25(8) MHz	[14]
Kalite	25.26	

Şekil 4.36’da $32856.613 \text{ cm}^{-1}$ ($J=5/2$) enerji seviyesinden $26439.491 \text{ cm}^{-1}$ ($J=7/2$) enerji seviyesine geçişteki aşırı ince yapı geçişi gösterilmiştir. Fit işlemi ile alt seviyenin manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A_{alt} sabit tutulup, üst seviyenin hfs sabiti $A_{\text{üst}}$ değeri elde edilmiştir.

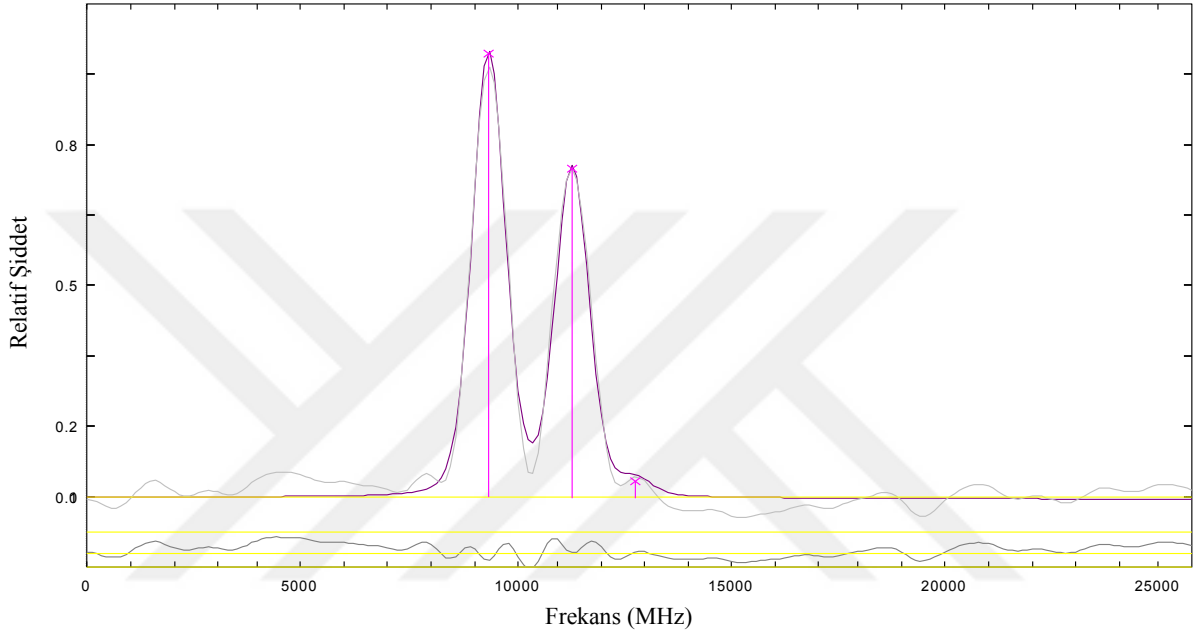


Şekil 4.36: $\lambda = 1557.9107 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.40: $\lambda = 1557.9107 \text{ nm}$ çizgisinin en iyi fit sonucu.

Parametre	Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	884.35 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	825.53 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	107.97 MHz
Gauss/Voigt	0.933
$A_{\text{üst}}$	-695.6(3.0)MHz
A_{alt}	-904.98(1.00) MHz [33]
Kalite	28.07

$33240.362 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 7/2$) enerji seviyesinden $25745.117 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 5/2$) enerji seviyesine geçişteki aşırı ince yapı spektrumu Şekil 4.37’de verilmiştir. Buna göre $\Delta J=1$ olduğu için burada 3 adet aşırı ince yapı geçişi mümkündür. Alt seviyeye ait hfs sabiti A_{alt} fit işleminde sabit tutulduktan sonra üst enerji seviyesinin manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A_{\text{üst}}$ belirlenmiştir.

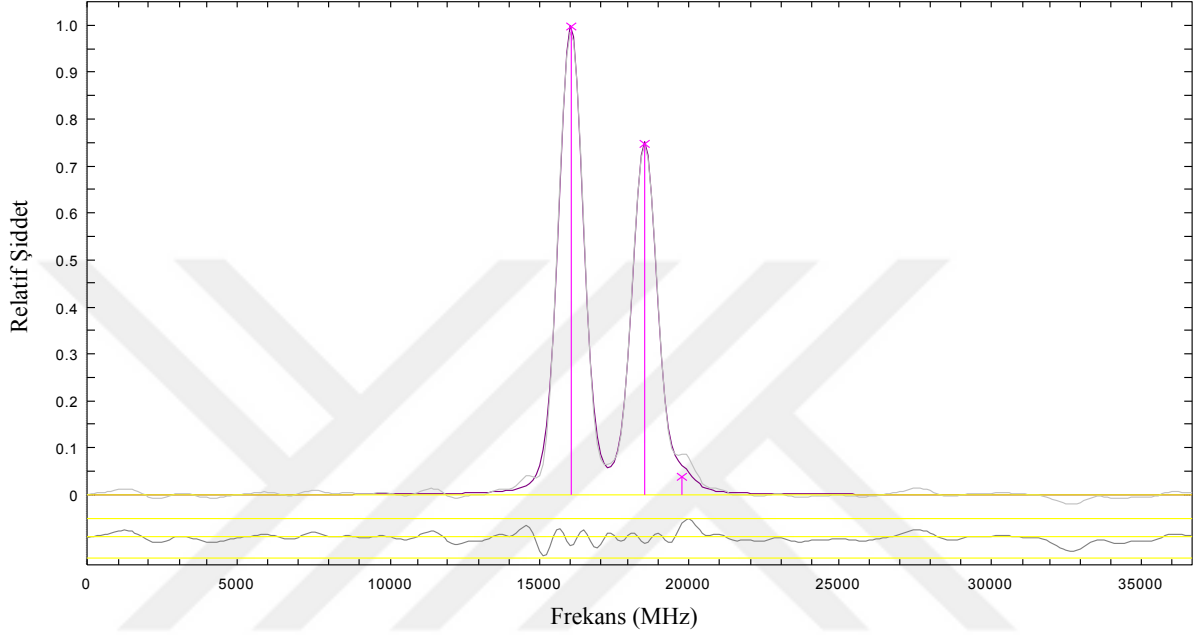


Şekil 4.37: $\lambda = 1333.8216 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.41: $\lambda = 1333.8216 \text{ nm}$ çizgisinin en iyi fit sonucu.

Parametre	Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	909.92 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	809.44 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	180.73 MHz
Gauss/Voigt	0.890
$A_{\text{üst}}$	-854(6)MHz
A_{alt}	-493.38(1.00) MHz [33]
Kalite	7.88

$33240.362 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 7/2$) enerji seviyesinden $26701.325 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 7/2$) enerji seviyesine geçişteki aşırı ince yapı spektrumu Şekil 4.38’de verilmiştir. Alt seviyeye ait literatürden alınan manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A_{alt} fit işleminde sabit tutulduktan sonra en iyi fit sonucunda üst enerji seviyesinin manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A_{\text{üst}}$ belirlenmiştir.

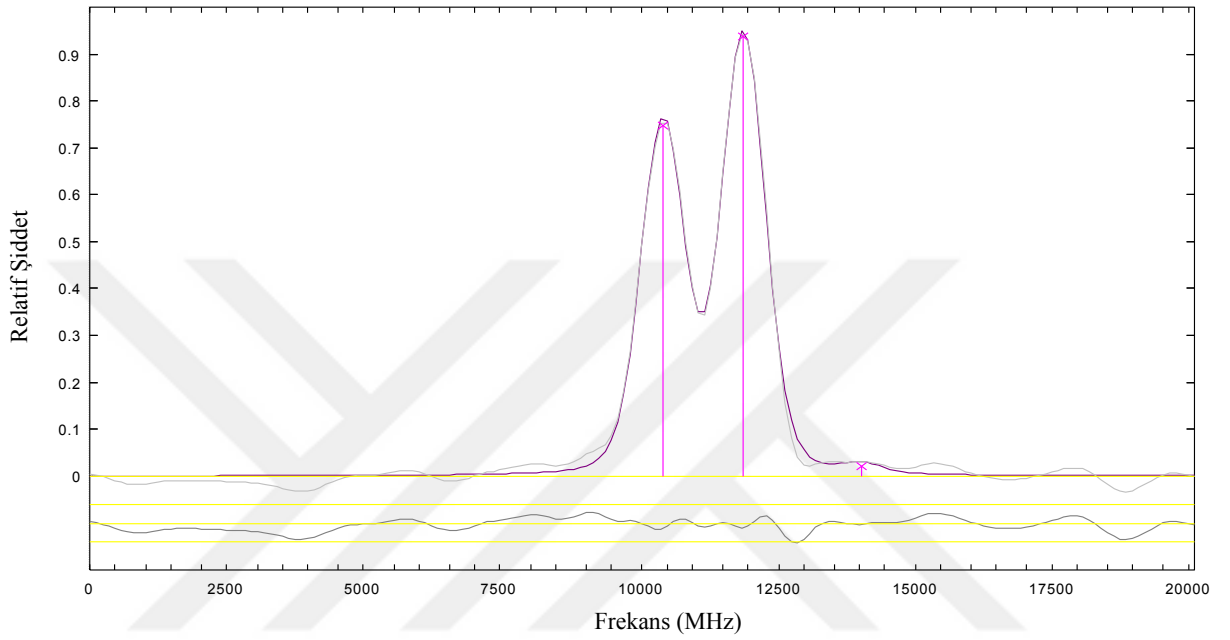


Şekil 4.38: $\lambda = 1528.8724 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.42: $\lambda = 1528.8724 \text{ nm}$ çizgisinin en iyi fit sonucu.

Parametre	Ref.
Yarı Genişlik (Voigt)	938.71MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	905.59MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	61.75MHz
Gauss/Voigt	0.965
$A_{\text{üst}}$	-921(18)MHz
A_{alt}	-410.7(1.4)MHz [16]
Kalite	22.49

Şekil 4.39’da, $34587.982 \text{ cm}^{-1}$ ($J=9/2$) $\rightarrow$ $26439.491 \text{ cm}^{-1}$ ($J=7/2$) geçişinin aşırı ince yapı spektrumu verilmektedir. Buna göre fit işlemi ile Tulyum elementine ait literatürden alınan alt seviye manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A_{alt} sabit tutularak, üst seviyeye ait $A_{\text{üst}}$ manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti elde edildi ve tabloda bu geçişin bilgileri verildi.

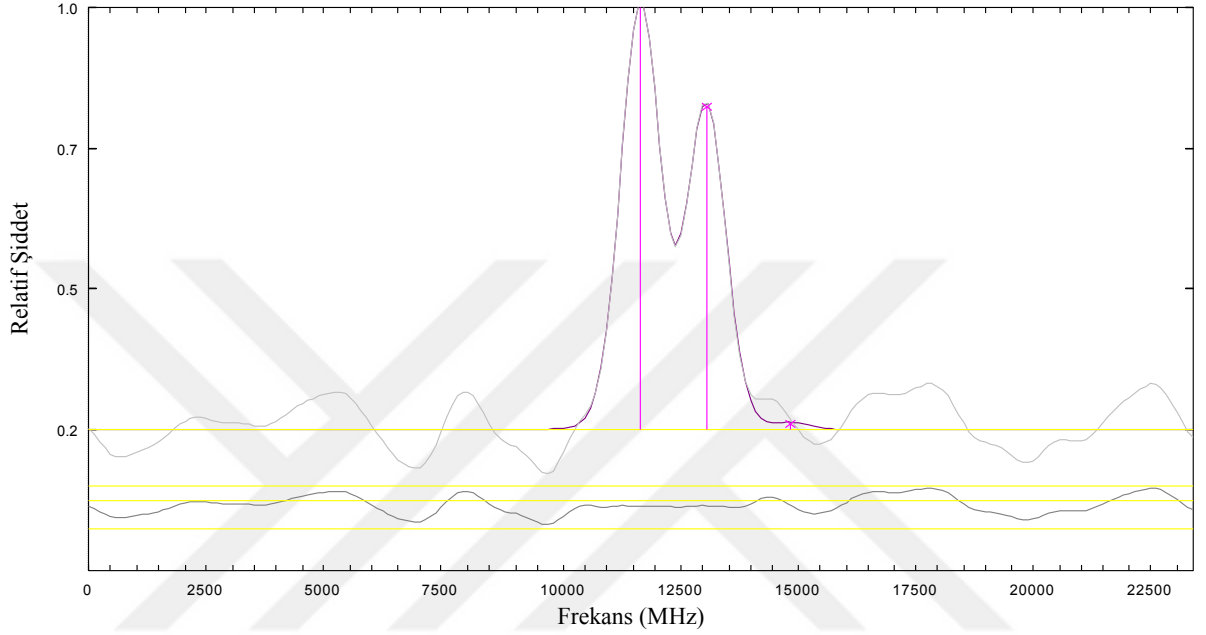


Şekil 4.39: $\lambda = 1226.855 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.43: $\lambda = 1226.855 \text{ nm}$ çizgisinin en iyi fit sonucu.

Parametre	Ref.	
Yarı Genişlik (Voigt)	942.3 MHz	
Yarı Genişlik (Gauss)	826.78 MHz	
Yarı Genişlik (Lorentz)	206.68 MHz	
Gauss/Voigt	0.877	
$A_{\text{üst}}$	-430.6(3.1) MHz	
A_{alt}	-904.98(1.00) MHz	[33]
Kalite	16.46	

Şekil 4.40'da 31007.60 cm^{-1} ($J=7/2$) $\rightarrow$ $21737.685 \text{ cm}^{-1}$ ($J=9/2$) geçişine ait aşırı ince yapı spektrumu verilmiştir. Tulyumun geçmiş literatür taramasından elde edilen A_{alt} değeri fit işlemi süresince sabit tutularak fit işlemi gerçekleştirilmiş ve üst enerji seviyesine ait $A_{\text{üst}}$ değeri elde edilmiştir. $\Delta J = -1$ olduğundan burada üç adet aşırı ince yapı geçişi mümkündür.



Şekil 4.40: $\lambda = 1078.4644 \text{ nm}$ çizgisinin fit edilmiş hali.

Tablo 4.44: $\lambda = 1078.4644 \text{ nm}$ çizgisinin en iyi fit sonucu.

Parametre	Ref.	
Yarı Genişlik (Voigt)	984.43 MHz	
Yarı Genişlik (Gauss)	960.76 MHz	
Yarı Genişlik (Lorentz)	44.42 MHz	
Gauss/Voigt	0.976	
$A_{\text{üst}}$	-530.4(7.7) MHz	
A_{alt}	-357.1(1.5) MHz	[13]
Kalite	4.5	

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tulyum elementinin $3500\text{ cm}^{-1} - 10000\text{ cm}^{-1}$ dalga sayısı aralığındaki spektrumu Fourier Transform Spektroskopisi yöntemi ile elde edildi. Spektrum Ar ve Ne soygazları kullanılarak iki kez alındı.

Yakın ve orta kırmızı altı spektral bölgesindeki çizgileri analiz etmek için Klasifikasyon programı kullanıldı [2,3]. Literatür taramasından elde edilen veriler kullanılarak giriş dosyaları oluşturuldu ve iki farklı soygaz ile alınan spektrumlar üstüste bindirildi.

Spektral çizgi analizi sonucu toplam 1148 çizgi incelendi. 630 tane çizgi Tm I, 63 tane çizgi ise Tm II olarak ilk defa bu çalışmada sınıflandırıldı. 356 yeni spektral çizgi Tm I veya Tm II olarak isimlendirildi. Tüm incelenen çizgiler Tablo 4.1, Tablo 4.2 ve Tablo 4.3’de verildi.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde, FT spektrumundan Origin pogramı ile kesilen 41 tane spektral çizginin aşırı ince yapı analizi Fitter programı [5] yardımı ile yapıldı. 13 ince yapı enerji seviyesi için bilinmeyen manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri ilk defa bu çalışmada belirlendi. İlk defa bu çalışmada belirlenen enerji seviyelerine ait manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti Tablo 5.1’de verildi.

Literatürde daha önceden yanlış olarak belirlenmiş iki manyetik dipol aşırı ince yapı sabitinin değeri bu çalışmada düzeltildi.

Bu tezde elde edilen yeni sınıflandırma ve aşırı ince yapı verileri, tulyum elementi için atom veritabanlarına önemli bir katkı sağlamaktadır. 365 tane sınıflandırılmamış yeni spektral çizginin varlığı tulyum elementinin henüz bilinmeyen ince yapı enerji seviyelerinin varlığının bir kanıtıdır. Farklı spektral bölgelerde yeni analizlerin yapılması ve yüksek çözünürlüklü Laser ile Uyarılmış Floresans Spektroskopisi (LIFS) yöntemiyle yeni seviyelerin araştırılması daha sonraki çalışmalar için önemli bir motivasyondur.

Tablo 5.1: İlk defa bu çalışmada belirlenen manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri.

Konfigürasyon	Terim	J	E / cm^{-1}	λ / nm	A / MHz	$A_{\text{ort}} / \text{MHz}$
$4f^{13}(^2F_{7/2})5d6s (^3D)$	$^3[11/2]^0$	4.5	22419.764	2080.126	41 (8)	40.7 (1.6)
				1830.082	40.4 (2.1)	
				1760.853	41.1 (2.4)	
$4f^{13}(^2F_{7/2})5d6s (^3D)$	$^3[7/2]^0$	2.5	24611.303	1306.098	-10.4 (3.1)	-9.9 (2.3)
				1270.451	-9.3 (3.6)	
$4f^{13}(^2F_{5/2})5d6s (^3D)$	$^3[9/2]^0$	4.5	24701.058	2018.626	-440.6 (4.7)	-441.8 (4.2)
				1358.752	-447 (10)	
$4f^{13}(^2F_{7/2})5d6s (^3D)$	$^3[7/2]^0$	3.5	24708.041	2017.932	-200 (11)	-207 (2.8)
				2015.781	-206.2 (6.4)	
				1409.179	-208 (10)	
				1255.021	-207.9 (3.5)	
$4f^{13}(^2F_{7/2})5d6s (^1D)$	$^1[9/2]^0$	4.5	27440.858	1300.540	-163 (10)	-166.8 (2.4)
				1183.048	-167.1 (2.7)	
				1162.005	-164 (10)	
				1017.307	-169 (9)	
$4f^{13}(^2F_{5/2})5d6s (^3D)$	$^3[9/2]^0$	3.5	30921.58	2230.501	-80.1 (4.3)	-80.9 (2.8)
				1898.626	-81.5 (3.7)	
$4f^{12}(^3H_5)6s^2 6p_{1/2}$	$(5,1/2)^0$	5.5	31007.60	1501.342	-534.5 (2.5)	-534.2 (1.8)
				1109.560	-534.4 (2.7)	
				1078.464	-530.4 (7.7)	
$4f^{13}(^2F_{5/2})5d6s (^3D)$	$^3[3/2]^0$	2.5	31773.780	1658.307	-1155.1 (7.5)	-1222.7 (3.5)
				1634.155	-1241.0 (3.9)	
$4f^{13}(^2F_{5/2})5d6s (^3D)$	$^3[5/2]^0$	2.5	32856.613	2121.243	-718 (14)	-697.55 (2.6)
				1557.911	-695.6 (3.0)	
				1485.552	-701.5 (5.9)	
$4f^{13}(^2F_{5/2})5d6s (^3D)$	$^3[5/2]^0$	3.5	33240.362	1528.872	-921 (18)	-909.8 (2.6)
				1333.822	-854 (6)	
				1318.152	-922.6 (2.9)	
$4f^{13}(^2F_{5/2})5d6s (^3D)$	$^3[7/2]^0$	2.5	33292.78	1458.759	30.0 (5.5)	27.2 (3.1)
				1309.105	25.9 (3.7)	
$4f^{13}(^2F_{5/2})5d6s (^3D)$	$^3[7/2]^0$	3.5	33395.984	2065.473	-564.2 (6.4)	-553.0 (2.4)
				1437.117	-551.1 (2.6)	
$4f^{12}(^3H_5)6s^2 6p_{3/2}$		4.5	34587.982	1657.318	-442 (7)	-432.5 (2.8)
				1226.886	-430.6 (3.1)	

KAYNAKLAR

- [1]. Haken, H and Wolf, H.C.,1993, *The physics of atoms and quanta*, Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg GmbH & Co. K, ISBN: 978-3540208075.
- [2]. Windholz, L., Guthöhrlein, G. H., 2003, Classification of spectral lines by means of their hyperfine structure application to Ta I and Ta II levels, *Phys. Scr.*, T 105, 55.
- [3]. Windholz L., 2015, Class-LW bilgisayar programı, *private communication*.
- [4]. NIST Atomic Spectra Database, <https://www.nist.gov/pml/atomic-spectra-database>, [Ziyaret tarihi: 18.04.2019].
- [5]. Quiring, T., 1986, Hamburg, Thesis (PhD) , Universitat der Bundeswehr.
- [6]. Chemicool, <https://www.chemicool.com/elements/thulium.html>, [Ziyaret tarihi: 18.04.2019].
- [7]. Stone, N. J., 2005, Table of nuclear magnetic dipole and electric quadrupole moments, *At. Data Nucl. Data Tables*, 90,75.
- [8]. Lindenberger, K. H., 1955, Magnetisches kern dipol moment und kern drehimpulsquantenzahl T thulium-169, *Physical Review*, 128, 5.
- [9]. Ritter, G.J., 1962, Ground-state hyperfine structure and nuclear magnetic moment of des $^{69}\text{Tm}^{169}$, *Zeitschrift für Physik, Bd.*, 141, 476-485.
- [10]. Giglberger, D., Penselin, S., 1967, Ground-state hyperfine structure and nuclear magnetic moment of thulium-169, *Zeitschrift für Physik*, 199, 244-255.
- [11]. Kuhl, J., 1971, Hyperfeinstrukturuntersuchungen mit einem sphärischen fabry-perot interferometer mit einem absorbtionstrahl im Tm I und Eu I spektrum, *Zeitschrift Für Physik*, 242, 66-85.
- [12]. Sugar, J. et. al, 1973, *Journal of The Research of the National Bureau of Standarts, A. Physics and Chemistry*, 77A, 1.
- [13]. Brandt, H. W., Camus, P., 1977, Recent hyperfine structure investigations in the configurations $4f^{13}6s^2$, $4f^{13}6s6p$, and $4f^{12}5d6s^2$ of Tm I, *Zeitschrift Physik A*, 283, 309-313.
- [14]. Leeuwen, K.A.H., et. al, 1980, High resolution measurements of the hyperfine structure in 10 levels of Tm I, *Physics Letters*, 78A/1, 54-56.
- [15]. Angelova, E.V. et al., 1984, Laser spectroscopy investigation of highly excited states of the Tm atom, *J. Phys. B: At. Mol. Phys.*, 17, 953-961.
- [16]. Childs, W.J. et al., 1984, Hyperfine structure of $4f^N6s^2$ configurations in ^{159}Tb , $^{161,163}\text{Dy}$, and ^{169}Tm , *J. Opt. Soc. Am. B*, 1,1.

- [17]. Pfeufer, V., 1985, Hyperfine structure investigations in the configuration $4f^{12}5d\ 6s^2$ of Tm I by laser-atomic-beam spectroscopy, *Zeitschrift für Physik A, Atoms and Nuclei*, 321, 83-84.
- [18]. Pfeufer, V., 1986, Hyperfine structure in the configurations $4f^{13}\ 6s\ 6p$ and $4f^{12}5d\ 6s^2$ of Tm I, *Zeitschrift für Physik D, Atoms, Molecules and Clusters* 2, 141-148.
- [19]. Pfeufer, V., 1987, On the Hyperfine structure in the configurations $4f^n\ 6s^2$, $4f^n\ 5d\ 6s$, $4f^n\ 6s6p$, and $4f^{n-1}\ 5d\ 6s^2$ of the lanthanides, *Zeitschrift für Physik D, Atoms, Molecules and Clusters*, 4, 351-366.
- [20]. Tripplet, B., B., et al., 1992, Electronic relaxation observed in mössbauer hyperfine spectra of Tm metal, *Hyperfine Interactions* 72, 97-102.
- [21]. Kui, J.Z., Xian, P.W., 1993, Studies on hyperfine structure and isotope shift of some excited states in Yb and Tm atoms, *Acta Optica Sinica*, 2, 11.
- [22]. Kronfeldt, H.D., Kröger, S. 1997, Hyperfine structure in the configuration $4f^{13}6s7s$ of Tm I, *Zeitschrift für Physik D*, 34, 219-222.
- [23]. Wickliffe, M.E., Lawler, J.E., 1997, Atomic transition probabilities of Tm I and Tm II, *J. Opt. Soc. Am. B.*, 14, 4.
- [24]. Kröger, S., et al., 1997, High resolution measurements of the hyperfine structure and determination of a new energy level Tm I, *Zeitschrift für Physik D*, 41, 181-185.
- [25]. Nakamura, T., et al., 1997, Precise g-factor determination of $4f^{13}\ 6s\ 6p$ excited states in Tm I, *Journal of the Physical Society of Japan*, 66, 12, 3778-3782.
- [26]. Seliverstov, M.D., et al., 2000, Application of laser ion source for isotope shift and hyperfine investigation, *Hyperfine Interactions*, 127, 425-430.
- [27]. Biémont, E., Quinet, P., 2003, Recent advances in the study of lanthanide atoms and ions, *Physica Scripta*, T105, 38-54.
- [28]. Başar Gö., Başar Gü., et al., 2005, Hyperfine structure of high lying levels of Tm I, *Physica Scripta*, 71, 159-162.
- [29]. Sneden, C., et al., 2009, New rare element abundance distributions for the sun and five r- process rich very metal-poor stars, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 182, 80-96.
- [30]. Smirnov, M. Yu., 2011, Excitation of even levels of Tm II from ground state of thulium atom, *Optics and Spectroscopy*, 110/4, 493-499.
- [31]. Fedorov, S.A., et al., 2015, Improved measurement of the hyperfine structure of the laser cooling level $4f^{12}(^3H_6)\ 5d_{5/2}6s^2\ (J=9/2)$ in $^{169}_{69}\text{Tm}$, *Applied Physics B*, 121, 275-282.
- [32]. Tian, Y., et al., 2016, Radiative lifetime measurements of some Tm I and Tm II levels by time-resolved laser spectroscopy, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 457, 1393-1398.

- [33]. Kröger, S., 1996, Hyperfeinstruktur des thuliums und weiterer lanthanide (Gd, Ho, Er, Yb), Thesis (PhD), Berlin Tech. Universität.
- [34]. Krüger, J., 1986, *Diplomarbeit*, Thesis (PhD), Institut für angewandte Physik, Universität Bonn.
- [35]. Eisberg, R, Resnick, 1985, R., *Quantum physics of atoms, molecules, solids, nuclei and particles*, John Wiley&Sons; 2nd Edition, ISBN: 0-471-87373-X
- [36]. Bransden, B. H., Joachain, C., J. 1999, *Atom ve molekül fiziği*, Bilim Yayıncılık, Ankara, ISBN 975-7636-03-7.
- [37]. Nave C.R., 2016, Hyperphysics, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/index.html>, [Ziyaret tarihi: 19.05.2019].
- [38]. Griffiths, D., J., 2013, *Kuantum mekaniğine giriş*, Nobel Akademik Yayıncılık, ISBN: 978-605-133-640-4.
- [39]. Steane A., 2002, *Atomic physics-high precision quantum systems and interaction of light and matter*, <https://users.physics.ox.ac.uk/~Steane/teaching/al.pdf>, [Ziyaret tarihi:10.03.2019].
- [40]. Kopfermann, H., Schneider, E. E., 1958, *Nuclear moments*, Academic Press Inc, Catalog, ISBN: 56-6607.
- [41]. Gallagher, P., https://www.tcd.ie/Physics/people/Peter.Gallagher/lectures/PY3004/lecture7_notes.pdf, [Ziyaret tarihi:19.05.2019].
- [42]. Pauli, W., 1994, *Exclusion principle and quantum mechanics*, Writings on Physics and Philosophy, Bölüm 20, Springer, Berlin, Heidelberg, ISBN: 978-3-662-02994-7.
- [43]. Aytekin H., 2019, *Fiz441 Çekirdek fiziği ders notları*, https://kipdf.com/fz441-ekrdek-fz-ders-notlari_5b2223e9097c47e5648b4662.html, [Ziyaret tarihi:19.05.2019].
- [44]. Yazar, H., İleri nükleer fizik, http://bizdosyalar.nevsehir.edu.tr/fiz-512_ileri_nukleer_fizik_ii.pdf [Ziyaret tarihi:19.05.2019].
- [45]. Hollas, M., J., 2004, *Modern spectroscopy*, John Wiley&Sons, Fourth Edition, ISBN: 0470 84 416 7.
- [46]. Demtröder, W., 2006, *Atoms, molecules and photons, an introduction to atomic, molecular and quantum physics*, Springer, Berlin, ISBN: 978-3-540-20631-6.
- [47]. Demtröder, W., 1982, *Laser spectroscopy basic concepts and instrumentation*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 978-3-662-05155-9.
- [48]. Skoog, D. A., Holler, F. J., Nieman, T. A., 1992, *Enstrümantal analiz ilkeleri*, Bilim Yayıncılık, SBN: 975-556-041-6.

- [49]. Cohen, J., 1986, *Introduction to Fourier transform spectroscopy*, National Bureau of Standards, 48-47112.
- [50]. Bates, J.B., 1978, Fourier Transform Spectroscopy, *Comput. Math Appl.*, 4, 73–84.
- [51]. Peck, R., Reeder, K., 1972, Dispersion of air, *J. Opt. Soc. Am.*, 62, 958.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Sami Sert
Doğum Yeri	Lüleburgaz
Doğum Tarihi	12.03.1993
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	05335625359
E-Posta Adresi	sami.sert0@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Marmara Üniversitesi
Fakülte	Atatürk Eğitim Fakültesi
Bölümü	Fizik Öğretmenliği
Mezuniyet Yılı	14.06.2016

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Fizik Anabilim Dalı
Programı	Atom ve Molekül Fiziği Programı