



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



Doktora Tezi

**TULYUM ELEMENTİNİN GÖRÜNÜR BÖLGEDEKİ SPEKTRAL
ÇİZGİLERİNİN SINIFLANDIRILMASI ve AŞIRI İNCE YAPISININ
İNCELENMESİ**

Şeyma PARLATAN

Fizik Anabilim Dalı

Atom ve Molekül Fiziği Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr. İpek KANAT ÖZTÜRK**

Temmuz, 2020

İSTANBUL

Bu çalışma, 21.07.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı, Atom ve Molekül Fiziğı Programında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

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

Prof. Dr. Yasemin AKKAYA
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

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

Prof. Dr. Günay BAŞAR
İstanbul Teknik Üniversitesi
Fen Edebiyat Fakültesi

Doç. Dr. Feyza GÜZELÇİMEN
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

İntihal Programı Beyanı

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 aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Proje Destekleri

--

Tezden Üretilmiş Yayınların Künye Bilgileri

--

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince hem akademik hem de manevi anlamda bana yol açan, elimden tutan ve pes etmememi sağlayan danışman hocam Prof. Dr. İpek Kanat Öztürk'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İlgisini ve desteğini her zaman hissettiğim, yüksek lisansa başladığımdan beri hep yanımda olan İstanbul Üniversitesi öğretim üyelerinden sayın hocam Prof. Dr. Gönül Başar'a; deneysel ve teorik çalışmalarda bilgisi ve ilgisi ile önümü açan tezimin ilerlemesinde çok desteği olan Berlin Teknoloji ve Ekonomi Yüksekokulu öğretim üyelerinden Prof. Dr. Sophie Kröger'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam boyunca destek olan çalışma arkadaşım Berin Özdalğıç'a teşekkür ederim.

Yaşamım ve tüm eğitim hayatım boyunca sevgilerini, ilgilerini ve desteklerini her zaman hissettiğim anneme ve babama; bilgisi, sevgisi ve sonsuz sabrı ile hep yanımda olan eşim Uğur Parlatan'a; ben doktora süresindeyken hayatımıza giren ve neşeleri ile bizi hep mutlu etmeyi başaran oğullarım Deniz ve Özgür'e teşekkür ediyorum.

Temmuz, 2020

Şeyma PARLATAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	x
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	4
3. MALZEME VE YÖNTEM	13
3.1. ATOMUN YAPISI VE TEK-ELEKTRONLU SİSTEMLER	13
3.1.1. Tek Elektronlu Atomlar İçin İnce Yapı	15
3.2. ÇOK ELEKTRONLU SİSTEMLERDE MERKEZİ ALAN YAKLAŞIMI VE HARTREE-FOCK YÖNTEMİ	16
3.2.1. Açısal Momentum Çiftlenim Türleri	17
3.3. AŞIRI İNCE YAPI (HYPERFINE STRUCTURE:HFS)	18
3.3.1. Manyetik Dipol Aşırı İnce Yapı Etkileşmeleri	19
3.3.1.1. Manyetik Dipol Aşırı İnce Yapı Etkileşmeleri için Aralık Kuralı ve Özellikleri	21
3.3.2. Elektrik Kuadropol Aşırı İnce Yapı Etkileşmeleri	22
3.3.3. Aşırı İnce Yapı Sabitlerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi ve Seçim Kuralları	23
3.4. SPEKTRAL ÇİZGİ GENİŞLEMELERİNİN NEDENLERİ VE FORMLARI	24
3.5. TULYUM ELEMENTİ	27
3.6. DENEYSEL YÖNTEM: FOURIER TRANSFORM SPEKTROSKOPİSİ (FTS)	29
3.7. SPEKTRUMUN İNCELENMESİ VE DENEY VERİLERİNİN ANALİZİ	32
3.7.1. Çizgilerin Sınıflandırılması	33
3.7.2. Çizgilerin Fit İşlemi	44
3.7.3. Octave programı ile aşırı ince yapı sabitlerinin bulunması	47
4. BULGULAR	48

4.1 TULYUM ELEMENTİNİN SPEKTRAL ÇİZGİ ANALİZİ SONUÇLARI	48
4.2. TULYUM ELEMENTİNİN AŞIRI İNCE YAPI ANALİZİ SONUÇLARI	109
4.2.1. Fitter Programı Kullanılarak <i>A</i> Sabitlerinin Elde Edilmesi	110
4.3. LİNEER DENKLEM SİSTEMİ İLE AŞIRI İNCE YAPILARIN BELİRLENMESİ	138
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	148
KAYNAKLAR.....	161
EKLER	165
ÖZGEÇMİŞ	168



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1: Doppler, Voigt ve doğal genişleme profillerinin karşılaştırılması.	26
Şekil 3.2: $\Delta J = 0$ için olası çizgi yapıları.	28
Şekil 3.3 : $\Delta J = \pm 1$ için olası çizgi yapıları.	28
Şekil 3.4: Silindir katodun şematik gösterimi.	31
Şekil 3.5: Dalgaboyu giriş dosyasından örnek kesit.	34
Şekil 3.6: Programın ana penceresi FT-spektrum penceresi.	36
Şekil 3.7: Dalgaboyu yarı-genişlik ilişkisi.	38
Şekil 3.8: Simülasyon penceresinden bir örnek.	39
Şekil 3.9: Seçim kuralları harici yapılan bir giriş örneği.	40
Şekil 3.10: Sınıflandırma programının herhangi bir öneri sunmadığı bir çizgiye örnek.	41
Şekil 3.11: Çizgi sınıflandırmasına bir örnek spektrum.	43
Şekil 3.12: Çizgi sınıflandırmasına örnek spektrum.	43
Şekil 4.1: Sınıflandırma programından alınan “kendiliğinden soğurma” örneği.	84
Şekil 4.2: FT spektrumundan alınan “kendiliğinden soğurma” örneği.	85
Şekil 4.3: $\lambda = 523.47968$ nm geçişine ait FT spektrumu.	112
Şekil 4.4: (a) $\lambda = 617.5296$ nm, (b) $\lambda = 556.6000$ nm, (c) $\lambda = 523.4796$ nm, (d) $\lambda = 443.0862$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.	112
Şekil 4.5: (a) $\lambda = 592.9722$ nm, (b) $\lambda = 523.3924$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.	114
Şekil 4.6: (a) $\lambda = 565.0433$ nm, (b) $\lambda = 507.3518$ nm, (c) $\lambda = 541.3725$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.	115
Şekil 4.7: (a) $\lambda = 561.3230$ nm, (b) $\lambda = 542.6504$ nm, (c) $\lambda = 542.1666$ nm, (d) $\lambda = 460.9348$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.	116
Şekil 4.8: (a) $\lambda = 549.5617$ nm, (b) $\lambda = 494.8352$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.	118

Şekil 4.9: (a) $\lambda = 486.2931$ nm, (b) $\lambda = 439.5954$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.....	119
Şekil 4.10: (a) $\lambda = 533.1715$ nm, (b) $\lambda = 512.4513$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.....	120
Şekil 4.11: 38499.016 cm ⁻¹ ($J = 9/2$) $\rightarrow$ 19748.543 cm ⁻¹ ($J = 9/2$) geçişi için sınıflandırma programı önerileri.....	121
Şekil 4.12: (a) $\lambda = 678.2005$ nm, (b) $\lambda = 653.0802$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.....	122
Şekil 4.13: (a) $\lambda = 512.7817$ nm, (b) $\lambda = 462.1715$ nm, (c) $\lambda = 444.2733$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.	123
Şekil 4.14: (a) $\lambda = 672.8046$ nm, (b) $\lambda = 512.0671$ nm, (c) $\lambda = 506.7462$ nm , (d) $\lambda = 464.4578$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.....	125
Şekil 4.15: (a) $\lambda = 664.1592$ nm, (b) $\lambda = 604.3989$ nm, (c) $\lambda = 439.8571$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.	126
Şekil 4.16: 39470.489 cm ⁻¹ ($J = 5/2$) $\rightarrow$ 22929.717 cm ⁻¹ ($J = 5/2$) geçişi için sınıflandırma programı önerileri.....	127
Şekil 4.17: (a) $\lambda = 498.5138$ nm, (b) $\lambda = 457.5317$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.....	128
Şekil 4.18: 39602.902 cm ⁻¹ ($J = 3/2$) $\rightarrow$ 19548.834 cm ⁻¹ ($J = 5/2$) geçişi için sınıflandırma programı önerileri.....	129
Şekil 4.19: (a) $\lambda = 655.9511$ nm, (b) $\lambda = 502.2458$ nm, (c) $\lambda = 447.9938$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.	130
Şekil 4.20: (a) $\lambda = 591.3881$ nm, (b) $\lambda = 533.717$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.	132
Şekil 4.21: 41151.1 cm ⁻¹ ($J = 9/2$) $\rightarrow$ 24246.425 cm ⁻¹ ($J = 7/2$) geçişi için sınıflandırma programı önerileri.....	132
Şekil 4.22: (a) $\lambda = 543.7783$ nm, (b) $\lambda = 526.4272$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.....	133
Şekil 4.23: (a) $\lambda = 400.0568$ nm, (b) $\lambda = 431.0431$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.....	134
Şekil 4.24: (a) $\lambda = 565.5846$ nm, (b) $\lambda = 481.1648$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.....	135
Şekil 4.25: (a) $\lambda = 471.9268$ nm, (b) $\lambda = 414.6128$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.....	136

Şekil 4.26: (a) $\lambda = 483.5898$ nm, (b) $\lambda = 444.3283$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.	137
Şekil 4.27: $\Delta J = 0, \Delta J = \pm 1$ durumlarına ait örnek spektrumlar.	138
Şekil 5.1: $\lambda = 446.2767$ nm geçişine ait alt ve üst enerji seviyeleri için olası A değeri belirlenmesi.	149
Şekil 5.2: $\lambda = 446.2767$ nm geçişine ait alt ve üst enerji seviyeleri için olası A değeri belirlenmesi.	149
Şekil 5.3: $\lambda = 446.2767$ nm geçişine ait alt ve üst enerji seviyeleri için olası A değeri belirlenmesi.	150
Şekil 5.4: $\lambda = 446.2767$ nm geçişine ait alt ve üst enerji seviyeleri için olası A değeri belirlenmesi.	150

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Tm I tek pariteli enerji seviyelerinin literatürden alınan manyetik dipol hfs sabitleri ve deneysel yöntemler.	7
Tablo 2.2: Tm I çift pariteli enerji seviyelerinin literatürden alınan manyetik dipol hfs sabitleri ve deneysel yöntemler.	10
Tablo 3.1: Çiftlenim türleri ve özellikleri.	18
Tablo 4.1: Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.	50
Tablo 4.2: Görünür bölgede Tm II olarak belirlenen çizgilerin listesi.	86
Tablo 4.3: Görünür bölgede Tm I ve Tm II olarak belirlenen çizgilerin listesi.	95
Tablo 4.4: $\lambda = 617.5296$ nm, $\lambda = 556.6000$ nm, $\lambda = 523.4796$ nm, $\lambda = 443.0862$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.	113
Tablo 4.5: $\lambda = 592.9722$ nm, $\lambda = 523.3924$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.	114
Tablo 4.6: $\lambda = 565.0433$ nm, $\lambda = 507.3518$ nm, $\lambda = 541.3725$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.	115
Tablo 4.7: $\lambda = 561.3230$ nm, $\lambda = 542.6504$ nm, $\lambda = 542.1666$ nm, $\lambda = 460.9348$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.	117
Tablo 4.8: $\lambda = 549.5617$ nm, $\lambda = 494.8352$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.	118
Tablo 4.9: $\lambda = 486.2931$ nm, $\lambda = 439.5954$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.	119
Tablo 4.10: $\lambda = 533.1715$ nm, $\lambda = 512.4513$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.	121
Tablo 4.11: (a) $\lambda = 678.2005$ nm, (b) $\lambda = 653.0802$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.	122
Tablo 4.12: $\lambda = 512.7817$ nm, $\lambda = 462.1715$ nm, $\lambda = 444.2733$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.	124
Tablo 4.13: $\lambda = 672.8046$ nm, $\lambda = 512.0671$ nm, $\lambda = 506.7462$ nm, $\lambda = 464.4578$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.	125
Tablo 4.14: $\lambda = 664.1592$ nm, $\lambda = 604.3989$ nm, $\lambda = 439.8571$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.	127
Tablo 4.15: $\lambda = 498.5138$ nm, $\lambda = 457.5317$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.	129

Tablo 4.16: $\lambda = 655.9511$ nm, $\lambda = 502.2458$ nm, $\lambda = 447.9938$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.	131
Tablo 4.17: $\lambda = 591.3881$ nm, $\lambda = 533.717$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.	133
Tablo 4.18: $\lambda = 543.7783$ nm, $\lambda = 526.4272$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.	134
Tablo 4.19: $\lambda = 400.0568$ nm, $\lambda = 431.0431$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.	135
Tablo 4.20: $\lambda = 565.5846$ nm, $\lambda = 481.1648$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.	136
Tablo 4.21: $\lambda = 471.9268$ nm, $\lambda = 414.6128$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.	137
Tablo 4.22 : $\lambda = 483.5898$ nm, $\lambda = 444.3283$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.	138
Tablo 4.23: Denklem sistemine katılmayan ve sabit tutulan A değerleri.	140
Tablo 4.24: Lineer denklem sisteminin çözümünde kullanılan giriş dosyasından bir kesit.	143
Tablo 4.25: Lineer denklem sistemi kullanılarak belirlenen manyetik dipol hfs sabitleri.	144
Tablo 5.1: Fitter programı ile ilk defa bu çalışmada belirlenen manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri.	152
Tablo 5.2: Lineer denklem sistemi kullanılarak ilk defa bu çalışmada bulunan manyetik dipol hfs sabitleri.	154

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler

Açıklama

$\vec{L}$	: 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 Işın Manyetik Rezonans
HFS	: Aşırı ince yapı

ÖZET

DOKTORA TEZİ

TULYUM ELEMENTİNİN GÖRÜNÜR BÖLGEDEKİ SPEKTRAL ÇİZGİLERİNİN SINIFLANDIRILMASI ve AŞIRI İNCE YAPISININ İNCELENMESİ

Şeyma PARLATAN

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. İpek KANAT ÖZTÜRK

Bu çalışmada, tulyum (Tm) elementinin görünür dalgaboyu bölgesinde elde edilen Fourier Transform (FT) spektrogramunun analizi gerçekleştirildi. Bunun sonucunda atomik tulyum (Tm I) ve bir kez iyonlaşmış tulyumun (Tm II) spektral çizgi sınıflandırmaları yapıldı ve Tm atomuna ait ince yapı enerji seviyelerinin sahip olduğu aşırı ince yapı deneysel olarak incelendi. Bu tez çalışmasında toplam 2746 tane çizgi analiz edildi. Bu çizgilerden 1757 tanesi Tm I, 291 tanesi Tm II olarak sınıflandırıldı. Yapılan analiz içerisinde 289 Tm I çizgisi ve 242 Tm II çizgisi ilk kez bu tez çalışmasında sınıflandırıldı. 698 tane spektral çizgi ise Tm I ya da Tm II olarak adlandırıldı.

Spektral geçişlerin analiz edilmesi sonucu deneysel olarak Tm I'e ait 19 adet ince yapı enerji seviyesi için manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti, A , ilk defa bu tez çalışmasında verildi. İlk defa bu çalışmada, deneysel verilerden yararlanılarak oluşturulan lineer denklem sistemi ile 244 tane ince yapı enerji seviyesine ait A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti belirlendi.

Temmuz, 2020, 183 sayfa.

Anahtar kelimeler: Aşırı ince yapı, tulyum, spektroskopi, görünür bölge, spektral çizgi sınıflandırması.

SUMMARY

Ph.D. THESIS

SPECTRAL LINES CLASSIFICATION and HYPERFINE STRUCTURE INVESTIGATION of the THULIUM ELEMENT in the VISIBLE REGION

Şeyma PARLATAN

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Physics

Supervisor : Prof. Dr. İpek KANAT ÖZTÜRK

In this study, the analysis of the Fourier Transform (FT) spectra obtained in the visible wavelength region of the element Thulium (Tm) was performed. As a result of the spectral analysis, the spectral line classifications of atomic Thulium (Tm I) and ionized Thulium (Tm II) were performed, and the hyperfine structure of the fine structure energy levels of the Tm atom was examined experimentally.

In this thesis, a total of 2746 lines were analyzed. 1757 of these lines were classified as Tm I, 291 of them were classified as Tm II. In the analysis, 289 Tm I line and 242 Tm II lines were classified for the first time in this thesis. 698 spectral lines are called Tm I or Tm II.

As a result of the analysis of spectral transitions, experimentally, the magnetic dipole hyperfine structure constant, A , for 19 fine structure levels of Tm I, were given for the first time in this thesis. For the first time in this study, by utilizing the linear equation system, which was created by using experimental data, A magnetic dipole hyperfine structure constant that corresponds to 244 fine structure levels were determined.

July 2020, 183 pages.

Keywords: Hyperfine structure, thulium, spectroscopy, visible region, spectral line identification.

1. GİRİŞ

Maddenin temel yapı taşının ne olduğunu merak eden bilim insanları tarih boyunca bir çok varsayım geliştirilmiştir. Ondokuzuncu yüzyılın başlarında, J. Dalton, Yunanlı filozof Democritusun ortaya koyduğu “maddeler, bölünemez anlamına gelen atomlardan oluşur” varsayımını kullanarak maddelerin farklı oluşlarının, içerdikleri atomların farklı olmasından kaynaklandığını öne süren bir kimyasal atom modeli ortaya koymuştur. O yıllardan günümüze kadar çok sayıda atom modeli geliştirilmiş olup, “elektronlar, elektron bulutu olarak isimlendirilen yerlerde hareket ederler, bulutun en yoğun olduğu yerlerde elektronun bulma olasılığı en yüksektir” tespiti ile hâlâ geçerliliğini koruyan modern atom teorisine kadar gelinmiştir.

Atom kavramı geliştikten sonra hedef, atomu anlamak olmuştur. Her elementin kendine özgü bir spektrumunun olduğunun belirlenmesiyle atomu anlamak ve farklı elementleri tanımlamak için spektroskopik yöntemler geliştirilmiştir. Spektroskopi kısaca, elektromanyetik ışımanın bir cisim tarafından saçılması, yansması ve soğurulmasını inceleyen bilim dalı olarak tanımlanabilir. Elektromanyetik ışınının enerjisine bağlı olarak madde ile etkileşmesi de farklı olmaktadır.

Spektroskopik yöntemler sonucu elde edilen spektrumlar incelenerek, spektral çizgilerin şiddetleri ve enerji seviyeleri arasındaki geçiş olasılıkları bulunabilir. Bu değerler, enerji seviyelerinin dalga fonksiyonları, dolayısıyla sistemin enerjisi hakkında bilgi verir.

Spektroskopik ölçümlerin sonuçları sadece atom fiziğine katkıda bulunmakla kalmayıp yıldızların yapısı hakkında astrofizik çalışmalarına da aydınlatıcı bilgiler verir. Dünyamızdaki herşeyin atomlardan oluşması gibi yıldızlar ve gezegenler gibi astronomik nesneler de atomlardan meydana gelir. Gökbilimciler, yıldızların elektromanyetik spekturumu ve uzaydaki hareketini gözlemleyerek yıldızın birçok özelliğini belirlerler. Yıldızların yayınladığı farklı dalgaboylarındaki radyasyonun şiddeti ölçülerek yıldızların kimyasal bileşenleri belirlenerek sıcaklıkları ile ilgili bilgi sağlanabilir. Soğurulan elektromanyetik radyasyonun miktarı ve dalgaboyu incelenerek yıldızda bulunan belirli bir maddenin miktarı ve cinsi hakkında bilgi edinilebilir. Yıldızların ve galaksilerin nasıl geliştiğini anlamaya yardımcı olduğu için hangi atomların yıldızları oluşturduğunun belirlenmesi önemlidir.

Dolayısıyla yıldız spektrumlarını inceleyip analiz edebilmek için atomik spektrum verilerine ihtiyaç vardır [1]. Bu tezin amaçlarından biri de, yıldız spektrumlarını daha net analiz edebilmek için literatüre bu atomik verilerle ilgili katkı sağlamaktır.

Zaman içinde geliştirilen yüksek ayırma gücüne sahip spektrograflar ile elde edilen spektrumlar, her bir spektral çizginin birbirine çok yakın çizgilerden oluştuğunu göstermiştir. Elektronik enerji düzeyleri üzerinde bilinen ince yapı etkisinden bin kat daha küçük olarak gözlenen etkiler aşırı ince yapı etkileridir [2].

Yıldızların yapısında hangi atomların bulunduğunun anlaşılabilmesi için yıldızdan elde edilen spektrumdaki absorpsiyon çizgilerini analiz etmek gerekir. Bu da ancak atom spektrumlarının enerji seviyelerinin bilinmesi ile mümkündür. Yıldızların spektrumundaki atomik çizgilerin yapısı sadece yıldızın sıcaklığına ya da atomik bolluk oranlarına bağlı olmayıp aşırı ince yapı yarılmalarına da bağlıdır. Dolayısıyla bir yıldızın yapısını anlayabilmek için atomik spektrumun incelenmesi ile elde edilen enerji seviyeleri ve aşırı ince yapı sabitleri belirleyici olmaktadır.

Bu tez çalışmasında, 400 - 700 nm arası dalga boyu bölgesindeki tulyum (Tm) çizgilerinin sınıflandırılması ve A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitlerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Yapılan spektral çizgi sınıflandırmalarının ve yeni belirlenen aşırı ince yapı sabitlerinin fizik alanı çalışmalarının yanı sıra pek çok astrofizik çalışmasına da kaynak olacağı düşünülmektedir.

Tez çalışması iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda, Fourier Transform Spektroskopisi (FTS) metodu kullanılarak Letonya Üniversitesi Laser Merkezi'nde kaydedilen tulyum elementinin emisyon spektrumundaki çizgilerin sınıflandırılması, L. Windholz tarafından geliştirilen özel bir program [3] ile yapıldı. İkinci kısımda ise atomik tulyuma (Tm I) ait ayrılmış çizgilerin ince yapı enerji seviyelerinin bugüne kadar belirlenmemiş deneysel A manyetik dipol aşırı-ince-yapı (hfs) sabitleri FITTER programı [4] yardımı ile belirlendi. Ayrıca yine Tm I'e ait ayrışmamış çizgiler için Octave 5.2.0 programı kullanılarak yazılan bir kod yardımı ile ince yapı enerji seviyelerinin deneysel A manyetik dipol hfs sabitleri elde edildi.

Tm elementinin deneysel olarak bilinen ince yapı enerji seviyeleri kullanılarak 2746 tane spektral çizgi analiz edildi. Analiz edilen çizgilerden 1757 tane çizgi Tm I, 291 tanesi ise bir kez iyonlaşmış tulyum (Tm II) olarak sınıflandırıldı. 698 adet çizgi Tm I veya Tm II olarak

belirlendi. 289 tane Tm I, 242 tane Tm II çizgisinin ilk kez bu tez çalışmasında sınıflandırması yapıldı.

Aşırı ince yapıları ayrıışmış spektral geçişlerin analiz edilmesi sonucu 19 adet ince yapı enerji seviyesi için deneysel manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti, A , ilk defa bu tez çalışmasında verildi. Ayrıışmamış aşırı ince yapıya sahip çizgilerin analizi Octave 5.2.0 programı kullanılarak gerçekleştirildi ve 244 adet ince yapı enerji seviyesi için deneysel manyetik dipol hfs sabitinin değeri ilk defa bu çalışmada önerildi.

Atomik ve bir kez iyonlaşmış tulyum için detaylı bir literatür çalışması yapıldı ve elde edilen veriler genel kısımlar bölümünde aktarıldı. Çalışılan elementin özellikleri, deneysel yöntem, kullanılan programlara ait bilgiler malzeme ve yöntem bölümünde verildi. Spektrum analizi sonucu yapılan çizgi sınıflandırmaları ve elde edilen aşırı ince yapı sabitleri bulgular kısmında sunuldu. Tartışma ve sonuç kısmında bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar özetlendi ve ileriye yönelik önerilerde bulunuldu. Hesaplama için yazılan kod ekte verildi.

2. GENEL KISIMLAR

Doğal tulyum %100 bolluk oranında kararlı ^{169}Tm izotopundan oluşur. Bu izotopun çekirdek spininin 1/2 olması nedeniyle sadece manyetik dipol aşırı ince yapı ayrışması gözlenmekte olup, 1950'li yıllardan beri çok sayıda araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bu bölümde literatür taraması sonuçları derlenerek sunuldu.

Tulyumun manyetik dipol momenti, Fabry–Perot interferometresi ile 1955 yılında Lindenberger tarafından $\mu = -0.20 \pm 0.02 \mu_N$ olarak bulmuştur [5].

1962 yılında Ritter başka bir deneysel yöntem olan atomik ışın manyetik rezonans tekniği ile tulyumun manyetik dipol momentini $\mu = -0.2229 \pm 0.03 \mu_N$ olarak daha hassas bir şekilde elde etmiştir. Aynı çalışmada ayrıca $4f^{13}6s^2$, $^2F_{7/2}$ seviyesine ait A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti de verilmiştir [6].

Tulyumun çekirdek manyetik dipol momenti için yapılan çalışmalar 1967 yılında Giglberger ve Penselin'in yaptıkları atomik ışın manyetik rezonans tekniği ile devam etmiştir. Bu çalışmada 2200-3000 Gauss değerinde dış manyetik alan uygulanmış ve çekirdek dipol moment değeri $\mu_I = -0.2310 (15) \mu_N$ olarak belirlemişlerdir [7].

Tulyumun $4f^{13}6s6p$ ve $4f^{12}5d6s^2$ konfigürasyonlarına ait seviyeler 1971 yılında Kuhl tarafından incelendi. Sözü geçen seviyelere ait A sabitleri bulundu [8].

1973 yılında Sugar ve Meggers çok detaylı bir deneysel çalışma yaptı ve 2513 - 11750 Å dalga boyu aralığında Tm spektrumunun analizini gerçekleştirdi [9].

1977 yılında $4f^{13}6s6p$ ve $4f^{12}5d6s^2$ konfigürasyonları için 20 seviyenin A değeri Brandt ve Camus tarafından deneysel olarak belirlendi [10].

1980 yılında Tm I'e ait 10 enerji seviyesi van Leeuwen ve arkadaşları tarafından yüksek çözünürlüğe sahip laser spektroskopi yöntemi ile incelendi ve seviyelere ait A değeri bulundu [11].

1984 yılında Angelova ve arkadaşları boya-laser kullanarak Tm I'in $4f_{7/2}^{13}6s_{1/2}(J')np_J[j]$ seviyelerini incelediler. $4f_{7/2}^{13}6s_{1/2}(3)np_{3/2}[9/2]$ ($n=26-65$), $4f_{7/2}^{13}6s_{1/2}(4)np_{3/2}[11/2]$

($n=29-57$) ve $4f_{7/2}^{13}6s_{1/2}(4)np_{1/2}[7/2]$ ($n=28-36$) serileri için kesin sınıflandırmalar elde edildi [12].

^{159}Tb , ^{163}Dy ve ^{169}Tm elementlerinin $4f^N6s^2$ konfigürasyonlarının uyarılmış seviyelerine ait aşırı ince yapı ölçümleri iki farklı laser spektroskopik yöntem ile Child ve arkadaşları tarafından 1984 yılında yapıldı [13].

1985 yılında yüksek çözünürlüğe sahip laser-atomik-ışın spektroskopisi metodu ile $5758 \text{ \AA}$ ile $5683 \text{ \AA}$ dalga boyu aralığında Pfeufer tarafından deneysel çalışmalar yapıldı. Bu çalışma ile Tm I'e ait toplam 17 enerji seviyesi için A sabitleri belirlendi [14].

1986 yılında ise Pfeufer aynı deneysel tekniği kullanarak, $4f^{12}5d6s^2$ konfigürasyonuna ait yarı-kararlı enerji seviyeleri arasındaki geçişleri belirledi. $4f^{13}6s6p$ ve $4f^{12}5d6s^2$ konfigürasyonları için daha önceki teorik çalışmalardan elde edilen A sabitleri ile bu çalışmada elde edilen A sabitlerini karşılaştırdı. Bu çalışma sonucunda teorik ve deneysel sonuçların tutarlılığı, dalga fonksiyonlarının güvenilir olduğunu ortaya koydu [15].

1987 yılında Pfeufer tulyumla birlikte diğer bazı lantanitler için $4f^n6s^2$, $4f^n5d6s$, $4f^n6s6p$, $4f^{n-1}5d6s^2$ konfigürasyonlarının hfs radyal integrallerini belirledi [16].

Trippllet ve arkadaşları 1992 yılında tulyum metalinin Mössbauer etkisi ile elde edilen aşırı ince yapı spektrumunu elektronik relaksasyon mekanizması ile inceledi [17].

Zhan-Kui ve diğerleri 1993 yılında Yb ve Tm elementlerine ait uyarılmış enerji seviyelerini, laser-atomik-hüzme etkileşmesi ve floresans tekniklerini kullanarak inceledi. Yapılan deneyler sonucunda A ve B hfs sabitleri yanında $4f^{12}5d6s6p$ seviyesine ait A sabiti ilk kez bu çalışmada belirlendi [18].

1995 yılında $4f^{13}6s7s$ konfigürasyonuna ait 6 enerji seviyesi için Kröger ve Kronfeldt A sabitlerini Doppler indirgenmiş soğurma spektroskopisi kullanarak hesapladı. Parametrik yöntemler kullanılarak bu konfigürasyon için aşırı ince yapı parametreleri elde edildi [19].

1997 yılında Wickliffe ve Lawler Tm I ve Tm II için atomik geçiş olasılığını Fourier Transform Spektrometresi kullanarak belirledi [20].

Kröger ve arkadaşları 1997 yılında atomik tulyum için 51 geçiş ölçtü. 24 tek 19 çift pariteli seviye için A sabitlerini belirledi. Aynı çalışmada ayrıca laserle uyarılmış floresans (LIF) spektroskopisi yöntemi ile $Tm\ I$ 'e ait yeni bir enerji seviyesi bulundu [21].

1997 yılında Nakamura ve arkadaşları bazı konfigürasyonlara karşılık gelen enerji seviyeleri için 250 Gauss manyetik alan uygulayarak Zeeman etkisini inceledi. Yapılan çalışma sonunda A sabitleri bulunurken üst seviyelerin g faktörleri de belirlendi [22].

Atom numarası 57-71 aralığında olan lantanit atomlarının ve iyonlarının spektroskopik özellikleriyle ilgili son gelişmelere ait genel bir bakış 2003 yılında Biemot ve Quinet tarafından yaptıkları yayında sunuldu [23].

Laser optogalvanik spektroskopisi (LOGS) yöntemi ile 2005 yılında Başar ve arkadaşları tarafından 570-595 nm aralığında 31 spektroskopik geçiş ölçülerek, toplam 43 enerji seviyesi için A hfs sabitleri belirlendi [24].

2009 yılında Sneden ve arkadaşları tulyum da dahil olmak üzere bazı toprak elementlerinin Güneşteki bolluk miktarlarını belirlemiştir [25].

2011 yılında bir kez iyonlaşmış tulyum için 54 eksite tesir-kesiti ilk kez Smirnov tarafından ölçüldü [26].

$4f^{12} ({}^3H_6)5d_{5/2} 6s^2 (J = 9/2)$ konfigürasyonu 2015 yılında Fedorov ve arkadaşları tarafından laser soğutma yöntemi ile incelendi [27].

2016 yılında Tian ve arkadaşları LIF spektroskopisi ile, atomik tulyum için 88 seviye, bir kez iyonlaşmış tulyum için ise 29 seviyenin yaşam ömürlerini belirledi [28].

1996 yılında Kröger, S. tarafından sunulan “Tulyum ve diğer lantanitlerin aşırı ince yapısı (Gd, Ho, Er, Yb)” isimli doktora tez çalışmasının bir kısmında elemente ait aşırı ince yapı incelemesi yer almaktadır [29]. 2019 yılında Sert, S. tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan “Tulyum Elementinin $3500-10000\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki spektral çizgilerinin sınıflandırılması ve aşırı ince yapısının incelenmesi” isimli çalışmada ise yakın ve orta kırmızı altı spektral bölgesindeki çizgiler analiz edilerek 13 tanesi yeni 2 tanesi revize olmak üzere toplam 15 manyetik-dipol hfs sabiti verildi [30].

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. Tabloda verilen tüm ince yapı enerji değerleri NIST veri tabanından [31] ve Kröger’in 1997 [21] yılında yaptığı yayından alınmıştır.

Tablo 2.1: Tm I tek pariteli enerji seviyelerinin literatürden alınan manyetik dipol hfs sabitleri ve deneysel yöntemler.

Konfigürasyon	Enerji /cm ⁻¹	<i>J</i>	<i>A</i> / MHz	Yöntem	Ref
4f ¹³ (² F°)6s ²	0.000	3.5	-374.137661(3)	ABMR	[7]
			-374.40(35)	ABMR	[22]
4f ¹³ (² F°)6s ²	8771.243	2.5	-704.8(1.0)	LIF	[13]
4f ¹³ (² F° _{7/2})5d6s(³ D)	22419.764	4.5	40.7(1.6)	FT	[30]
4f ¹³ (² F° _{7/2})5d6s(³ D)	23335.111	3.5	-819.3(1.1)	OGS	[24]
4f ¹³ (² F° _{7/2})5d6s(³ D)	23431.844	2.5	-520(4)	OGS	[24]
4f ¹³ (² F° _{7/2})5d6s(³ D)	23941.071	4.5	-678.7(3)	OGS	[24]
4f ¹³ (² F° _{7/2})5d6s(³ D)	24160.630	0.5	336(4)	LIF	[21]
4f ¹³ (² F° _{7/2})5d6s(³ D)	24246.425	3.5	-197(5)	OGS	[24]
4f ¹³ (² F° _{7/2})5d6s(³ D)	24611.303	2.5	-9.9(2.3)	FT	[30]
4f ¹³ (² F° _{7/2})5d6s(³ D)	24701.058	4.5	-441.8(4.2)	FT	[30]
4f ¹³ (² F° _{7/2})5d6s(³ D)	24708.041	3.5	-207(2.8)	FT	[30]
4f ¹³ (² F° _{7/2})5d6s(³ D)	24957.469	5.5	-538.7(1.5)	OGS	[24]
4f ¹³ (² F° _{7/2})5d6s(¹ D)	25207.732	1.5	-1524(3)	OGS	[24]
4f ¹³ (² F° _{7/2})5d6s(¹ D)	25520.987	5.5	-234.8(8)	OGS	[24]
4f ¹² (³ H ₆)6s ² 6p _{3/2}	25536.116	7.5	-354(2)	OGS	[24]
4f ¹² (³ H ₆)6s ² 6p _{3/2}	25699.714	4.5	-457(4)	OGS	[24]
4f ¹² (³ H ₆)6s ² 6p _{3/2}	26368.412	5.5	-394(5)	OGS	[21]
4f ¹³ (² F° _{7/2})5d6s(¹ D)	27440.858	4.5	-166.8(2.4)	FT	[30]
4f ¹² (³ F ₄)6s ² 6p _{1/2}	28514.423	4.5	-453.8(5)	LIF	[21]
4f ¹² (³ H ₆)5d6s6p(⁴ F° _{3/2})	29308.690	4.5	-842.9(1.2)	LIF	[21]
4f ¹³ (² F° _{5/2})5d6s(³ D)	30921.580	3.5	-80.9(2.8)	FT	[30]
4f ¹² (³ H ₅)6s ² 6p _{1/2}	31007.600	5.5,	-534.2(1.8)	FT	[30]
4f ¹² (³ H ₆)5d6s6p(⁴ F° _{3/2})	31080.846	5.5	-762.8(1.1)	LIF	[29]
4f ¹² (³ H ₆)5d6s6p(⁴ F° _{5/2})	31367.728	3.5	-397.3(1.8)	LIF	[29]
4f ¹² (³ F ₄)6s ² 6p _{3/2}	31694.749	3.5	-403.9 (1.1)	LIF	[21]
4f ¹³ (² F° _{5/2})5d6s(³ D)	31773.780	2.5	-1222.7(3.5)	FT	[30]
4f ¹² (³ H ₆)5d6s6p(⁴ F° _{3/2})	32112.980	7.5	-137.29 (30)	ABMR	[15]
			-137.26 (22)	ABMR	[14]
4f ¹³ (² F° _{7/2})6s7s(³ S ₁)	32217.195	4.5	-967.3(1.2)	SAS	[21]
			-967.4 (5)	SAS	[19]

Tablo 2.1 (devam): Tm I tek pariteli enerji seviyelerinin literatürden alınan manyetik dipol hfs sabitleri ve deneysel yöntemler.

Konfigürasyon	Enerji/cm ⁻¹	<i>J</i>	<i>A</i> / MHz	Yöntem	Ref
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s7s(^3S_1)$	32359.372	3.5	-613.9(1.2)	SAS	[21]
			-612.5 (1.0)	SAS	[19]
$4f^{12}(^3H_6)5d6s6p(^4F^{\circ}_{5/2})$	32441.714	4.5	-363.9 (4)	OGS	[21]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s7s(^3S_1)$	32479.326	2.5	383.0(1.0)	SAS	[21]
			383.0 (2)	SAS	[19]
$4f^{12}(^3H_6)5d6s6p(^4F^{\circ}_{5/2})$	32761.540	8.5	-422.4(2)	OGS	[24]
			-422.21(90)	ABMR	[15]
			-421.12 (95)	ABMR	[14]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})5d6s(^3D)$	32856.613	2.5	-697.55(2.6)	FT	[30]
$4f^{12}(^3H_6)5d6s6p(^4F^{\circ}_{3/2})$	32950.100	6.5	-654.97(37)	ABMR	[15]
			-654.83 (43)	ABMR	[14]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})5d6s(^3D)$	33240.362	3.5	-909.8(2.6)	FT	[30]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})5d6s(^3D)$	33292.780	2.5	27.2 (3.1)	FT	[30]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})5d6s(^3D)$	33395.984	3.5	-553.0(2.4)	FT	[30]
$4f^{12}(^3H_6)5d6s6p(^4F^{\circ}_{7/2})$	33644.740	9.5	-482.64(50)	ABMR	[18]
$4f^{12}(^3H_6)5d6s6p(^4F^{\circ}_{5/2})$	33793.154	5.5	-472.9(1.0)	OGS	[21]
$4f^{12}(^3H_5)6s^26p_{3/2}$	33943.282	6.5	-354.8(3.2)		[32]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s7s(^1S_0)$	33961.044	3.5	-313.2(1.5)	LIF	[21]
$4f^{12}(^3H_6)5d6s6p(^4F^{\circ}_{5/2})$	34046.540	7.5	-513.19(35)	ABMR	[15]
			-513.08 (40)	ABMR	[14]
$4f^{12}(^3H_5)6s^26p_{3/2}$	34310.330	4.5	-472.5(1.5)	OGS	[21]
$4f^{12}5d6s6p$	34365.624	3.5	-278.1(30)	ABMR	[18]
$4f^{12}5d6s6p$	34194.090	2.5	-197.7(1.0)	ABMR	[18]
$4f^{12}(^3H_6)5d6s6p(^4F^{\circ}_{5/2})$	34449.774	6.5	-455.63(59)	ABMR	[15]
			-455.54 (66)	ABMR	[14]
$4f^{12}5d6s6p$	34457.853	4.5	-426.4(1.3)	OGS	[21]
$4f^{12}(^3H_5)6s^26p_{3/2}$	34532.898	5.5	-473.1(2.5)	ABMR	[15]
		5.5	-473.0 (2.5)	ABMR	[14]
$4f^{12}(^3H_5)6s^26p_{3/2}$	34587.982	4.5	-432.5(2.8)	FT	[30]
$4f^{12}5d6s6p$	34691.802	5.5	-362.2(1.2)	SAS	[29]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})5d6s(^1D)$	34999.008	1.5	-889(6)	OGS	[24]
$4f^{12}(^3H_6)5d(^2D)6s6p(^2D^{\circ}_{5/2})$	35633.010	8.5	-519.33(30)	ABMR	[15]
			-519.22 (36)	ABMR	[14]
$4f^{12}5d6s6p$	35682.251	3.5	-152.00(20)	ABMR	[18]
$4f^{12}5d6s6p$	35958.880	6.5	-307.34(22)	ABMR	[15]
			-307.28 (25)	ABMR	[14]
$4f^{12}(^3H_6)5d6s6p(^4D^{\circ}_{5/2})$	36179.600	7.5	-436.03(50)	ABMR	[18]

Tablo 2.1 (devam): Tm I tek pariteli enerji seviyelerinin literatürden alınan manyetik dipol hfs sabitleri ve deneysel yöntemler.

Konfigürasyon	Enerji /cm ⁻¹	<i>J</i>	<i>A</i> / MHz	Yöntem	Ref
4f ¹² 5d6s6p	36223.628	6.5	-307.2(1.5)	OGS	[24]
4f ¹² 5d6s6p	36329.786	5.5	-71.22(10)	ABMR	[18]
4f ¹² (³ H ₆)5d(² D)6s6p (² D° _{5/2})	36653.924	7.5	-259.24(28)	ABMR	[15]
			-259.18 (32)	ABMR	[14]
4f ¹² 5d6s6p	37010.534	4.5	-258(2)	OGS	[24]
4f ¹² (³ H ₄)6s ² 6p _{3/2}	38664.184	3.5	-550(2)	OGS	[24]
4f ¹² 5d6s6p	38877.211	5.5	-288(4)	OGS	[24]
4f ¹³ (² F° _{7/2})6s6d(¹ D)	39362.651	5.5	15.5(1.4)	OGS	[29]
4f ¹² 5d6s6p	39434.151	6.5	-504.0(9)	OGS	[24]
4f ¹³ (² F° _{7/2})6s6d(¹ D)	39542.165	3.5	-98(5)	LIF	[29]
4f ¹³ (² F° _{7/2})6s6d(³ D)	39627.996	3.5	185(5)	OGS	[21]
4f ¹³ (² F° _{7/2})6s6d(³ D)	39737.580	0.5	691.7(1.0)	LIF	[21]
4f ¹³ (² F° _{7/2})6s6d(¹ D)	39741.913	4.5	203(3)	LIF	[21]
4f ¹³ (² F° _{5/2})6s7s(³ S ₁)	40989.730	1.5	234.6(1.0)	SAS	[21]
			234.6 (4)	SAS	[19]
4f ¹³ (² F° _{5/2})6s7s(³ S ₁)	41074.399	2.5	-899.4(1.0)	SAS	[21]
			-899.7 (5)	SAS	[19]
4f ¹³ (² F° _{5/2})6s7s(³ S ₁)	41189.162	3.5	-1061.4(1.0)	SAS	[21]
			-1061.4 (5)	SAS	[19]
4f ¹³ (² F° _{7/2})6s8s(³ S ₁)	41211.943	3.5	-1107(3)	LIF	[21]
4f ¹² 5d6s6p	41274.900	6.5	-499.7(1.2)	OGS	[24]
4f ¹³ (² F° _{7/2})6s8s(³ S ₁)	41325.870	2.5	306.6(1.2)	LIF	[21]
4f ¹³ (² F° _{7/2})6s8s(¹ S ₀)	41646.129	3.5	-277(3)	OGS	[21]
4f ¹² 5d6s6p	42133.263	3.5	-326(3)	OGS	[29]
4f ¹³ (² F° _{5/2})6s7s(¹ S ₀)	42735.208	2.5	-795(2)	LIF	[21]

Tablo 2.2: Tm I çift pariteli enerji seviyelerinin literatürden alınan manyetik dipol hfs sabitleri ve 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	[15]
			-345.1(6)	OGS	[24]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{3/2} 6s^2$	15587.811	5.5	-390.46(28)	ABMR	[15]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{3/2} 6s^2$	15587.811	5.5	-360.38 (31)	ABMR	[14]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	16456.913	8.5	-308.89(17)	ABMR	[15]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	16456.913	8.5	-308.82 (21)	ABMR	[14]
$4f^{12}(^2\text{F}^{\circ}_{7/2})6s6p(^3\text{P}^{\circ}_0)$	16742.237	3.5	-736.6 (1.0)	LIF	[13]
$4f^{12}(^2\text{F}^{\circ}_{7/2})6s6p(^3\text{P}^{\circ}_0)$	16742.237	3.5	-737.53 (45)	ABMR	[22]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	16957.006	3.5	-491.1(1.0)	LIF	[13]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	16957.006	3.5	-491.45 (7)	ABMR	[14]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	16957.006	3.5	-490.8 (1.0)	SAS	[21]
$4f^{13}(^2\text{F}^{\circ}_{7/2})6s6p(^3\text{P}^{\circ}_1)$	17343.374	3.5	-166.0 (0.7)	LIF	[13]
$4f^{13}(^2\text{F}^{\circ}_{7/2})6s6p(^3\text{P}^{\circ}_1)$	17343.374	3.5	-166.56 (14)	ABMR	[22]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{3/2} 6s^2$	17454.818	6.5	-365.91(55)	ABMR	[15]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{3/2} 6s^2$	17454.818	6.5	-365.83 (62)	ABMR	[14]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{3/2} 6s^2$	17454.818	6.5	-366 (2)	SAS	[21]
$4f^{13}(^2\text{F}^{\circ}_{7/2})6s6p(^3\text{P}^{\circ}_1)$	17613.659	4.5	-629.25(8)	ABMR	[10]
$4f^{13}(^2\text{F}^{\circ}_{7/2})6s6p(^3\text{P}^{\circ}_1)$	17752.634	2.5	-235.5(1.0)	LIF	[13]
$4f^{13}(^2\text{F}^{\circ}_{7/2})6s6p(^3\text{P}^{\circ}_1)$	17752.634	2.5	-235.6 (1.7)	OGS	[24]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	18693.074	7.5	-323.88(30)	ABMR	[15]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	18693.074	7.5	-323.81 (33)	ABMR	[14]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	18837.385	4.5	-422.4(9)	ABMR	[8]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	18837.385	4.5	-422.7 (1.5)	LIF	[21]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	18837.385	4.5	-421 (5)	OGS	[24]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	18853.823	5.5	-476.51(27)	ABMR	[15]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	18853.823	5.5	-476.41 (31)	ABMR	[14]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	18853.823	5.5	-477 (2)	OGS	[24]
$4f^{13}(^2\text{F}^{\circ}_{7/2})6s6p(^3\text{P}^{\circ}_2)$	18990.406	5.5	-581.4(1.3)	OGS	[21]
$4f^{13}(^2\text{F}^{\circ}_{7/2})6s6p(^3\text{P}^{\circ}_2)$	18990.406	5.5	-582 (2)	OGS	[24]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	19466.663	6.5	-342.84(28)	ABMR	[15]
$4f^{12}(^3\text{H}_6) 5d_{5/2} 6s^2$	19466.663	6.5	-342.76 (34)	ABMR	[14]
$4f^{13}(^2\text{F}^{\circ}_{7/2})6s6p(^3\text{P}^{\circ}_2)$	19548.834	2.5	-57(2)	ABMR	[10]
$4f^{13}(^2\text{F}^{\circ}_{7/2})6s6p(^3\text{P}^{\circ}_2)$	19748.543	4.5	-694.8(4)	OGS	[21]

Tablo 2.2 (devam): Tm I çift pariteli enerji seviyelerinin literatürden alınan manyetik dipol hfs sabitleri ve deneysel yöntemler.

Konfigürasyon	Enerji / cm^{-1}	J	A / MHz	Yöntem	Ref
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s6p(^3P^{\circ}_2)$	19748.543	4.5	-694.5 (1.5)	OGS	[24]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s6p(^3P^{\circ}_2)$	19753.830	3.5	-536.6(9)	ABMR	[10]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s6p(^3P^{\circ}_2)$	19753.830	3.5	-528 (6)	OGS	[24]
$4f^{12}(^3F_4)5d_{3/2}6s^2$	21120.836	3.5	-384 (7)	LIF	[29]
$4f^{12}(^3F_4)5d_{3/2}6s^2$	21161.401	2.5	-490(4)	LIF	[21]
$4f^{12}(^3F_4)5d_{3/2}6s^2$	21737.685	4.5	-357.1(1.5)	ABMR	[10]
$4f^{12}(^3F_4)5d_{3/2}6s^2$	21997.473	5.5	-342.8(1.3)	OGS	[24]
$4f^{12}(^3H_5)5d_{3/2}6s^2$	22791.176	3.5	-574.1(1.2)	ABMR	[8]
$4f^{12}(^3H_5)5d_{5/2}6s^2$	22929.717	2.5	-574(3)	ABMR	[8]
$4f^{12}(^3F_4)5d_{5/2}6s^2$	23781.698	4.5	-306 (18)		[31]
$4f^{12}(^3F_4)5d_{5/2}6s^2$	23873.207	3.5	-360.7(3)		[31]
$4f^{12}(^3F_4)5d_{5/2}6s^2$	24137.196	6.5	-308.0(1.4)	OGS	[24]
$4f^{12}(^3H_5)5d_{3/2}6s^2$	24348.692	4.5	-371.7(1.5)	OGS	[29]
$4f^{12}(^3H_5)5d_{3/2}6s^2$	24348.692	4.5	-371.3 (5)	OGS	[21]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s6p(^1P^{\circ}_1)$	24418.018	2.5	-659(2)	ABMR	[10]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s6p(^3P^{\circ}_0)$	25656.019	2.5	-410.7(1.4)	LIF	[13]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s6p(^3P^{\circ}_0)$	25656.019	2.5	-410.9 (5)	SAS	[21]
$4f^{12}(^3H_5)5d_{5/2}6s^2$	25717.197	3.5	-527.6(9)	ABMR	[10]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s6p(^1P^{\circ}_1)$	25745.117	2.5	-493.38(1.00)	OGS	[29]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s6p(^3P^{\circ}_1)$	26126.907	2.5	-1161.47(1.20)	OGS	[29]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s6p(^3P^{\circ}_1)$	26126.907	2.5	-1160.3 (1.0)	LIF	[13]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s6p(^3P^{\circ}_1)$	26439.491	3.5	-904.98(1.00)	OGS	[29]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s6p(^3P^{\circ}_1)$	26439.491	3.5	-908.3 (1.1)	LIF	[13]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s6p(^3P^{\circ}_1)$	26488.700	1.5	-739.3 (1.8)	LIF	[13]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s6p(^3P^{\circ}_1)$	26488.700	1.5	-737.5 (1.0)	SAS	[21]
$4f^{12}(^3H_5)5d_{3/2}6s^2$	26646.214	4.5	-474.3(1.5)	ABMR	[10]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s6p(^1P^{\circ}_1)$	26701.325	3.5	-426(15)	ABMR	[8]
$4f^{12}(^3H_5)5d_{5/2}6s^2$	26889.125	4.5	-408(3)	ABMR	[10]
	27509.400	1.5	-797.1(9)	LIF	[21]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s6p(^3P^{\circ}_2)$	28024.010	4.5	-916(3)	ABMR	[10]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s6p(^3P^{\circ}_2)$	28051.370	2.5	-768(3)	ABMR	[10]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s6p(^3P^{\circ}_2)$	28143.670	1.5	-475.6(8)	LIF	[21]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s6p(^3P^{\circ}_2)$	28448.585	2.5	-746.4(1.3)	LIF	[21]
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{5/2})6s6p(^3P^{\circ}_2)$	28555.799	3.5	-992.4(1.5)	LIF	[21]
$4f^{12}(^3F_2)5d_{3/2}6s^2$	30082.180	2.5	-562(2)	LIF	[21]

Tablo 2.2 (devam): Tm I çift pariteli enerji seviyelerinin literatürden alınan manyetik dipol hfs sabitleri ve deneysel yöntemler.

Konfigürasyon	Enerji / cm^{-1}	J	A / MHz	Yöntem	Ref
$4f^{12}(^3\text{H}_4) 5d_{5/2} 6s^2$	30124.020	3.5	-454(2)	LIF	[21]
$4f^{12}(^3\text{H}_4) 5d_{5/2} 6s^2$	30302.420	2.5	-490(2)	LIF	[21]
$4f^{12}(^3\text{F}_3) 5d_{5/2} 6s^2$	32174.490	2.5	-390(9)	ABMR	[10]
$4f^{12}(^3\text{F}_2) 5d_{3/2} 6s^2$	32446.260	3.5	-392(6)	ABMR	[10]
$4f^{12}(^3\text{F}_2) 5d_{5/2} 6s^2$	33489.360	1.5	-204(12)	ABMR	[10]
$4f^2 5d 6s 6p$	37138.570	1.5	-718.3(20)		[32]
$4f^3(^2\text{F}^\circ_{7/2}) 6s 7p$	37557.250	3.5	-848.7(3.1)		[32]
$4f^{13}(^2\text{F}^\circ_{7/2}) 6s 7p$	37724.840	2.5	-2263.3(3.9)		[32]
$4f^{12} 5d 6s 6p$	40360.370	3.5	-225.1(8)	OGS	[24]
$4f^{13}(^2\text{F}^\circ_{7/2}) 5d 6p(^3\text{F}^\circ_3)$	40693.630	1.5	-381(6)	OGS	[24]
$4f^{13}(^2\text{F}^\circ_{5/2}) 6s 7s(^3\text{S}_1)$	41074.450	4.5	-280.6(3)	OGS	[24]
$4f^{12} 5d 6s 6p$	41430.237	5.5	-231(5)	OGS	[21]
$4f^{13}(^2\text{F}^\circ_{7/2}) 5d 6p(^3\text{F}^\circ_3)$	41493.034	2.5	-537(8)	OGS	[24]
$4f^{13}(^2\text{F}^\circ_{7/2}) 5d 6p(^1\text{D}^\circ_2)$	42080.152	5.5	-398.1(1.4)	OGS	[24]
$4f^{13}(^2\text{F}^\circ_{7/2}) 5d 6p(^1\text{D}^\circ_2)$	42357.420	1.5	-286.4(1.8)	OGS	[24]
$4f^{13}(^2\text{F}^\circ_{7/2}) 5d 6p(^3\text{F}^\circ_3)$	42429.385	5.5	-393.4(6)	OGS	[24]
$4f^{12} 5d 6s 6p$	42456.470	6.5	-500.2(3)	OGS	[24]
$4f^{12} 5d 6s 6p$	42576.010	4.5	-395.2(1.2)	OGS	[24]
$4f^{12} 5d 6s 6p$	42595.791	5.5	-423.0(1.7)	OGS	[24]
$4f^{13}(^2\text{F}^\circ_{7/2}) 5d 6p(^1\text{D}^\circ_2)$	42667.745	4.5	-445.8(1.6)	OGS	[24]
$4f^{13}(^2\text{F}^\circ_{7/2}) 5d 6p(^3\text{F}^\circ_3)$	42764.664	4.5	-692.1(1.2)	OGS	[24]
$4f^{12}(^3\text{F}_4) 5d 6s 6p(^4\text{F}^\circ_{9/2})$	42868.255	5.5	-383.7(1.0)	OGS	[24]
$4f^{12}(^3\text{F}_4) 5d 6s 6p(^4\text{F}^\circ_{9/2})$	42869.748	6.5	-200(2)	OGS	[24]
$4f^2 5d 6s 6p$	43715.572	5.5	-262.3(1.0)	OGS	[24]

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. ATOMUN YAPISI VE TEK-ELEKTRONLU SİSTEMLER

Atom fiziğinin doğru anlaşılması, elektromanyetik radyasyonların madde ile etkileşimini incelemek için gereklidir. Spektroskopi, soğurulan veya yayılan elektromanyetik radyasyon temelinde, atomik ve moleküler yapıların deneysel ve teorik olarak incelenmesi ile ilgilenen bir bilim dalıdır.

Spektrumların analizi, 19. yüzyıl fizikçileri için kimyasal yapı analizinde en önemli araçtı. 20. yüzyılın başlarına kadar yapılan temel spektroskopik gözlemler hidrojenin sürekli bir spektrumda değil, sadece belirli enerji değerlerine karşılık gelen dalgalarda ışınım yaptığını gösteriyordu. Bu durum, o dönemin fizikçilerine tıpkı hidrojen gibi tüm atomların sürekli spektruma değil sadece belirli enerji değerlerine sahip olabileceği konusunda ışık tuttu. 1911'de Ernest Rutherford, alfa parçacıklarının ince bir altın folyo ile saçılması deneyini yaptı ve atomun pozitif yükünün, elektronlarla çevrili atomun merkezinde yoğunlaştığı ve atom kütesinin çoğundan sorumlu olduğu fikrini öne sürdü. Yaptığı yorumla atom çekirdeğinin keşfini sağlayan Rutherford atom ve nükleer fiziğin temelini atmış oldu. Ancak bir elementin atomik spektrumlarının kesikli dalgalarda olduğunu ve bir atomun kararlılığını açıklayamadı.

Tek-elektronlu sistemler, kuantum mekaniğiyle incelenen en basit atomlardır. Valans yörüngede bulunan ve protonun küresel simetrik Coulomb potansiyelinin etkisi altında hareket eden bir elektrona sahip bu kategorinin ilk elemanı hidrojen atomudur. Hidrojen atomunun kesikli enerji değerleri 1913 yılında Niels Bohr tarafından açıklandı. Bohr, o yıllarda yeni ortaya konan kuantizasyon ve foton kavramlarından yola çıkarak iki önemli postulat öne sürdü. Birinci postulat; bir atomdaki elektron, bir seviyeden diğerine geçtiğinde iki seviye arasındaki enerji farkına tam olarak eşit olan bir miktarda enerji yayar ya da soğurur. İkincisi ise, izinli yörüngedeki bir elektron, h 'nin tam katı olan açısal bir momentuma sahip olmalıdır.

Tüm bu teoriler atomik yapının doğru anlaşılmasının temelini oluşturdu. Her ne kadar Bohr'un yarı klasik teorisi en basit tek elektron atomunun bile tam özelliklerini tanımlayamasa da zihinlerde kolayca görselleştirilebilen bir atom modeli sağladı. Tek elektronlu sistemlerin spektrumunun net bir şekilde anlaşılabilmesi için Bohr'un önemli postulatları ile yazılabilir hale gelen zamandan bağımsız Schrödinger denklemini çözmek gerekir.

Schrödinger denklemi, sadece tek-elektron sistemi için tam olarak çözülebilmektedir. Çoklu elektron sistemleri için bu denklemin çözümü ancak bazı yaklaşımlar yapılarak mümkündür.

H Hamiltonyen operatörü, E sistemin enerji özdeğeri, Ψ dalga fonksiyonu olmak üzere tek-elektron sistemi için zamandan bağımsız Schrödinger denklemi aşağıda verildi:

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

Bu denklemin çözümünden Ψ dalga fonksiyonu elde edilir. Dalga fonksiyonunun tek başına fiziksel olarak bir anlamı olmamakla birlikte, mutlak değerinin karesi elektronun çekirdeğin etrafındaki uzayda bir noktada bulunma olasılığını verir. Dalga fonksiyonu yanında bu denklem çözümünden belirlenmesi gereken diğer bir bilinmeyen ise enerjidir.

Hamiltonyen operatörü ise (3.2) denklemindeki gibi ifade edilebilir:

$$H = -\frac{\hbar^2 \nabla^2}{2\mu} + U(r) \quad (3.2)$$

Burada μ elektronun ve çekirdeğin kütesini içeren indirgenmiş küttedir. Denklemin ilk terimi kinetik enerjiyi, ikinci terim ise potansiyeli ifade eder. Potansiyel enerji sadece konum vektörüne bağlıdır. Dolayısıyla dalga fonksiyonunda açısal ve radyal kısımları ayırmak mümkün olur.

$$\Psi(r, \theta, \phi) = R(r)Y_{lm}(\theta, \phi) \quad (3.3)$$

Denklem 3.3 ve 3.2, eşitlik 3.1 de yerine konulursa;

$$\left[-\frac{\hbar^2 \nabla^2}{2\mu} + U(r) \right] R(r)Y_{lm}(\theta, \phi) = ER(r)Y_{lm}(\theta, \phi) \quad (3.4)$$

bağıntısı elde edilir. Laplace operatörü kutupsal koordinatlarda yazılır ise;

$$Y_{lm}(\theta, \phi) \left[-\frac{\hbar^2}{2\mu} \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial}{\partial r} \right) + U(r) \right] R(r) + \frac{R(r)}{2mr^2} \hat{l}^2 Y_{lm}(\theta, \phi) = ER(r)Y_{lm}(\theta, \phi) \quad (3.5)$$

ifadesi elde edilir.

$\hat{l}^2$ açısal momentumunun karesinin özdeğerleri $\hbar^2 l(l+1)$ ifadesine bağlı olduğu için açısal momentum sadece ;

$$L = |\vec{L}| = \sqrt{l(l+1)} \hbar \quad (l = 0, 1, 2, 3 \dots \dots \dots) \quad (3.6)$$

değerlerini alabilir. Burada l yörünge kuantum sayısıdır. Açısal momentumun z bileşeni için özdeğerler ise $m_l \hbar$ ifadesine bağlıdır.

$$L_z = m_l \hbar, \quad m_l = (0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots \dots \dots) \quad (3.7)$$

değerlerini alabilir. Burada m_l manyetik kuantum sayısıdır.

Elektron atoma bağlı olduğu için enerji mutlaka negatif olmalıdır dolayısıyla enerji sadece belirli kesikli negatif değerler alabilir.

$$E_n = -\frac{\mu Z^2 e^4}{2\hbar^2} \frac{1}{n^2} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (3.8)$$

Bu denklemdeki n tamsayısı baş kuantum sayısı olarak bilinir. Tek elektronlu atomlar için enerji değeri l ve m_l kuantum sayılarına değil, sadece n başkuantum sayısına bağlıdır.

Bir atomda herhangi bir haldeki elektron n, l, m_l kuantum sayıları ile tanımlanır. Her bir l değeri için, $2l+1$ tane m_l değeri vardır. Olası her $n > l$ değeri için E_n dalgafonksiyonu farklı değerler alır. Coulomb potansiyelinin etkisinde, hidrojen atomundaki bu farklı enerji seviyeleri dejenere durumdadır. Yörünge kuantum sayısı l için bu dejenere durum spin yörünge etkileşimleri ve rölativistik etkiler dahil edilerek ortadan kaldırılabilir [33].

Ayrıca elektronların dönme hareketi, ince yapı enerji seviyeleri ile sonuçlanan spin-yörünge etkileşimine neden olur.

3.1.1. Tek Elektronlu Atomlar İçin İnce Yapı

Dış manyetik alan olmadığında, iç manyetik alandan dolayı atomun enerji düzeylerinde küçük bir yarıлма olur. Bu yarılmalara ince yapı yarıлması denir. İnce yapı yarıлmaları, yörünge manyetik momentiyile spin manyetik momenti arasındaki manyetik etkileşimden kaynaklanır.

Hidrojen ve onun gibi diğer tek-elektronlu sistemler için relativistik olmayan Schrödinger denklemi kullanılarak enerji değerleri elde edilir. İnce yapı etkileşmelerinde ise, hem relativistik etkileşmeler hem de spin yörünge etkileşmeleri sisteme dahil edilmelidir.

3.2. ÇOK ELEKTRONLU SİSTEMLERDE MERKEZİ ALAN YAKLAŞIMI VE HARTREE-FOCK YÖNTEMİ

Çekirdeğin etrafında dönen bir tane elektron için oluşturulan Hamiltonyen sadece kinetik enerji ve potansiyel enerji terimlerinden oluşur. Pertürbe olmamış Hamiltonyen ile yazılan Schrödinger denklemi tam olarak çözülebilmektedir. Oysa iki-elektronlu atomlar (veya iyonlar) için denklem çözülmek istendiğinde Hamiltonyen ifadesine pertürbasyon terimlerinin de eklenmesi söz konusu olur ve denklem ancak yaklaşıklık metotları kullanılarak çözülebilir.

Çok elektronlu atomlarda Schrödinger denkleminin çözümüne ulaşabilmek için merkezci alan yaklaşıklığı yapılır. Bu yaklaşıklık, atomda bulunan elektronların her birinin, çekirdek ve diğer tüm elektronların oluşturdukları etkin, küresel simetrik bir $U(\vec{r})$ potansiyelinde, diğer elektronlardan bağımsız olarak hareket ettiklerini kabul eder.

Dış alanların olmadığı durumda N elektrona sahip bir atom için Hamiltonyeni uygun atomik birimleri kullanarak aşağıdaki eşitlik ile verebiliriz:

$$H = \sum_{i=1}^N \left(-\frac{1}{2} \nabla_i^2 - \frac{Z}{r_i} \right) + \sum_{i>j=1}^N \frac{1}{r_{ij}} \quad (3.9)$$

Burada $r_{ij} = |r_i - r_j|$ olmak üzere eşitlikteki terimler:

- 1.terim: Elektronların kinetik enerjisi
2. terim: Çekirdek elektron arası Coulomb etkileşmesi
3. terim: Elektronlar arası Coulomb etkileşmesi

N -elektronlu sistem için dalga fonksiyonu $\Psi(r_1, r_2, r_3, \dots, r_N)$ olarak verilir. Bu durumda Schrödinger denklemi;

$$\sum_{i=1}^N \left(-\frac{1}{2} \nabla_i^2 - \frac{Z}{r_i} \right) + \sum_{i>j=1}^N \frac{1}{r_{ij}} \Psi(r_1, r_2, \dots, r_N) = E \Psi(r_1, r_2, \dots, r_N) \quad (3.10)$$

olarak yazılır.

Schrödinger denkleminde Ψ elektron dalga fonksiyonları Slater determinantı ile yazılabilir.

$$\Psi = \frac{1}{N!} | \Phi(a_i) | \quad (3.11)$$

Ψ dalga fonksiyonu;

- Radyal $\left[R_m(r) \right]$
 - Açısal $\left[Y_{l,m_l}(\theta, \phi) \right]$
 - Spin $\left[\chi_{m_s} \right]$
- } yörüngesel dalga fonksiyonu
- } spin dalga fonksiyonu

olmak üzere 3 bölümden oluşur. Açısal kısmın çözümü küresel harmonik olarak adlandırılır. Toplam enerji, tek elektron enerjilerinin toplamı olarak ifade edilir ve bu değer n ve l kuantum sayılarının değerlerine bağlıdır. Merkezi alan yaklaşıklığında toplam dalga fonksiyonu elektronların bir konfigürasyonunu tanımlar. Böylece, her elektron için baş kuantum sayısı n ve yörünge açısal momentum kuantum sayısı l tanımlanabilir.

Sistem için en uygun dalga fonksiyonlarını belirlemede iterasyon yöntemi kullanılır. Hartree tarafından 1982 yılında geliştirilen bu yöntemin başlangıç noktası zamandan bağımsız parçacık modelidir. Bu metodun dezavantajı Pauli prensibine uymayan dalga fonksiyonlarının kullanılmasıdır. Bunu aşabilmek için Pauli prensibine uyan determinant dalga fonksiyonları kullanılmalıdır. Atom için yazılan toplam dalga fonksiyonu antisimetrik değildir. Bu antisimetri gereğini dikkate alarak Hartree yöntemini Pauli dışarlama ilkesine uygun olarak geliştiren Fock ve Slater olmuştur.

Hartree-Fock yönteminde başlangıçta bağımsız elektron dalga fonksiyonları için bir tahmin yapılmalıdır. Elektronların herbirini tanımlayan yaklaşık bir dalga fonksiyonu seçildikten sonra bu dalga fonksiyonları için çok elektronlu sistemin yük dağılımı hesaplanır. Elde edilen bu fonksiyonlar ortalama merkezi alan potansiyelini bulmak için kullanılır. Bulunan potansiyel enerji kullanılarak Schrödinger denklemi çözülür. Son adımda ise elektronun daha gerçekçi dalga fonksiyonları bulunur [34].

3.2.1. Açısal Momentum Çiftlenim Türleri

Çok elektronlu bir atom içerisinde dolu kabuk dışında kalan elektronlar kısmen doldurulmuş alt kabuklara yerleşir. Bu elektronların spin ve yörüngesel açısal momentumları toplam açısal

momentumun farklı değerlerini sağlamak için farklı şekillerde düzenlenebilir. Açısal momentumun eşleşmesi temel olarak spin-yörünge etkileşiminin veya elektronlar arasındaki elektrostatik Coulomb etkileşiminin hakimiyetine göre sınıflandırılır. Sık kullanılan iki çiftlenim türü özellikleri ile birlikte aşağıdaki tabloda [35] verildi.

Tablo 3.1: Çiftlenim türleri ve özellikleri.

<i>LS - çiftlenimi</i>	<i>JJ – çiftlenimi</i>
Elektronlar arasındaki elektrostatik etkileşim spin-yörünge etkileşimi üzerinde baskındır.	Spin-yörünge etkileşiminin elektronlar arası Coulomb etkileşmesinden baskındır.
Genellikle ($Z < 30$) olan daha hafif atomlar için kullanılır. Atomların düşük enerji durumlarında baskındır.	Ağır atomlarda ve atom çekirdeğindeki proton ve nötronlarda görülür. Yüksek enerji durumlarında etkilidir.
Atom üzerine $B_0 \leq 10^4$ Gauss (Zeeman bölgesi) değerlerinde zayıf bir dış alan uygulandığında bu çiftlenim şekli bozulmaz. Güçlü bir dış manyetik alan etkisinde kırılır.	Paschen-Back etkisi, güçlü bir manyetik alanın ($10^4 \leq B_0 \leq \infty$ Gauss) varlığında atomik enerji seviyelerinin ayrılmasıdır.
Elektronların yörünge açısal momentumları kendi aralarında ve spin açısal momentumları kendi aralarında ayrı ayrı birleşerek elektrona ait toplam açısal momentumu oluşturur.	Her elektronun kendi spin ve yörünge açısal momentumlarının etkileşmesi söz konusudur. Toplam açısal momentum,
$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$	$\vec{J} = \sum_i \vec{J}_i$
Kuantum sisteminin durumu bu çiftlenimde, n, l, m_l, s, m_s kuantum sayıları ile belirlenir.	<i>JJ</i> -çiftleniminde etkin kuantum sayıları, n, l, s, j, m_j dir.

3.3. AŞIRI İNCE YAPI (HYPERFINE STRUCTURE:HFS)

Aşırı ince yapı etkilerini, elektronik enerji düzeylerini yaran (*aşırı ince yapı etkileri*) ve enerji düzeylerini yarmadan hafifçe kaymalarına neden olanlar (*izotop kaymaları*) olmak üzere iki kısımda incelemek uygundur. *İzotop Etkisi* (Enerji Seviyelerinin Hafif Kayması): Çekirdeğin kütle etkisi nedeniyle aynı atomun farklı izotoplarının spektral çizgileri arasında izotopik kayma vardır. İzotop kayması iki farklı şekilde incelenebilir. Biri çekirdeğin kütle etkisinden ötürü *kütle etkisi* ve çekirdeğin yük dağılımının sonlu bir hacim içinde olmasından ortaya çıkan *hacim etkisidir*. *Aşırı İnce Yapı Ayrılması* (Elektronik Enerji Durumlarının

Ayrılması): Aşırı ince yapı enerji seviyelerin ayrılmasıdır. Bu ayrılma, elektronların çekirdekte oluşturdukları elektromanyetik alanla çekirdeğin elektromanyetik çok kutup momentlerinin etkileşmesinden kaynaklanır. Aşırı ince yapı etkileşmelerinde atomun enerji seviyeleri 10^{-3} cm^{-1} ile 1 cm^{-1} arası mertebelerde ayrılmış durumdadır.

Kuark adı verilen temel parçacıkların bir araya gelmesi ile oluşan proton ve nötronlar elektronlardan çok daha ağır olan çekirdekleri oluştururlar. Nötronlar protonlardan ihmal edilebilecek miktarda daha ağırdır ki bunun sonucu olarak atomlar kararlı bir yapıya sahiptirler. Çekirdekte bulunan nötronlar ile protonların kütle merkezi etrafında dönmesi yoğun çekirdek ortamında oldukça zor olmasına rağmen, nötronlar ve protonlar spin hareketlerini yaparlar. Proton ve nötronlar spin dipol momentine sahiptirler ve birbirlerinin etkisi altında dipol momentleri kendi aralarında çiftlenirler. En sonda proton, nötron ya da her ikisinin birden çiftlenmemiş dipol momentleri kalır ki böylece çekirdeğin dipol momenti oluşur. W. Pauli aşırı ince yapıyı açıklayabilmek için çekirdeğin spin ve manyetik momentlere sahip olduğunu önerdi. Çekirdeğin açısal momentumu I , çekirdek spin kuantum sayısı olarak bilinir ve kütle numarası çift sayılı olan çekirdekler için tam değerler, kütle numarası tek olan çekirdekler için yarım ve katları şeklinde değerler alabilir. $I = 0$ olduğu durumlarda aşırı ince yapı yarılmaması gözlenmez. $I = 1/2$ olduğu durumlarda ise aşırı ince yapı yarılmaları sadece manyetik dipol etkileşimi nedeniyle gerçekleşir. Elektrik kuadropol etkileşimi katkısı ise sıfırdır.

Çekirdek elektromanyetik çok kutup momentine sahiptir ve bu momentler çekirdekte elektron-elektron etkileşmeleri tarafından üretilen elektromanyetik alanla etkileşime girerler. Bu etkileşimler iki türlü aşırı ince yapı etkileşimine yol açar.

3.3.1. Manyetik Dipol Aşırı İnce Yapı Etkileşimleri

Çekirdek spin kuantum sayısı I için, I^2 işlemcisinin özdeğerleri $\hbar$ cinsinden $I(I+1)$ ile ifade edilebilir. Dolayısıyla I çekirdek spini 3.12 de verildiği gibi hesaplanabilir [36].

$$|\vec{I}| = \sqrt{I(I+1)} \hbar \quad (3.12)$$

I çekirdek spini tam ya da yarım değerler alabilir. Tam değerler durumunda çekirdek bir bozondur ve Bose-Einstein istatistiğine uyar. Yarım değerler durumunda ise Fermi-Dirac istatistiğine uyan bir fermiyondur.

Çekirdek açısal momentumunun z bileşeni I_z işlemcisi ile gösterilir ve özdeğerleri $m_I \hbar$ ile verilir. m_I nin mümkün değerleri $-I, I - 1, \dots \dots I$ dir [36].

Manyetik moment ve çekirdek spini arasındaki ilişki;

$$\vec{\mu}_I = \gamma \vec{I} \quad (3.13)$$

Burada γ jiromanyetik orandır.

$$\mu_N = \frac{e}{2m_p} \hbar = \frac{m_e}{m_p} \mu_B = \frac{\mu_B}{1836} = 5.05 \times 10^{-27} J T^{-1} \quad (3.14)$$

ilişkisi elde edilir. Burada μ_B Bohr magnetonudur. Bu ifadeden yararlanarak manyetik moment;

$$\vec{\mu}_I = \frac{g_I \mu_N}{\hbar} \vec{I} \quad (3.15)$$

ile verilir. Burada g faktörü boyutsuz bir sayıdır.

m_I için en büyük mümkün değer I 'dir ve μ_I için maksimum değer denklem (3.16) ile verilebilir.

$$|\mu_I| = g_I \mu_N I \quad (3.16)$$

Elektronun toplam açısal momentumu $\vec{J}$ ve çekirdeğin toplam açısal momentumu $\vec{I}$ atomun toplam açısal momentumu $\vec{F}$ 'nü oluşturur. $\vec{F}$ 'nin $\vec{I}$ ve $\vec{J}$ 'ne bağımlılığı 3.17 denkleminde olduğu gibi belirtilir.

$$\vec{F} = \vec{I} + \vec{J} \quad (3.17)$$

Burada I ve J'nin vektörel toplamı ikisi arasındaki açının kosinüsü; $\cos \alpha = \frac{\vec{J} \cdot \vec{I}}{|\vec{J}| \cdot |\vec{I}|}$ alınması ile mümkündür. $\vec{J} \cdot \vec{I}$ çarpımı;

$$\vec{J} \cdot \vec{I} = \frac{1}{2} (F^2 - J^2 - I^2) \quad (3.18)$$

ile hesaplandığı için;

$$\cos(\vec{J} \cdot \vec{I}) = \frac{1}{2} \frac{F(F+1) - J(J+1) - I(I+1)}{\sqrt{J(J+1)I(I+1)}} \quad (3.19)$$

ifadesi ile elde edilir.

Böylece aşırı ince yapı enerjisi 3.20 denklemi ile hesaplanır.

$$\Delta E_{HFS} = \frac{A}{2} [F(F+1) - J(J+1) - I(I+1)] \quad (3.20)$$

Buradaki 3.21 eşitliği ile verilen manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A , elektron tarafından üretilen dahili manyetik alana ve bu nedenle j elektronik açısal momentuma bağlıdır. [37]

$$A = \frac{g_N \mu_N B_j}{\sqrt{j(j+1)}} \quad (3.21)$$

3.3.1.1. Manyetik Dipol Aşırı İnce Yapı Etkileşmeleri için Aralık Kuralı ve Özellikleri

I spin kuantum sayısına sahip belli bir çekirdek için, bir ince yapı atomik enerji düzeyi F ile gösterilen aşırı ince yapı bileşenlerine ayrılır. Bu düzeylerin her biri $2F+1$ kez dejeneredir.

Bu I değerinin J değerinden küçük veya büyük olmasına bağlı olarak $(2I+1)$ veya $(2J+1)$ ihtimale karşılık gelir. Bu durum aşırı ince yapı çokluğu olarak adlandırılır. İki komşu aşırı ince yapı düzeyi arasındaki enerji farkı F ile orantılıdır.

$$\begin{aligned} \Delta E_{\mu I} &= E_{\mu I}(F+1) - E_{\mu I}(F) = \frac{A}{2} [(F+1)(F+1+1) - F(F+1)] \\ &= A(F+1) \end{aligned} \quad (3.22)$$

Bu “aralık kuralı” olarak adlandırılır. F için mümkün değer aralığı $|I-J| \leq F \leq I+J$ ile ifade edilir.

Eğer $E_{(F)} > E_{(F-1)}$ ise aşırı ince yapı ayrışması normal yarıлма olarak adlandırılır. $E_{(F)} < E_{(F-1)}$ ise ayrışma ters yarıлма olarak adlandırılır. Her ikisi de A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitinin işaretine bağlıdır. Normal yarıлма durumunda g_I ve A pozitif iken ters yarıлма durumunda g_I ve A negatiftir. Burada g_I Lande çarpanıdır.

Çiftlenmemiş s elektronları için yarıлма genişliği en büyüktür. Elektrik dipol seçim kuralı F için; $\Delta F = 0, \mp 1$ ile verilir. Fakat $F = 0$ 'dan $F = 0$ 'a olan geçişler mümkün değildir. Aşırı ince yapı düzeylerinin herbiri $(2F+1)$ kez dejeneredir ve bu m_F kuantum sayısına bağlı

değildir. Bu dejenerelik bir dış manyetik alan uygulanarak kaldırılabilir. Bu durum aşırı ince yapıda Zeeman Etkisi olarak adlandırılır [33,36].

3.3.2. Elektrik Kuadropol Aşırı İnce Yapı Etkileşimleri

1935'te Europium (Eu) atomunun izotoplarının optik spektrumlarının, aralık kuralına uymadığı ve sadece manyetik dipol aşırı ince yapı tarafından değil, çekirdekteki elektriksel kuadropol momentlerinin varlığı ile açıklanabildiği bulundu. Elektrik kuadropol moment, çekirdeğin önemli bir özelliğidir. Çekirdekteki yük dağılımının küresel simetriden sapmasının bir ölçüsüdür ve Q ile ifade edilir.

Çekirdeğin elektrik kuadropol momentini ile çekirdekten bir elektron tarafından yaratılan elektrostatik potansiyel V arasındaki etkileşim enerjisi, kuadropol moment etkileşim enerjisi olarak bilinir ve elektrik kuadropol etkileşimi nedeniyle oluşan enerji aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$E_Q = \frac{B}{4} \left[\frac{\frac{3}{2}C(C+1) - 2I(I+1)J(J+1)}{IJ(2J-1)(2I-1)} \right] \quad (3.23)$$

Burada $C = F(F+1) - I(I+1) - J(J+1)$ Casimir sabitidir.

$$B = eQ \left[\frac{\partial^2 V}{\partial Z^2} \right] \quad (3.24)$$

Elde edilen alan değişimi türevi çekirdeğin kuadropol momentlerini belirlemek için bilinmesi gereken bir ifadedir. 's' elektronları için elektrik potansiyelin atom numarasına göre ikinci türevi sıfır olduğundan B değeri de sıfır olur. Kuadropol moment, $Q = 0$, yük dağılımının küresel olarak simetrik olduğunu gösterir. Çekirdek spini 0 ya da $\frac{1}{2}$ ise bu durumda çekirdeğin elektrik kuadropol momentini yoktur.

F kuantum sayısına sahip bir atomun aşırı ince yapı toplam enerjisi, denklem 3.25'de olduğu gibi, iki manyetik dipol ve elektrik kuadropol etkileşim enerjilerinin toplamı ile bulunur.

$$\Delta E = \frac{hAC}{2} + \frac{hB}{4} \left[\frac{\frac{3}{2}C(C+1) - 2I(I+1)J(J+1)}{IJ(2J-1)(2I-1)} \right] \quad (3.25)$$

Yukarıdaki denkleme göre, kuadropol etkileşimin ve manyetik dipol etkileşiminin F 'ye farklı bir bağımlılığı olduğu ve bu nedenle kuadropol etkileşimin aralık kuralının ihlal edilmesinden sorumlu olduğu söylenebilir. Yani aşırı ince yapı terimleri daima ΔE kadar kaymışlardır ve böylece aralık kuralı bozulmuştur. Kuadropol kayması, kristaller için kullanılan atomik spektroskopide aşırı ince yapı analizi sırasında hesaba katılmak zorundadır [36].

3.3.3. Aşırı İnce Yapı Sabitlerinin Deneyisel Olarak Belirlenmesi ve Seçim Kuralları

Manyetik dipol ve elektrik kuadropol etkileşimleri aşırı ince yapı seviyelerinin bölünmesine yol açar. Dolayısıyla denklem (3.25), A ve B aşırı ince yapı sabitlerini de içerecek şekilde aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\Delta E = \alpha hA + \beta hB \quad (3.26)$$

Burada α ve β Casimir faktörleri olarak bilinir ve aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir.

$$\alpha = \frac{1}{2} [F(F+1) - I(I+1) - J(J+1)] = \frac{C}{2} \quad (3.27)$$

$$\beta = \frac{\frac{3}{2}C(C+1) - 2I(I+1)J(J+1)}{4IJ(2J-1)(2I-1)} \quad (3.28)$$

Optik geçişler aşağıdaki seçim kurallarına uymalıdır:

1. İki farklı ince yapı seviyesi arasında elektrik dipol geçişleri için seçim kuralları $\Delta J = 0, \pm 1$ ve $\Delta F = 0, \pm 1$ olarak verilir. Her biri $F = 0$ olan iki aşırı ince yapı seviyesi arasındaki geçişler yasaktır. Aynı durum J için de aynıdır.
2. Yalnızca çift pariteye sahip enerji seviyelerinden, tek pariteli enerjiye ya da tek pariteli seviyelerden çift pariteli seviyelere geçiş mümkündür. Yani pariteler farklı olmalıdır.
3. İzinli geçişlerin her biri, bir spektral çizginin aşırı ince yapı modelinin bir bileşenini temsil eder. Bu bileşenler denklem 3.29 ile ifade edilebilir.

$$\nu = \nu_c + \alpha_{üst}(F_{üst}, J_{üst}, I)A_{üst} + \beta_{üst}(üst, J_{üst}, I)B_{üst} - \alpha_{alt}(F_{alt}, J_{alt}, I)A_{alt} - \beta_{alt}(F_{alt}, J_{alt}, I)B_{alt} \quad (3.29)$$

A ve B değerleri, üst ve alt seviyelerin aşırı ince yapı etkileşim sabitleridir. Seviyeler için tanımlanan aşırı ince yapı sabitleri, o seviyeler için karakteristik bir özelliktir; yani her seviyenin tek bir A ve B değeri olabilir [33].

3.4. SPEKTRAL ÇİZGİ GENİŞLEMELERİNİN NEDENLERİ VE FORMLARI

Işığın madde ile etkileşimi sonrası süreçte gözlenen fiziksel büyüklüklere ait fiziksel cevabın “çizgi” olarak adlandırılması, görünür bölge spektroskopisi ile yapılan ilk çalışmalara dayanır. Bu çalışmalarda, atomik süreçler (soğurma, emisyon gibi), fotoğraf kartı üzerine bir çizgi olarak beliriyor ve bu gözlem yardımı ile basit bir kalibrasyon süreci sonrası geçişlerin dalgaboyu karşılığı bulunabiliyordu. Günümüzde, enstrümantasyonun gelişmesi ile spektroskopi daha gelişmiş cihazlarla (yüksek çözünürlüklü CCD kameralar ve monokromatörler) yapıldığından bu çizgi yerine dijital bir pik kaydedilmektedir. Bu cihazların oluşturduğu düzeneğin mükemmel olduğu varsayılsa bile, ölçüm yapılan ortamdaki fiziksel süreçler sebebiyle ölçülen fiziksel cevabın tam anlamıyla bir çizgi şeklinde olması mümkün değildir. Çizgiler istatistiksel olarak bir dağılıma sahip olacak şekilde genişleyecektir ve bu dağılım hangi fiziksel olayın sürece dahil olduğuna bağlı olarak değişmektedir [37,38].

Çizgi genişlemeleri, homojen ve homojen olmayan olmak üzere iki farklı yapı gösterir. Alınan bir numunede soğurma veya emisyon olasılığının tüm atomlar için aynı olması durumuna homojen çizgi genişlemesi, farklı olması durumuna ise homojen olmayan çizgi genişlemesi denir.

Bu bölümde genişlemeye katkıda bulunan dört süreç incelenecektir. Bunlardan ilki doğal çizgi genişlemesidir ve hiçbir şekilde indirgenmesi mümkün değildir. Atomik spektrum ölçümlerinde önemli bir genişleme kaynağı Heisenberg belirsizlik ilkesidir. Sözü edilen belirsizlik, uyarılan elektron için uyarıldığı enerji seviyesinde ne kadar süre kaldığını belirlemede yapılan ölçümdeki belirsizlik kadardır. Spektral geçişteki seviyelerden birinin veya he ikisinin de sonlu yaşam ömrüne bağlı olarak genişleme meydana gelir. Belirsizlik miktarı denklem 3.30’da verildiği gibi Planck sabiti kadardır [37,38]:

$$\Delta E \Delta \tau \geq \frac{\hbar}{2} \quad (3.30)$$

Denklem 3.30'da τ , atomik geçişlerde bir seviyeye ait sonlu yarı ömrü ifade etmektedir. Bu genişlemenin şiddet profili Lorentz dağılımı ile denklem 3.31'deki ifadeye uymaktadır:

$$I(\omega - \omega_0) = \frac{\frac{1}{2\pi}\gamma}{(\omega - \omega_0)^2 + \left(\frac{\gamma}{2}\right)^2} \quad (3.31)$$

Burada γ ve $(\omega - \omega_0)$, sırasıyla bozunma sabiti ve atomik geçiş açısal frekanslarını temsil etmektedir. Spektral genişleme miktarı yarı ömrün tersi ile orantılıdır [38]. Doğal çizgi genişlemesi homojendir. Bu genişleme kararlı seviyeler için 10 MHz civarında olup yarı kararlı seviyelerde ise sadece birkaç Hz'dir.

İkinci bir önemli genişleme homojen olmayan Doppler çizgi genişlemesidir. Bir çizgi hangi fiziksel süreç sonucunda gözleniyorsa gözlemlenir, spektral genişlemesi frekansa bağlı olacaktır. Yaklaşmakta olan bir aracın kornası nasıl farklı tonlarda geliyormuş gibi algılanıyorsa, atomik ölçümlerde de ölçülen frekanslar, hıza bağlı olarak değişecektir. Buna, sürece dahil olan fiziksel olaya atfen, Doppler genişlemesi adı verilir.

Bir atom, ölçüm yapan detektöre doğru V hızı ile hareket ediyorsa, ν olan frekansı, denklem 3.32'e göre ν_a olarak ölçülecektir.

$$\nu_a = \nu \left(1 - \frac{V}{c}\right)^{-1} \quad (3.32)$$

Bu ifadede c , ışık hızını temsil etmektedir. Maxwell hız dağılımı denklemi kullanılırsa, frekanstaki genişleme denklem 3.33'deki gibi olur:

$$\Delta\nu = \frac{\nu}{c} \left(\frac{2kT \ln 2}{m}\right)^{1/2} \quad (3.33)$$

Denklem 3.33'de m , detektöre yaklaşmakta olan atomun kütlesidir. Örneklendirecek olursak, Sodyum atomu için, 500 K sıcaklıkta çizgi genişlemesi 1.7 GHz'dir.

Şiddet profili de,

$$I(\omega) = I_0 e^{-\left(\frac{c(\omega - \omega_0)}{\omega_0 V}\right)^2} \quad (3.34)$$

ifadesi ile verilmektedir. Bu ifade Gauss dağılımına uyar [38].

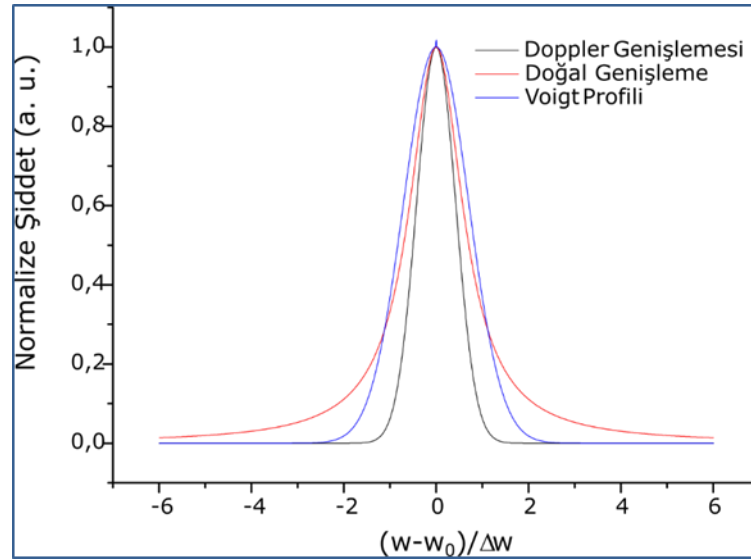
Diğer bir genişleme basınç veya diğer bir adı ile çarpışma genişlemesidir. Gaz fazındaki ortamda bulunan atomların, birbirleri ile ve/veya iyonlar ile çarpışmaları sonucu oluşan genişlemedir. Çarpışmalar, temel haldeki enerji seviyelerinde küçük değişimler meydana getirir ki bu durum yayılan ya da soğurulan ışınların dalga boyunda değişmelere neden olur. Çarpışmalar arasındaki ortalama zaman aralığı τ olsun. Atomların çarpışması iki enerji seviyesi arasında bir geçişte olduğunda, bir genişleme ($\Delta\nu$) gözlenir. $\Delta\nu$, denklem 3.35’de verildiği gibidir [39] ;

$$\Delta\nu = (2\pi\tau)^{-1} \quad (3.35)$$

Lorentz profiline uyar ve homojendir.

Son olarak ise enerji seviyelerinin nüfus yoğunluğu değişimi nedeni ile oluşan hem Lorentz hem de Gauss profiline uyan saturasyon çizgi genişlemesidir.

Bazı fiziksel süreçler, spektral çizginin genel itibariyle Lorentz şeklinde genişlemesini gerektirirken, bu profilin kanat kısımlarındaki genişlemeden olumsuz etkileneceğinden, bu bölgenin Gauss profilinin kanatlarına benzemesi uygun olur. Dolayısıyla iki genişleme sürecinin konvolüsyonu olan bir çizgi genişleme şekli ihtiyacı doğar. Bunu veren ifade Voigt profilidir. Bu profil ile birlikte diğer süreçlerin karşılaştırılması Şekil 3.1’de verilmiştir [38].



Şekil 3.1: Doppler, Voigt ve doğal genişleme profillerinin karşılaştırılması.

3.5. TULYUM ELEMENTİ

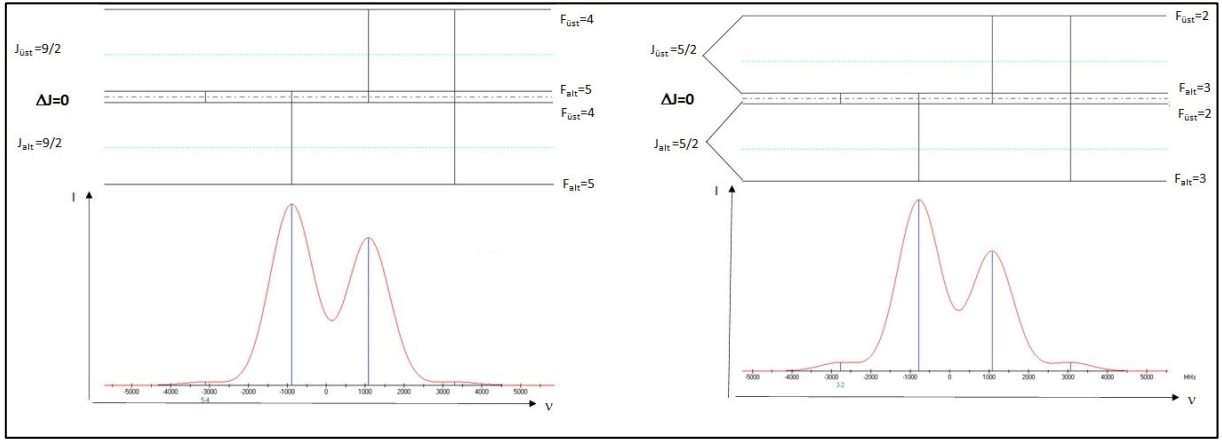
Atom ağırlığı 168.93421 g/mol ve atom numarası 69 olan tulyum elementi karardır ve lantanitler serisinde yer alır. Lantanitler genel olarak geçiş metallerinin bir alt serisini oluşturur ve nadir toprak elementi olarak adlandırılır. Elementin yoğunluğu 9321 kg m⁻³ dir. Hekzagonal kristal yapısındadır ve fiziksel hali katıdır. Erime noktası 1545 °C ve kaynama noktası 1950 °C dir [40].

Atom yarıçapı 176 pm olan elementin, Pauling elektronegatiflik ölçeğinde elektronegatifliği 1.25'tir. Birinci iyonlaşma enerjisi ise 49879.8 cm⁻¹ (6.18431 eV) olarak verilir [41].

1879 yılında keşfedilen elementin elektron dizilimi [Xe] 4f¹³ 6s² şeklinde dir. Alkali ve toprak alkali gruplardan alınan atomlar karşılaştırıldığında, lantanitlerin spektrumları 4f kabuk elektronlarının varlığı nedeniyle önemli ölçüde daha zengindir [42].

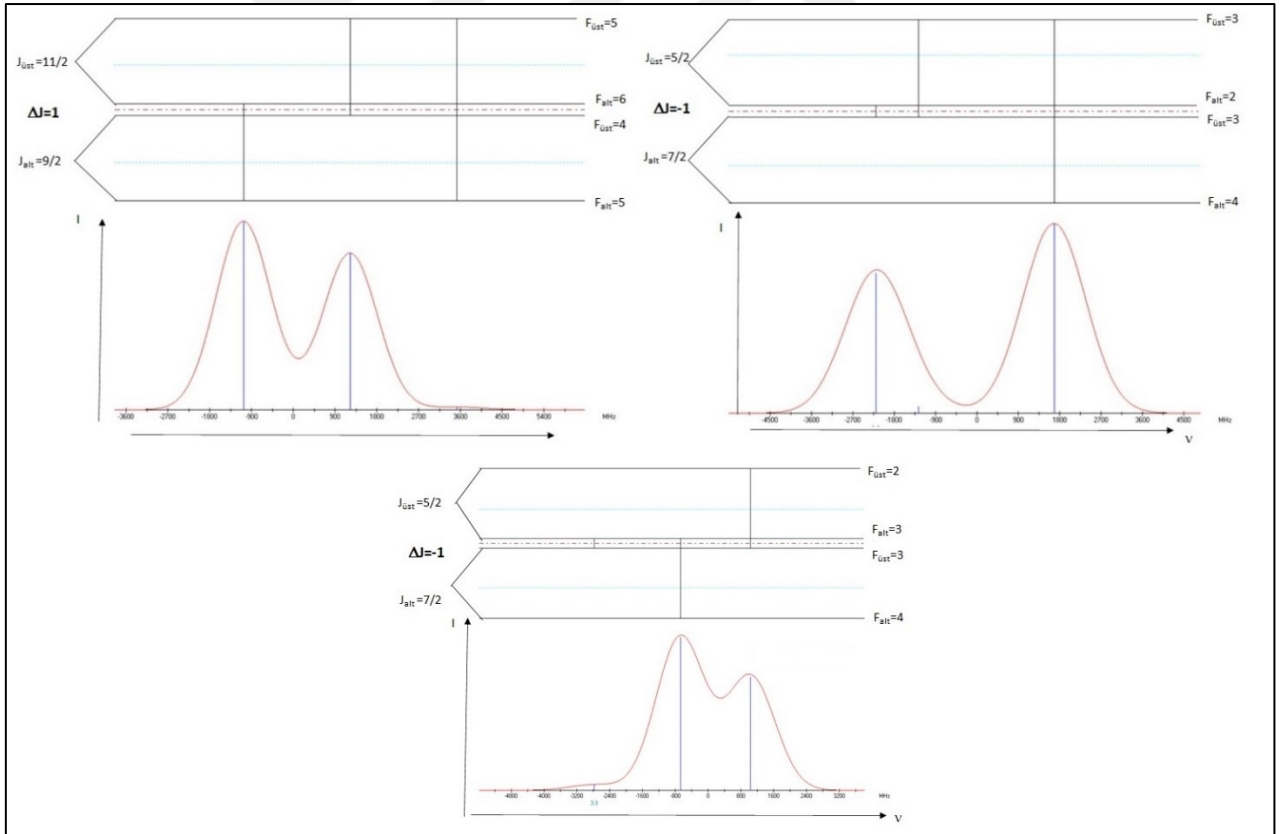
%100 bolluğa sahip ¹⁶⁹Tm'un çekirdek manyetik dipol momentı $\mu_I = -0.2316 \mu_N$ dir [43]. Bu karardlı izotopun çekirdek spini $I = 1/2$ dir ve bu nedenle elektrik kuadropol momentı bulunmayıp sadece manyetik dipol aşırı ince yapı ayrılması mevcuttur. Her bir ince yapı seviyesi sadece iki aşırı ince yapı seviyesine ayrılır. Sonuç olarak her ince yapı geçişi, üç veya dört aşırı ince yapı bileşeninden oluşur. Buna göre, Tm-çizgileri çok basit bir yapıya sahiptir.

Elektrik dipol radyasyonu için, $\Delta J = 0$ olan çizgiler dörde bölünür. $\Delta J = 0$ için olası çizgi yapıları şekil 3.2'de verildi. İki güçlü ve iki zayıf bileşenin pozisyonları $\Delta J = 0$ olan geçişler durumunda yapının merkezine simetrik olabildiği gibi, iki güçlü bileşenin konumunun değiştiği çizgi yapıları veya birkaç bileşenin akıştığının gözleendiği çizgiler de mümkündür ve bu geçişlerdeki iki zayıf bileşen aynı yoğunluğa sahiptir.



Şekil 3.2: $\Delta J = 0$ için olası çizgi yapıları.

$\Delta J = \pm 1$ olan çizgiler üç bileşene ayrılır ve burada J atomdaki tüm elektronların toplam açısal momentumunu tanımlar. $\Delta J = \pm 1$ için olası çizgi yapıları Şekil 3.3’de verildi. $\Delta J = \Delta F$ olan bu bileşenlerden ikisi neredeyse çizginin tam yoğunluğunu taşır.



Şekil 3.3: $\Delta J = \pm 1$ için olası çizgi yapıları.

3.6. DENEYSEL YÖNTEM: FOURIER TRANSFORM SPEKTROSKOPİSİ (FTS)

Fourier dönüşüm spektroskopisi ilk kez uzak yıldızların infrared spektrumlarını incelemek için astronomlar tarafından kullanılmış ve böylece çevresel gürültülerin örttüğü zayıf sinyaller gözlenebilmiştir. İlk kimyasal uygulamalar ise 1960'lı yıllarda başlamış ve ticari amaçlı cihazlar üretilmiştir [44].

Bu spektroskopik yöntemin birden çok avantajı vardır. Bunlardan en önemlisi bu cihazlarda çok az optik elemana ihtiyaç duyulmasıdır. Bu özellik dedektöre ulaşan ışınların şiddetinin yüksek olmasını sağlar ve böylece büyük sinyal/gürültü değeri elde edilebilir. Diğer önemli avantajı ayırım güçlerinin büyük ve dalgaboyu tekrarlanabilirliğinin iyi olmasıdır. Bu avantaj karmaşık spektrumlardan oluşan çizgilerin analizini mümkün kılar. Fourier dönüşüm spektroskopisinin üçüncü önemli avantajı ise incelenen örnekteki bütün elementlerin sinyallerinin dedektöre aynı zamanda gelmesine imkan vermesidir. Böylece spektrum bir saniyeden daha az bir süre içerisinde kaydedilebilir. Örneğin, Fourier dönüşüm spektroskopide olduğu gibi interferometreli bir spektrometre, bir taramanın her bir zaman elemanı boyunca belirli bir spektrumun tümünden bilgi alırken, geleneksel bir kırınım ağı spektrometre, aletin çıkış yarığının içinde bulunan çok dar bir bölgeden bilgi alır. Böylece, interferometre bütün bir tarama boyunca tüm spektral aralık hakkında bilgi alırken, kırınım ağı belirli bir zamanda sadece dar bir bantta bilgi alır [44].

Fourier dönüşümlü spektrometrelerin avantajları aşağıdaki gibi verilebilir;

- 1) Çok büyük çözme gücü.
- 2) Yüksek dalga boyu doğruluğu.
- 3) Önemli ölçüde azalmış istenmeyen akı sorunları.
- 4) Bir taramayı başarıyla tamamlama olasılığını artıran hızlı tarama süresi.
- 5) Tarama başına büyük dalga boyu aralığı.
- 6) Zayıf sinyal ölçümleri yapma imkanı.
- 7) Kompleks yansıma veya aktarım katsayılarının genlik spektroskopisinde ölçüm.

9) Temel optik ekipmanın düşük maliyeti [45,46].

Başta sinyal/gürültü değerlerinin yüksek gelmesi olmak üzere diğer üstünlükleri de göz önünde bulundurulunca özellikle yakın infrared spektrometrelerin tümünde Fourier dönüşüm prensibi benimsenmiştir.

Fiziksel Prensip

Fourier dönüşümü spektroskopisi bir interferometrik optik kurulum içinde uygulanan güçlü bir spektral analiz tekniğidir. Fourier dönüşümünü uygulayan zaman bağımlı spektroskopide, ışın şiddeti zamanın fonksiyonu olarak elde edilir. Bu zaman bağımlı sinyaller, optik spektroskopi ile ilgili ışınım frekans aralığında deneysel olarak elde edilemezler. Bu yüzden bu sinyallerin ölçülebilir bir frekansa dönüştürülmesi (modüle edilmesi) gerekir. Michelson interferometresi optik bölgedeki ışınların modüle edilmesi için yaygın olarak kullanılır. Michelson interferometresi ile yapılmış uygulamalarda interferometrenin çıkış yoğunluğu, interferometrenin iki kolu arasındaki değişken bir optik yol farkı için ölçülür; bu, tipik olarak hareketli bir ayna ile elde edilir. İnterferometre optik gecikmesini tarayarak dalgaboyundan bağımsız bir desen elde edilir. Bu da interferometreye girdi olarak verilen spektrumun Fourier dönüşümü (FT) hesaplanmış şeklidir [45,46].

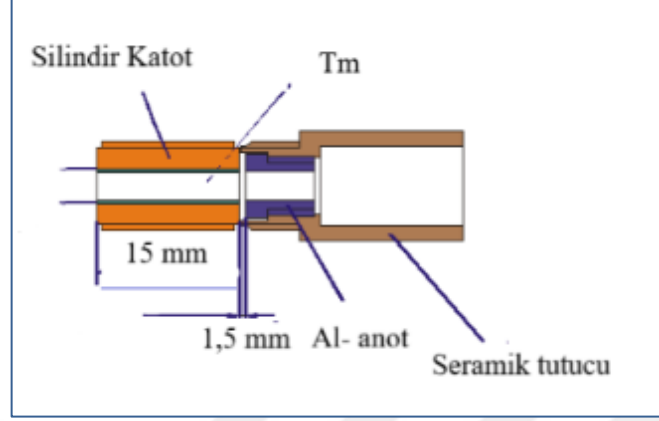
Fourier dönüşüm spektroskopisinde (FTS), dedektörün çıkışı, genellikle zamanın bağımsız değişkeninin bir fonksiyonu olan bir değer olarak gösterilebilir. Belirli bir sonlu ölçüm süresi içinde elde edilen bir sinyal olarak kabul edilebilir. Fourier dönüşümü, zamana bağlı bu fonksiyonu, istenen spektrumun temsili olan frekans fonksiyonuna bağlı bir genliğe dönüştürmek için kullanılabilecek matematiksel bir işlemdir [45,46].

Deney Şartları

Tulyum elementinin 400-700 nm aralığındaki görünür bölge FT spektrumu, Letonya Üniversitesi'nde yer alan Laser Merkezi'nde yapılan deneysel çalışma ile elde edildi.

Deneyde ticari olmayan, el yapımı içi oyuk silindir katot lamba ışık kaynağı olarak kullanıldı. %99,9 saflıkta tulyum elementine ait folyo, 15 mm uzunluğundaki bakır malzemeden yapılan silindir katodun içine rulo yapılarak yerleştirildi ve bu katot, bir cam tüpün merkezine konuldu.

Katodun her iki yanına silindirik alüminyum anot, katot-anot arası mesafe 1,5 mm olacak şekilde yerleştirildi (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: Silindirik katodun şematik gösterimi.

Cam tüpün içindeki havanın tamamen boşatılması amacı ile 10^{-7} mbar civarında vakum ortamı yaratıldı. Plazma ortamını sağlamak için cam tüp içine Ar asal gazı verildi. Bir tam ölçüm tamamlandıktan sonra bir kez de Ne asal gazı kullanılarak deney tekrarlandı. Deney süresince asal gaz basıncı, Ar için, 1,75 mbar - 3 mbar aralığında ve Ne için ise, 3,4 mbar seviyesinde tutuldu. DC güç kaynağına bağlanan anot ile katot arasına gerilim uygulandı. Gerilim ile sıcaklık doğru orantılıdır. Ölçümler boyunca sıvı azot ile soğutulan lamba her iki soygaz için 50 mA - 70 mA akım aralığında çalıştırıldı. Sıvı azot soğutması, tulyum atomlarının silindirik katot içinde kalmasını sağlamanın yanı sıra sıcaklığa bağlı olan Doppler çizgi genişlemesini de azaltır. Lamba içindeki basınç nedeni ile Ar atomları çarpışır ve iyonlaşırlar. İyonlar uygulanan gerilim nedeni negatif yüklü katoda doğru hızlanarak çarparlar ve katodun iç yüzeyinden tulyum atomlarını koparırlar. Yüksek enerjiye sahip iyonlar ile çarpışan tulyum atomları, daha üst seviyelere uyarılabilir veya iyonize olabilirler.

Lambanın kararlı olarak çalışması ve uyarılan atom sayısı, anot-katot arasına uygulanan potansiyele bağlıdır.

Silindirik katot boşalımından elde edilen emisyon ışınımı, aynalar ve lensler kullanılarak FT Spektrometresi'ne yönlendirildi. Optik ışınının ölçülebilir frekansa dönüştürülmesi amacı ile giriş açıklığı 1 mm ve spektral çözünürlüğü $0,025 \text{ cm}^{-1}$ olan Bruker IFS 125HR Fourier Transform spektrometresi ve spektrumun kaydedilmesi için yüksek katot ve anot duyarlılığında geniş spektral tepkilere sahip olan Hamamatsu R928 fotoçoğaltıcı tüp (PMT) kullanıldı.

3.7. SPEKTRUMUN İNCELENMESİ VE DENEY VERİLERİNİN ANALİZİ

Tulyum atom ve iyonunun spektral çizgilerinin incelendiği ve elemente ait ince yapı enerji seviyelerinin bilinmeyen manyetik dipol aşırı ince yapı sabitlerinin belirlendiği bu tez çalışması dört farklı adımda gerçekleştirildi.

- **İlk adım deneysel çalışma:**

Letonya Üniversitesi Laser Merkez’inde yapılan deneylerde yöntem olarak Fourier Transform Spektroskopisi (FTS) kullanıldı. Tulyum metaline ait çizgileri ayırt edebilmek amacı ile iki farklı asal gaz (argon ve neon) kullanılarak görünür bölge dalga boyu aralığında tulyum elementinin spektrumu ayrı ayrı alındı.

- **İkinci adım spektral-çizgilerin sınıflandırılmasının yapılması:**

Belirlenen Tm çizgileri “sınıflandırılma programı” kullanılarak tanımlandı (Klasifikasyon programı) [3]. Sınıflandırma işleminin yapılabilmesi için argon ve neon asal gazları ile elde edilen iki spektruma ait sinyal seviyeleri normalize edildi ve bu iki spektrumun üstüste karşılaştırılması işlemi yapıldı. Böylece tulyum elementine ait çizgilerin asal gaz çizgilerinden (Ar veya Ne) ayırt edilebilmesi sağlandı.

- **Üçüncü adım sınıflandırılma işlemi tamamlandıktan sonra çizgilerin fit programına hazırlanması:**

400 nm – 700 nm dalga boyu aralığında alınan tüm spektrumdan sadece incelenecek geçişe ait spektrumun ölçüm verilerinin tüm verilerden seçilip çıkartılması işlemi için Origin programı kullanıldı. Bu veriler ile manyetik dipol aşırı ince yapı sabitlerinin belirlenmesi amacı ile yapılacak olan fit işlemi için gerekli olan giriş dosyaları oluşturuldu.

- **Dördüncü adım:**

Bilinmeyen deneysel manyetik dipol aşırı ince yapı sabitlerinin belirlenmesi için Fitter programı kullanıldı [4]. Ayrışmamış olan çizgiler için, manyetik dipol hfs sabitlerinin belirlenmesi amacı ile Octave 5.2.0 programı yardımı ile bir kod yazıldı.

3.7.1. Çizgilerin Sınıflandırılması

Bir spektral çizginin aşırı ince yapısının tam olarak anlaşılması, seviyelerin sınıflandırılması, aşırı ince yapı sabitleri ile diğer parametrelerin belirlenmesi için detaylı bir spektrum analizi gereklidir. Spektrum analizinde kullanılan programlardan biri olan “sınıflandırma programı”, her elemente ait karakteristik yapıda olan spektrumları değerlendirmek için kapsamlı özel bir program olup Prof. Dr. L. Windholz (Graz-Avusturya) tarafından geliştirilmiştir [3].

Atomdaki etkileşimlerin açıklanmasını ve spektrumun sınıflandırılabilmesini sağlaması açısından elektronik seviyelere ait bilgiler önemlidir. Bu bilgilere ancak çok sayıda spektral çizginin deneysel olarak incelenmesiyle ulaşılabilir. Özetle sınıflandırma programı, incelenen elemente ait deneysel olarak belirlenebilen tüm spektral çizgileri yönetmek için kullanılan bir bilgisayar programıdır. Bu program ile, bilinen çizgilerin ve bilinmeyen çizgiler için belirlenen aşırı ince yapı sabitleri kullanılarak çizgilerin sınıflandırılması sağlanır. Program hem atomik hem de iyonik çizgiler için eşzamanlı olarak çalışmaktadır [3].

Programda kullanılan giriş dosyalarından ilki sınıflandırılmış veya sınıflandırılmamış tüm bilinen spektral çizgileri içeren dalgaboyu dosyasıdır. Genel olarak hazırlanan bu giriş dosyasına wElementinSimgesi.dat (bu çalışmada için wTm.dat) şeklinde isim verilir. Dalgaboyu giriş dosyasından örnek bir kesit Şekil 3.5’de verildi.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.
4217.5357	, 1c 2 2	, -118	, 730	, 60572.87	, 3 ,0,						, 36868.99	, 3 ,e,					, (Tm II) Seyma
4217.7499	, 18 17	, 7105	, 20h	, 46262.14	, 5.5 ,e,					, WIST	, 22559.502	, 5.5 ,o,					, (Tm I) Seyma
4217.753			, 20h	, 46262.14	, 5.5 ,e,					, WIST	, 22559.502	, 5.5 ,o,					, Tm I Sug.Meg.
4218.060			, 4														, Tm I Sug.Meg.
4220.440			, 3		, 42541.367	, 5.5 ,o,					, WIST	, 18853.823	, 5.5 ,e,	, -476.51(27			, Tm I Sug.Meg.
4221.4470	, 36 36	, 7105	, 50	, 25	, 43230.70	, 1.5 ,o,					, WIST	, 19548.834	, 2.5 ,e,	, -57(2)			, (Tm I) Seyma
4221.450			, 50		, 43230.70	, 1.5 ,o,					, WIST	, 19548.834	, 2.5 ,e,	, -57(2)			, Tm I Sug.Meg.
4221.6407	, 25 28	, +140	, 80	, 45	, 43429.363	, 4.5 ,o,					, WIST	, 19748.543	, 4.5 ,e,	, -694.8(4)			, (Tm I) Seyma
4221.639			, 80		, 43429.363	, 4.5 ,o,					, WIST	, 19748.543	, 4.5 ,e,	, -694.8(4)			, Tm I Sug.Meg.
4221.7430	, 7 7	, 7110	, 10	, 30	, 43428.780	, 3.5 ,o,					, WIST	, 19748.543	, 4.5 ,e,	, -694.8(4)			, (Tm I) Seyma
4221.743			, 10		, 43428.780	, 3.5 ,o,					, WIST	, 19748.543	, 4.5 ,e,	, -694.8(4)			, Tm I Sug.Meg.
4221.9511	, 1c 3 2	, -112		, 741	, 45987.89	, 5 ,o,						, 22308.82	, 4 ,e,				, (Tm II) Seyma
4222.3295	, 3 4	, 7200	, 8	, 4	, 43430.758	, 2.5 ,o,					, WIST	, 19753.830	, 3.5 ,e,	, -536.6(9)			, (Tm I) Seyma
4222.336			, 8		, 43430.758	, 2.5 ,o,					, WIST	, 19753.830	, 3.5 ,e,	, -536.6(9)			, Tm I Sug.Meg.
4222.5830	, 86 88	, 795	, 200	, 1	, 43429.363	, 4.5 ,o,					, WIST	, 19753.830	, 3.5 ,e,	, -536.6(9)			, (Tm I) Seyma
4222.584			, 200		, 43429.363	, 4.5 ,o,					, WIST	, 19753.830	, 3.5 ,e,	, -536.6(9)			, Tm I Sug.Meg.
4222.6705	, 1613 161	, 7112	, 2000r	, 18	, 32446.26	, 3.5 ,e,	, -392(6)				, WIST	, 8771.243	, 2.5 ,o,	, -704.649(1			, (Tm I) Seyma
4222.67			, 15.7		, 32446.26	, 3.5 ,e,						, 8771.24	, 2.5 ,e,				, Wick.Law.Tm I
4222.671			, 3800		, 32446.26	, 3.5 ,e,						, 8771.243	, 2.5 ,e,				, WIST Tm I
4222.671			, 2000r		, 32446.26	, 3.5 ,e,	, -392(6)				, WIST	, 8771.243	, 2.5 ,o,	, -704.649(1			, Tm I Sug.Meg.
4223.0579	, 17 17	, 7110	, 20	, 21	, 41425.474	, 3.5 ,o,					, WIST	, 17752.634	, 2.5 ,e,	, -235.5(1.0			, (Tm I) Seyma
4223.060			, 20		, 41425.474	, 3.5 ,o,					, WIST	, 17752.634	, 2.5 ,e,	, -235.5(1.0			, Tm I Sug.Meg.
4223.4990	, 1c 4 3	, 7140			, 43899.14	, 5 ,e,						, 20228.75	, 5 ,o,				, (Tm II) Seyma
4224.0567	, 1c 15 7	, 7105			, 43896.02	, 5 ,e,						, 20228.75	, 5 ,o,				, (Tm II) Seyma
4225.2807	, 1c 9 2	, 7140		, 39	, 43408.960	, 5.5 ,o,					, WIST	, 19748.543	, 4.5 ,e,	, -694.8(4)			, (Tm I) Seyma
4225.565			, 4														, Tm I Sug.Meg.
4225.636	, 8 8																, Tm I or Tm II
4225.639			, 10														, Tm I Sug.Meg.

Şekil 3.5: Dalgaboyu giriş dosyasından örnek kesit.

Bu dosyadaki birinci satır, dosyadaki verileri rahat açıklayabilmek için eklenmiş olup sadece kolon sayılarını içermektedir. Orjinal dosyada bu satır yer almamaktadır. Dosyadaki ilk kolon Å cinsinden verilen dalga boyu (λ_{hava}) bilgisidir. Sonraki kolon çizginin sırası ile argon ve neon soygazları ile alınan spektrumdaki sinyal/gürültü (S/N) oranlarının yer aldığı kısımdır. Bu kolonda ayrıca çizginin daha önceki çalışmalarda bulunup bulunmadığına ve tanımlanıp tanımlanmadığına ait bilgi vermesi açısından bazı kısaltmalar da kullanıldı. Bu kısaltmaların detayı 4.1 kısmında verildi. 3. kolonda, deneysel ölçülen çizgi genişliği verilir. Eğer literatürde mevcut bir çizgi ise belirlenen şiddet değerleri 4.kolonda görüntülenir. 5. kolon ise deneysel ölçülen aşırı ince yapı genişliğinin yer aldığı kısımdır. 3. ve 5. kolonlarda verilen çizgilerin genişliği hem MHz ve hem de miliKayser (mK) birimleri cinsinden belirlendi. 3. kolonda verilen çizginin genişliği için S/N oranı dikkate alındı. $S/N > 8$ ise en şiddetli tepe noktasının $1/e^2$ değerine düştüğü yerden çizginin sağ ve sol noktaları arasındaki mesafesinin değeri alınırken, $S/N < 8$ durumunda çizgi profilinin gürültü seviyesine denk gelen noktalar arasındaki değeri alındı.

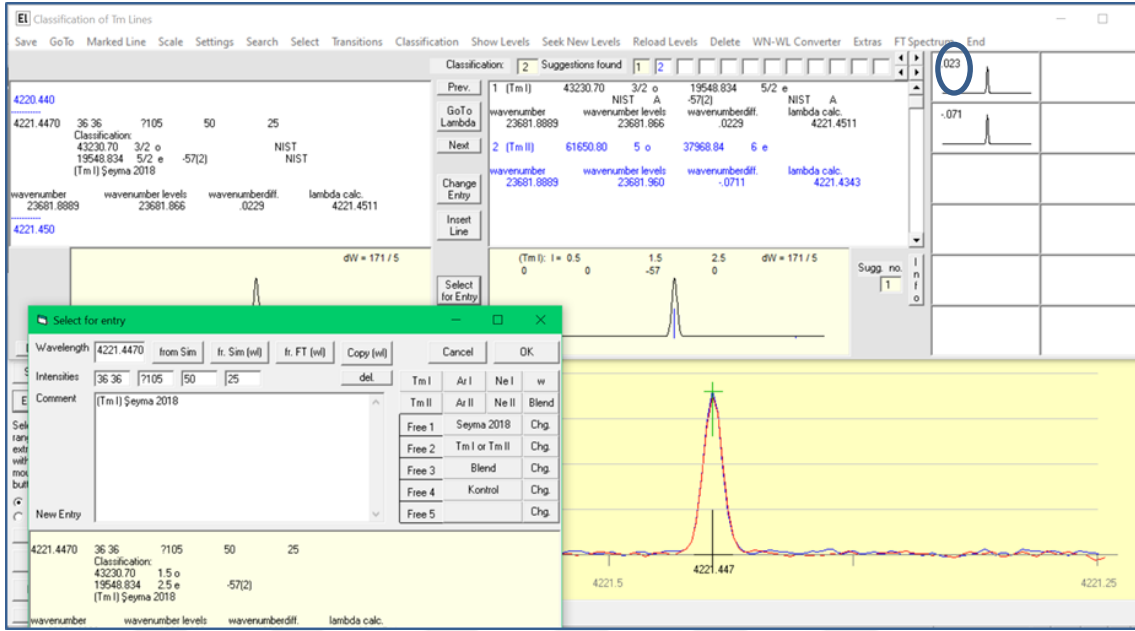
Çizgi sınıflandırılması daha önce yapılmış ise, 6. – 11. arasındaki sütunlara üst enerji seviyesine ait bilgiler girildi. Bunlar sırası ile enerji seviyesinin cm^{-1} cinsinden değeri, seviyenin J değeri, paritesi, biliniyorsa A ve B aşırı ince yapı sabitlerinin değerleri ve referans bilgileridir. 12. – 17. kolonlar arasına ise aynı sırada alt seviye için bilinen değerler girildi. En son sütun ise, çizgi hakkında yorum yapmak için kullanıldı (Tm I, Tm II, Tm I veya Tm II, çizginin literatürden

alındığı referans veya bu çalışmada tanımlandığını gösteren “Şeyma 2018” ifadesi yazıldı). Eğer çizgi; dalgaboyu, şiddet ve genişlik olarak tanımlı fakat spektral geçişin alt ve üst enerji seviyeleri bilinmiyorsa çizgiyi sınıflandırabilmek mümkün olmadığı için “wTm.dat” dosyasında yorum kısmına “Tm I veya Tm II” yazıldı.

Dalgaboyu dosyası dinamik bir yapıdadır. Çizgilerin sınıflandırılması işlemi sırasında yapılan her girişin bu dosyaya kaydedilmesi sağlanır. Kaydedilen yeni bilgilerin anında görüntülenebilmesi için programın ana penceresinde yer alan menüden “seviyeleri tekrar yükle” (Reload Levels) işlemi yapılmalıdır.

Hazırlanan diğer iki giriş dosyası ise incelenen elementin nötr (Level_Tm.dat) ve iyonize (Lev_Tmii.dat) haline ait literatürde bilinen tüm enerji seviyelerini içeren dosyalardır. Bu dosyalarda aynı zamanda ince yapı enerji seviyesine ait J toplam açısal momentum kuantum sayısı, parite ve eğer biliniyorsa aşırı ince yapı sabiti bilgileri yer alır. Plazma ortamı elde ederken kullanılan soygaz, spektrumlarda incelenen element ile birlikte gözlenir. Soygaz geçişlerini tulyum geçişlerinden ayırabilmek amacı ile giriş dosyalarına deneyde kullanılan argon ve neon gazlarına ait enerji seviyeleri verileri de eklenir.

Dalgaboyu dosyasına spektrumdan belirlenen çizgi bilgilerinin aktarılabilmesi için; spektrum üzerinde çizginin, ağırlık merkezine yakın bir bölgede en yüksek S/N oranı civarında fare ile işaretlenmesi (Şekil 3.6’da verilen spektrum üzerinde yeşil renkli “+” işareti olarak görülmektedir) ve “çizgi ekle” (insert line) düğmesi kullanılarak dalgaboyu girişinin yapılması gerekir. Tm elementine ait çizgilerin her biri ΔJ değerine göre iki ya da üç aşırı ince yapı geçişine sahiptirler. Buna karşılık Fourier spektroskopi tekniği ile bu çalışmada incelenen Tm I ve Tm II çizgileri, spektrometrenin çözünürlüğünün bu çizgileri tamamen ayırıştırabilecek mertebede olmadığından, genellikle iki ya da tek maksimuma sahip bir yapıdadır. Nadiren küçük şiddete sahip bileşen gözlenebilmiştir. Bu nedenle çizgilerin analizi son derece güçtür. Tulyumun spektrumunun iki ayrı asal gazla alınma sebebi metal çizgilerini ayırt etmek içindir. Eğer çizgi her iki asal gazla alınan spektrumda da geliyorsa bu metal çizgisidir (Tm I veya Tm II). Her iki soygazla alınan spektrumda metal çizgilerinin şiddetleri farklı olabilir. Bu çalışmada her iki spektrumda da $S/N < 3$ olan yapılar, yani çok düşük şiddette olan çizgiler (S/N tam olarak şiddeti vermemekle birlikte relatif şiddet için bir fikir verir) hata yapma olasılığının yüksek olmasından dolayı bu çalışmaya dahil edilmedi.



Şekil 3.6: Programın ana penceresi FT-spektrum penceresi.

Giriş dosyalarındaki (Level_Tm.dat ve Lev_Tmii.dat) bilgiler kullanılarak geçiş kurallarına uygun olan mümkün tüm geçişler program tarafından hesaplanır ve ana pencerenin orta kısmında kullanıcıya seçim yapması için önerilir. Programın ana penceresi ile FT-spektrum penceresinin ile birlikte gösterildiği Şekil 3.6’da örnek olarak işaretlenen çizgi için 2 öneri mevcuttur. FT- spektrum kısmında görülen mavi spektrum Ar ile, kırmızı ise Ne ile alınan spektrumdur. Ana pencerenin sağ üst kısmında, çizginin alt ve üst enerji seviyeleri birbirinden çıkartılarak elde edilen teorik dalga sayısı ile spektrumdan işaretlenen çizginin deneysel ağırlık merkezinin dalga sayısı arasındaki fark ($\Delta\sigma$) mavi renkli yuvarlak içinde gösterildi. $\Delta\sigma$ değerinin minimum düzeyde olması, sınıflandırılmanın doğru yapıldığının bir göstergesi olması açısından önemli bir seçim kriteridir. Bu çalışmada $\Delta\sigma$ sınırı kabul edilebilen bir değer olan $0,1 \text{ cm}^{-1}$ olarak seçildi ve bu değerden büyük farklar söz konusu ise sınıflandırılma yapılmadı.

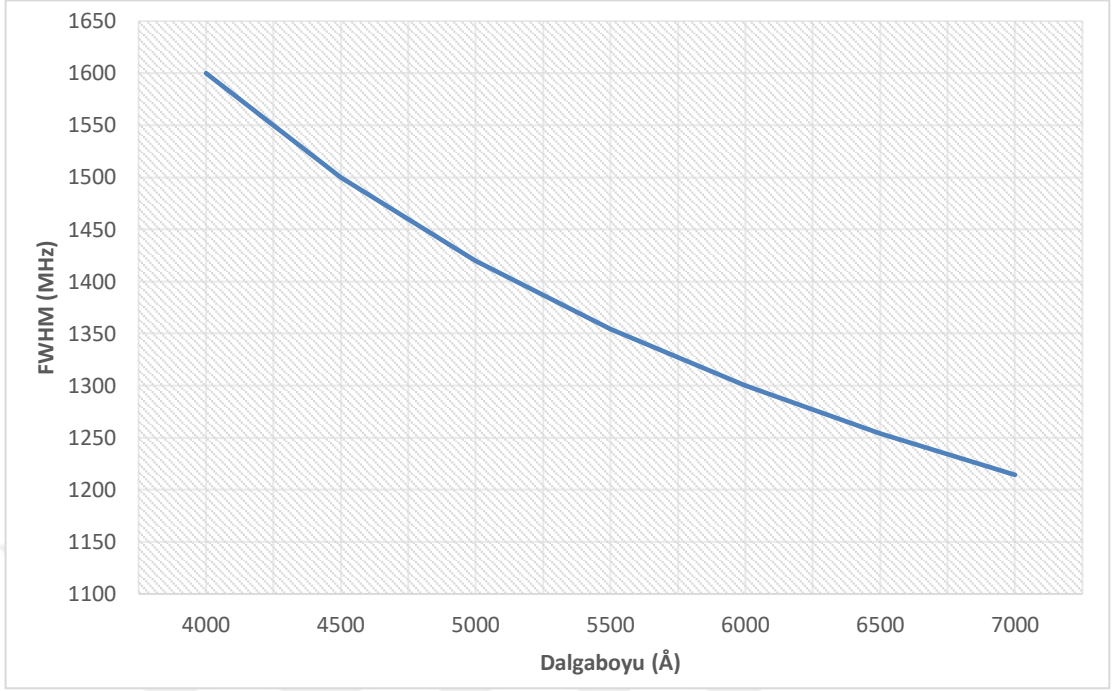
Öneriler arasından seçilen çizgi üzerine tıklanarak seçim yapılır. “Giriş için seç”(select for entry) düğmesine basılarak Şekil 3.6’daki örnekte verilen yeni açılan pencerede görüldüğü gibi dalgaboyu dosyasında yer alacak tüm kolonlara ait bilgi girişleri yapılarak onaylanır. Böylece spektrumda belirlenen çizgiye ait tüm bilgiler, dalgaboyu giriş dosyasına ana pencereden giriş yapılarak aktarıldı. Ana pencerenin ortasında bulunan “girişi değiştir”(change entry) düğmesine basılarak açılan yeni pencere üzerinden dalgaboyu, sırası ile Ar ve Ne spektrumlarından

belirlenen S/N oranları, deneysel ölçülen aşırı ince yapı genişliği, deneysel ölçülen çizgi genişliğine ait bilgi değişiklikleri yapılabilir.

“Dalgaboyuna git” (Go to Lambda) düğmesi ile spektrum üzerinde istenilen dalgaboyuna gidilmesi mümkündür. Ayrıca bulunulan çizginin bir öncesindeki ve bir sonrasındaki mevcut çizgiler arası geçişler de “önceki”(Prev.) ve “sonraki”(next) düğmeleri kullanılarak yapılabilir.

Bir spektral çizgi için birden fazla öneri bulunduğu durumlarda bir başka seçim kriteri ise programın altında çalışan “Simülasyon” işleminden yararlanılmasıdır. Bir geçiş önerisinin doğru olup olmadığına karar verebilmek için; spektrumdaki çizginin ağırlık merkezi ile teorik dalgasayısının uyumlu olması gerekir. Aynı zamanda simülasyon programı tarafından çizilen teorik spektrum ile deneysel spektrum birbirine tam olarak uymalıdır. Simüle edilecek çizgiye ait spektrum Tm-Ar veya Tm-Ne spektrumundan seçilebilir. Simülasyon penceresinde çekirdek spini, alt ve üst seviyeye ait J değerleri, aşırı ince yapı parametreleri ve çizgiye ait yarı-genişlik (Full-Width-Half-Maximum) bilgisi kullanılarak deneysel ve teorik spektrumlar fit edilir. Bu veriler, üst ve alt seviyelerin aşırı ince yapısını, ağırlık merkezinin konumunu ve bağlı geçiş enerjilerini hesaplamak için kullanılır.

Çizginin yarı-genişliği dalgaboyuna göre değişim gösterir. Dolayısıyla çizginin doğru bir şekilde sınıflandırılabilmesi için herbir dalgaboyu bölgesindeki yarıgenişliklerin bilinmesi gerekir. Farklı dalgaboyu bölgelerinde alt ve üst enerji seviyelerine ait aşırı ince yapı sabitleri daha önceden bilinen ve ayrılmış çizgiler kullanılarak, dalgaboyu ile yarı genişlik arasında bir grafik çizildi. Tüm sınıflandırmalar boyunca çizgilerin yarı-genişlik değerleri, Şekil 3.7’de verilen bu grafiğe göre belirlendi.

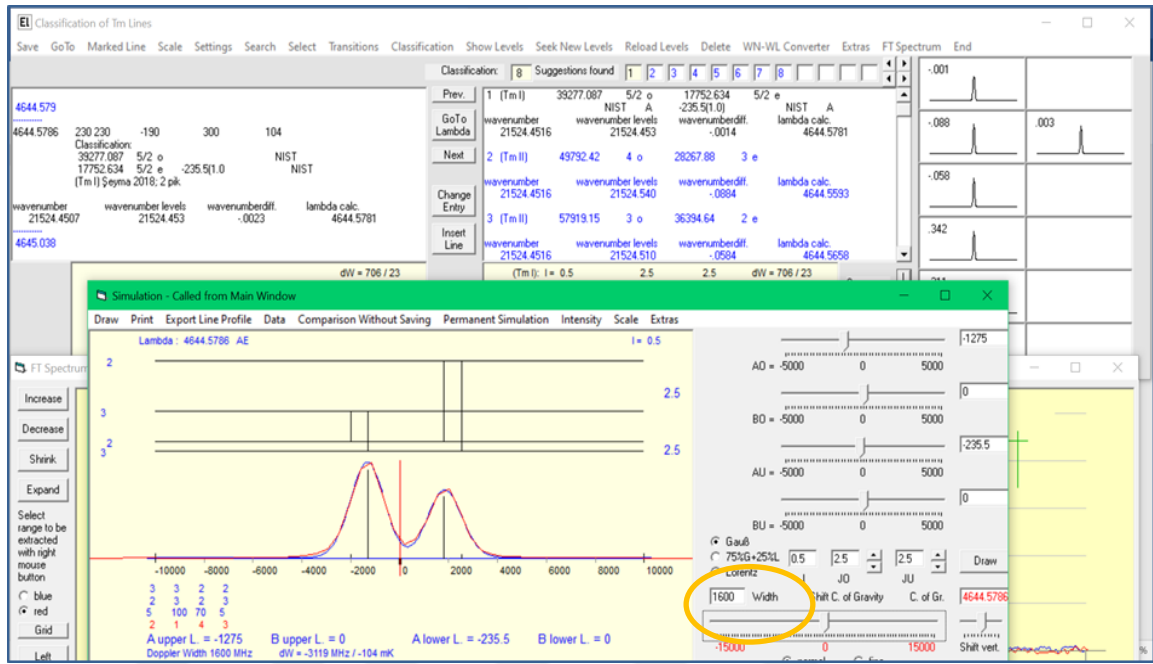


Şekil 3.7: Dalgaboyu yarı-genişlik ilişkisi.

Şekil 3.8’de, spektral çizginin enerji seviyelerinden birine ait A sabiti bilinmesi durumunda diğer seviyenin A sabitinin nasıl belirlendiğine dair bir örnek verildi. Bilinmeyen A sabitini bulmak için şeklin alt kısmındaki pencerede görüldüğü gibi simülasyon penceresi açılır. Fit işleminin yapıldığı pencerede görülen mavi renk teorik, kırmızı renk ise deneysel spektrumu gösterir.

Öncelikle dalgaboyuna bağlı olarak FWHM değerinin Şekil 3.8’de turuncu renkli yuvarlak içine alınmış alana doğru şekilde girilmesi gerekir.

Alt ve üst seviyeye ait en az birinin aşırı ince yapı sabiti daha önceki çalışmalardan biliniyor ise bu bilgi pencerede ilgili alanda otomatik olarak yer alır. Bilinmeyen A sabitini bulmak için açılan simulasyon penceresinde ya değer çubuğu sağa sola oynatılarak değer değişimi sağlanır, ya da ilgili kutuya öngörülen değer elle girilir ve “Çiz”(Draw) düğmesine basılarak girilen değer ile çizginin son hali görülür.



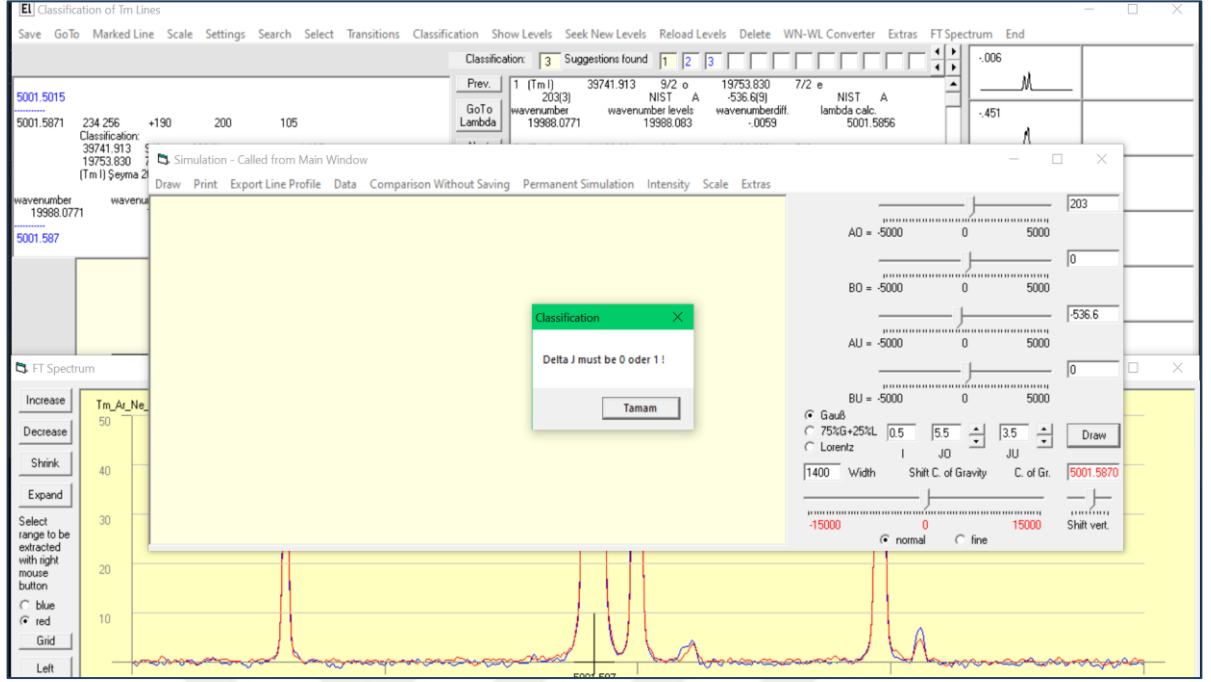
Şekil 3.8: Simülasyon penceresinden bir örnek.

Aşırı ince yapı ayrışmasına sahip iki farklı ince yapı enerji seviyesi arasındaki elektrik dipol geçişleri için geçerli seçim kuralları;

- $\Delta J = 0, \pm 1$ ($J = 0$ 'dan $J = 0$ 'a geçişler yasak),
- $\Delta F = 0, \pm 1$ ($F = 0$ 'dan $F = 0$ 'a olan geçişler yasak)

şeklinde olmalıdır. Bunların yanı sıra ayrışın gerçekleştiği ince yapı seviyelerinin paritelerinin birbirinden farklı olması gerekmektedir.

Simülasyon programında tamamen seçim kuralları temelli bir çalışma söz konusudur. Eğer seçim kuralları harici bir giriş yapılır, yani seçim kurallarına uyulmaz ise program uyarı verir. Sınıflandırma işlemine devam edilemez. Bu uyarı durumuna bir örnek Şekil 3.9'da verildi.



Şekil 3.9: Seçim kuralları harici yapılan bir giriş örneği.

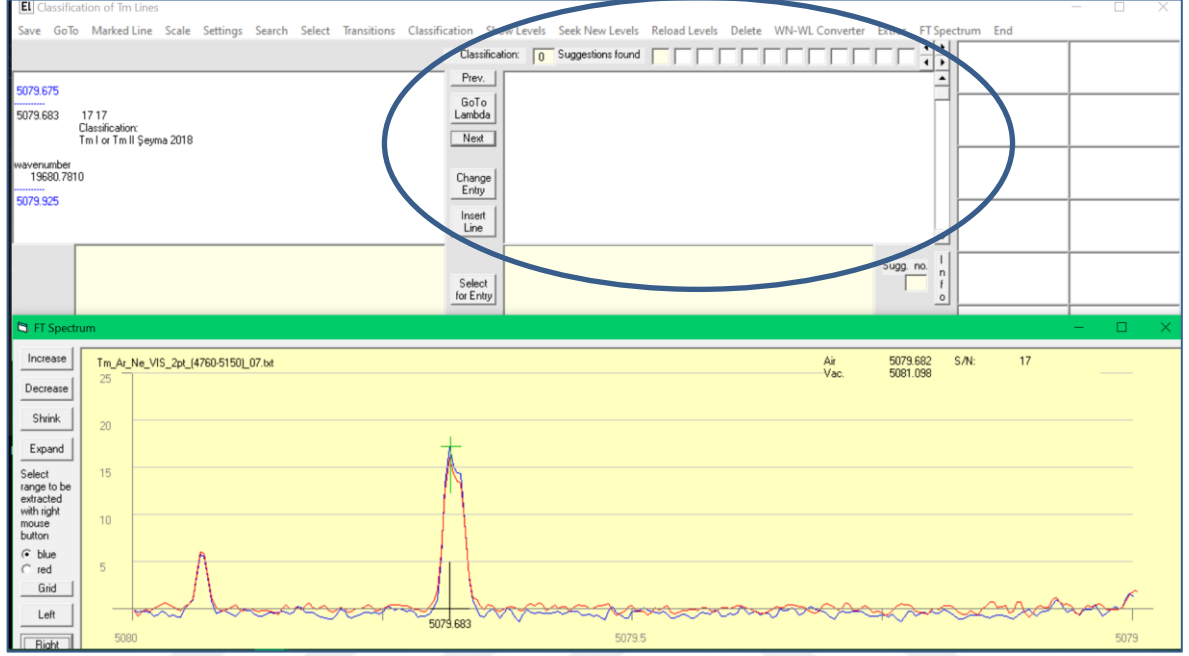
Simülasyon programından elde edilen aşırı ince yapı sabiti ve ağırlık merkezi değerlerinin sağlıklı olması, tez çalışmasının son adımında kullanılacak Fitter programının giriş verilerini oluşturması açısından önemlidir.

Bu çalışmada, çizgi sınıflandırılması yapılırken, eğer geçişin alt ve üst seviyelerinin aşırı ince yapı sabitlerinin her ikisi de biliniyorsa sınıflandırma için kesin bir sonuç elde edildi. Sadece bir seviye için aşırı ince yapı sabiti biliniyorsa, diğer seviyenin aşırı ince yapı sabitinin mümkün değerini belirlemek için simülasyon programı kullanıldı. Simülasyon sonucunda elde edilen A değerleri ayrı bir tablo olarak verilmedi bu değerler sadece çizgiyi doğru olarak tanımlayabilmek için kullanıldı.

Spektrumdaki çizgilerin çoğunluğu tek ya da iki pikten oluşmaktadır. Bu tür çizgilerin alt ve üst enerji seviyelerinin her ikisinin birden A değeri bilinmiyorsa, programda bulunan simülasyon programı ile A sabitlerinin bulunması doğru olmayacağı için bu seviyelerin A değerleri için herhangi bir öneride bulunulamadı.

Bir spektral çizgi için sınıflandırma programında herhangi bir öneri bulunmaması, bu geçişin dalgaboyu değeri civarında, bilinen deneysel enerji seviyeleri ile teorik olarak mümkün bir geçiş bulunmadığı anlamına gelir. Şekil 3.10'da, sınıflandırma programının herhangi bir öneri

sunmadığı bir çizgiye örnek verildi. Mavi daire ile işaretlenen kısım, giriş dosyalarındaki bilgiler doğrultusunda program tarafından hesaplanan önerilerin tümü için $\Delta\sigma$ değerinin ve bu önerilere ait geçiş bilgilerinin verildiği alandır.



Şekil 3.10: Sınıflandırma programının herhangi bir öneri sunmadığı bir çizgiye örnek.

Şeklin alt kısmında yeşil artı işareti ile gösterilen çizgi, hem Tm-Ar hem de Tm-Ne spektrumlarının her ikisinde de aynı S/N oranı ile benzer bir yapı görüldüğü için bu çizgi kesinlikle Tm elementine ait bir geçiştir. Fakat mavi daire içine alınan bölgede çizgiye ait teorik bir öneri yoktur. Bunun anlamı: Bu çizginin alt veya üst veya her ikisi birden deneysel olarak henüz bulunamamış ince yapı enerji seviyesi içermektedir. İkinci bir bilinmeyen ise bu çizgi atom ya da iyon çizgisi olabilir. Bu tür tanımlanamamış çizgiler bilinmeyen ince yapı enerji seviyelerinin deneysel olarak belirlenmesi açısından son derece önemlidir ve bu çalışmada verilen tanımlanamamış çizgiler, ileride yapılacak laser spektroskopik çalışmalarla yeni ince yapı enerji seviyelerinin bulunmasına yardımcı olacaktır.

Spektrum analizinde karşılaşılan bir başka problem ise peşpeşe gelen çizgilerin birbiri ile karışmasıdır. Çizgi karışmasına örnek Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de verildi.

Her iki asal gazla alınan spektrumda da aynı yapı gözlemlendiğinden bu çizgiler kesin olarak Tm çizgileridir. Burada herbiri iki bileşene sahip iki ayrı Tm çizgisi görülmektedir. Şekil 3.11’de

solda yer alan 4043.35 Å dalgaboyundaki çizgide maksimumlardan bir tanesinde argon ile alınan spektrumda (mavi spektrum) daha şiddetli olduğu görülmektedir. Bu Tm çizgisinin altında bir Ar çizgisi olabileceği yorumu yapılabilir. Ancak Ne ile de alınan spektrumda da daha az şiddetli olsa da aynı yapı gelmiştir. Bu durumda yapının kesinlikle bir Tm çizgisine ait olduğu söylenebilmekle birlikte atom ya da iyon çizgisi olup olmadığı söylenemez. Hemen sağ kısımda görünen iki maksimum yine Tm çizgisi olduğunu söylenir (Şekil 3.12). Her iki çizgiyi de sınıflandırabilmek için yapıyı iyi incelemek gerekir. Şekil 3.11’de ve Şekil 3.12’de yapılan ağırlık merkezi (sırası ile $\Delta\sigma_a$ ve $\Delta\sigma_b$) işaretlemelerinde, sırasıyla, mavi ve turuncu işaretlemeler ile gösterilen her iki geçiş için de program tarafından aynı teorik geçiş önerilmiştir. Sınıflandırma için karar verirken;

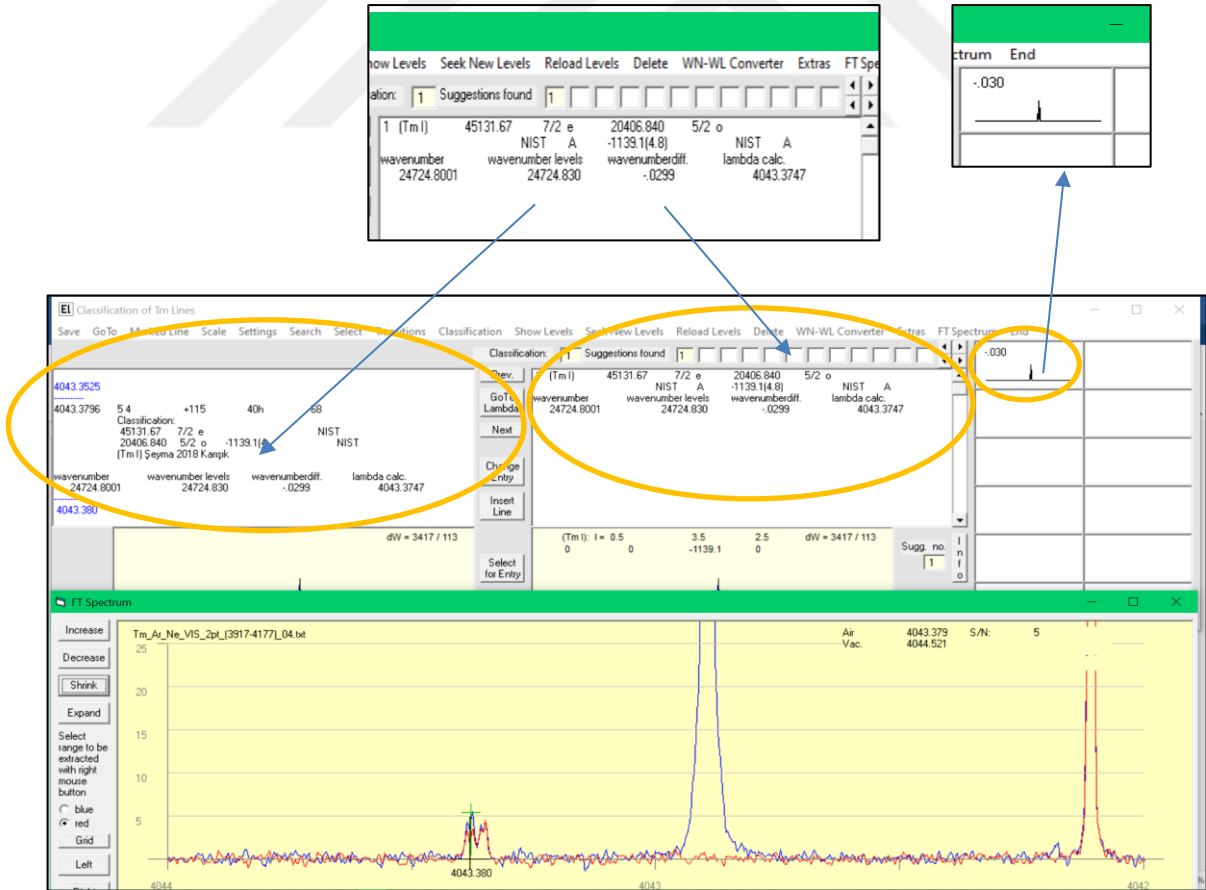
- Her iki durum için $\Delta\sigma$ değeri kontrol edildi. $\Delta\sigma_a > \Delta\sigma_b$ olduğu görülmektedir. Doğru bir sınıflandırma için $\Delta\sigma$ değerinin mümkün olduğu kadar küçük olması gerekir. Bu kriter için Şekil 3.12 için gelen sınıflandırma uygundur.
- Sınıflandırmada ikinci kriter olarak daha önce bu geçişin tanımlanmış olup olmadığına bakılır. Şekil 3.12’de 40h ile verilen şiddet değeri, referans [9]’da bu çizginin daha önce Tm I olarak tanımlandığını gösterir. Bu kriter için de Şekil 3.12’de gelen sınıflandırma uygundur.

Her iki kriter sonucunda Şekil 3.11’de görülen geçiş için sınıflandırma yapmak mümkün değildir. Bu tip Tm olduğu kesin olan fakat sınıflandırılmayan çizgiler için “Tm I veya Tm II” tanımlaması yapıldı.

Örnek olarak verilen spektrumda sözü geçen iki yapının hemen yanında sadece mavi spektrumda (Ar soygazı ile alınan spektrum) olup, kırmızı spektrumda (Ne soygazı ile alınan spektrum) gözlenmeyen şiddetli bir çizgi vardır. Bu çizgi kesinlikle bir Ar çizgisidir. En sağda ise her iki renkte de aynı yapının geldiği durum söz konusudur. Bu son çizgi de kesinlikle bir Tm çizgisidir.



Şekil 3.11: Çizgi sınıflandırmasına bir örnek spektrum.



Şekil 3.12: Çizgi sınıflandırmasına örnek spektrum.

3.7.2. Çizgilerin Fit İşlemi

Çekirdek spin kuantum sayısı, alt ve üst seviye için J değerleri ve aşırı ince yapı sabitleri, bir seviyenin karakteristiği olduğundan aşırı ince yapı ayrışmaları 'parmak izi' olarak kabul edilir. Şüphesiz ki bir seviyenin enerjisi, J açısal momentum değeri ve aşırı ince yapı sabitlerinin değerlerini bilerek belirlenebilir. Bir ince yapı seviyesinin aşırı ince yapı seviyelerine ayrışması, aşırı ince yapı sabitlerinin büyüklüğüne bağlıdır. Bu nedenle ölçülen aşırı ince yapı incelendiğinde, eğer seviyelerden birinin A değeri biliniyorsa diğer seviyenin A sabiti sınıflandırma programı altındaki simülasyon programı kullanılarak kabaca bulunabilir.

İncelenen geçişin spektrumu iki pikten oluşmuş ve ince yapı seviyelerinden sadece bir tanesinin aşırı ince yapı sabiti bilinmiyor ise, diğer seviyenin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitinin değerini, çizginin ağırlık merkezini ve spektral çizginin çizgi genişliğini belirlemek için Fitter programı kullanıldı [4]. Geçişin her iki seviyesinin de aşırı ince yapı sabitleri bilinmiyorsa ya da sadece tek pikten oluşan bir spektruma sahip ise hassas değer elde edilemeyeceği için fit işlemi yapılmadı. Bu çizgilerin A sabitleri Octave 5.2.0 programı yardımı ile lineer denklem sistemi oluşturularak elde edildildi. Bu metottan bölüm 4.3’de detaylı olarak bahsedildi.

Genel olarak deneysel bir yöntem ile elde edilen verilere en iyi uyan fonksiyonu bulma süreci olan “regresyon analizi” yapılırken sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri “en küçük kareler” yöntemidir. Bu yöntem ile, ölçüm sonucu alınan veri noktalarına olabildiği kadar yakın geçecek bir fonksiyon eğrisi, iterasyon işlemi ile bulunur. Bir spektrum için en iyi fit durumu en küçük kareler metodu (Gauss-Newton metodu) kullanılarak belirlenir [47] ve Fitter programının temeli de bu yöntemeye dayanır. Genel olarak deneysel çalışmada hataların bazıları pozitif yönde bazıları ise negatif yönde yapılmış olabilir. Bu durumda hata belirlerken direkt toplam alınması, hataların bazılarının birbirini yok etmesine neden olur ki toplam hata olması gerekenden daha küçük bulunur. Hataların karelerinin alınıp toplama işleminin sonradan yapılması ve hatanın en küçük değerinin belirlenmeye çalışılması bu nedenledir. Denklem (3.36) ile hata toplamı en aza indirilir (Hata Kareler Toplamı-HKT) ve fonksiyon belirlenmiş olur.

$$HKT = \sum_{i=1}^n (I_f(i) - I_f(f_i, \vec{a}))^2 \quad (3.36)$$

Eşitlikteki ilk terim f frekansında ölçülen şiddeti, ikinci terim ise hesaplanan şiddeti göstermektedir. İkinci terimde yer alan vektör ifadesi ise; alt ve üst seviyeler için aşırı ince yapı

sabitleri, aşırı ince yapı bileşenlerinin frekans, yarı genişlik ve şiddet değerlerini içeren fit parametre setidir. Fitter programı birkaç iterasyon gerçekleştirir ve her çalıştırmadan sonra eski veri noktaları yenisiyle hesaplanır. HKT'ye dayalı bir dizi yinelemeden sonra, program en uygun değere ulaşır.

Spektral çizgi için izin verilen her geçiş, aşırı ince yapının bileşeni olarak adlandırılır ve her bir aşırı ince yapı bileşeninin pozisyonu, kısım 3.3.3'de verilen, 3.27 ve 3.28 denklemleri kullanılarak eşitlik 3.29'a göre hesaplanır.

$$\nu = \nu_c + \alpha_{üst}A_{üst} + \beta_{üst}B_{üst} - \alpha_{alt}A_{alt} - \beta_{alt}B_{alt} \quad (3.29)$$

eşitlikte yer alan ν_c , ince yapı enerji seviyeleri arasındaki geçişe ait frekans, A ve B ise, sırası ile manyetik dipol ve elektrik kuadrapol aşırı ince yapı sabitleridir. α ve β ise denklemde verildiği sıraya göre üst ve alt aşırı ince yapı seviyelerine ait Casimir faktörleridir.

Aşırı ince yapı bileşenlerinin göreceli şiddetleri ise (3.37) bağıntısı ile hesaplanır [48]:

$$I(F_{üst} \rightarrow F_{alt}) \cong (2F_{üst} + 1)(2F_{alt} + 1) \left\{ \begin{matrix} J_{üst} & F_{üst} & I \\ F_{alt} & J_{alt} & 1 \end{matrix} \right\}^2 \quad (3.37)$$

Kıvrımlı parantez içindeki terim 6j sembolü olarak adlandırılır, F , alt ve üst seviyeler için toplam açısal momentum kuantum sayısı, I , çekirdek spini ve J , alt ve üst seviyeler için elektronun toplam açısal momentumudur. Wigner 3n-j sembolleri, yakın ilişkili Clebsch-Gordon ve Racah katsayıları (sırasıyla $n = 1$ ve $n = 2$ için), atomik yapı ve spektrumların kantitatif hesaplamaları için geçerlidir ve Fitter programında şiddetleri hesaplamada kullanılmaktadır. F ve J aynı yöne yönelmiş ise, $\Delta F = \Delta J$ olacaktır. Bu durumdaki aşırı ince yapı geçişleri en şiddetli geçişlerdir.

Yukarıda belirtildiği gibi en az iki pike sahip ve enerji seviyelerinden bir tanesinin aşırı ince yapı sabiti, A , bilinen her spektral çizgi için giriş dosyaları ayrı ayrı oluşturuldu. Tüm bu dosyalar, programın çalışması için gereken uygun klasörler yaratılarak içlerine yerleştirildi. FT spektrumundan belirlenen her bir spektral çizgiye ait dalgasayısına karşılık şiddet değeri verileri, Origin programı kullanılarak ayrı bir dosyaya alındı. Oluşturulan bu giriş dosyasının hangi geçişe ve hangi ölçüme ait olduğunu belirtmek için DALGASAYISI01.mes (*.mes) adı verildi. Uzantıda kullanılan “mes” programa ait özel bir uzantı olup ölçüm verilerini içerdiğini

göstermektedir. Bu dosyanın ilk kolonunda dalgasayısı ikinci kolonda ise şiddet değerleri yer alır.

Uzantısı “lin” olan *.lin isimli giriş dosyası ölçüm dosyasında yer alan verilerden sadece ikinci kolon kullanılarak oluşturulan giriş dosyasıdır.

Her spektral çizgi için özel oluşturulan diğer bir giriş dosyasında ise lineerize işleminin yapılması sağlanır. *.par şeklinde düzenlenen dosyanın uzantısı olan “par” yine programa özel bir uzantıdır ve burada spektrumun başlangıçtaki dalgaboyu, spektrumu oluşturan veri sayısı ve ardışık iki dalgasayısının değerleri arasındaki fark MHz cinsinden verilir.

Son giriş dosyası ise “ein” uzantılı *.ein dosyası olup programın çalıştırıldığı bir ortamdır. İzotop sayısı, çekirdek spin değeri, Gauss/Voigt değeri, fit işlemi için seçilen fit profili bilgilerinin yanı sıra spektral çizgiye ait tüm parametre değerlerini içerir. Spektal geçişe ait parametreler; alt ve üst ince yapı seviyelerine ait J kuantum sayıları, çizginin yarı genişliği, en şiddetli bileşenin yeri, spektrumun sol başlangıç ve sağ bitiş noktalarındaki gürültü yükseklik değerleridir.

En küçük kareler hatasını en aza indirmek için kullanılan iterasyon yöntemi daima gözönünde bulundurulması gereken bir tehlikeyi içermektedir. Fiziksel sınır koşullarını belirledikten sonra program tamamen saf matematiksel bir işlemi gerçekleştirir ki bu durum bazen negatif frekans veya negatif şiddet gibi fiziksel parametrelerin makul olmayan değerler almasına yol açar. Bu durumu engellemek için girişteki parametre sayılarını azaltmak bir yöntem olarak kullanıldı. Örneğin bir geçişe ait seviyelerden bir tanesi literatürden biliniyor ise seviyeye ait aşırı ince yapı sabiti değeri sabit tutuldu. Fit işlemi sırasında ayrıca düşük şiddetli aşırı ince yapı bileşenleri en yüksek şiddete sahip bileşen ile kuplaj yapıldı, böylece şiddet değerlerinin birbirlerine göre relatif olarak değişimi sağlandı. Fitter programında fit işleminin düzgün bir şekilde yapıldığının diğer bir kontrol mekanizması ise “guete” değerinin kontrol edilmesidir. Her bir iterasyonda bu değer düzgün bir şekilde artması ve mümkün olan en yüksek değere gelmesi istenir. Eğer işlem basamaklarında “guete” değeri dalgalanma gösteriyorsa ya da düşme eğiliminde ise fit işleminin başarısız olduğu söylenir. Fit kalitesini gösteren “guete” değeri aşağıdaki eşitlik yardımı ile program tarafından hesaplanmaktadır:

$$Guete = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left(Y_{ölçü}(x_i) - \left(U + \frac{dU}{dx} x_i \right) \right)^2}{\chi^2}} \quad (3.38)$$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \left(Y_{ölçü}(x_i) - Y_{sim}(x_i) \right)^2$$

olmak üzere $Y_{ölçü}(x_i)$ ve $Y_{sim}(x_i)$ şiddet değerlerini, $U(x_i)$ ise x_i verisinin, spektrumun oturduğu alt seviyenin fonksiyonunu göstermektedir [49].

Fit işlemi sonucunda oluşan çıkış dosyasında (*.aus) incelenen spektral geçişe ait F kuantum sayıları, cm^{-1} birimi cinsinden ağırlık merkezi, Voigt, Lorentz ve Gauss profillerine ait yarı genişlik değerleri, aşırı ince yapı bileşenlerinin her birinin MHz birimi cinsinden yeri, şiddet değerleri ve hataları ile birlikte alt ve üst enerji seviyelerinin aşırı ince yapı sabitleri elde edilir. İncelenen spektral çizgilerde, Voigt profili yarı-genişlik değerleri spektral çizginin dalgaboyu bölgesine bağlı olarak 1200-1600 MHz aralığında değişim gösterdi. Fit işlemi sırasında, tüm aşırı ince yapı bileşenleri için yarı genişliğin Gauss katkısı aynı seçildi. Lorentz katkısı için ise ΔF değerleri aynı olan bileşlerin Lorentz değeri aynı olacak şekilde hesaplama yaptırıldı. Oldukça büyük olan yarı-genişlik sebebi ile spektrumdaki T_m çizgileri en fazla iki pikten oluşmaktadır ve bunlar $I = 1/2$ olması sebebi ile alt ve üst enerji seviyelerinin ΔJ farkına göre dört ya da üç aşırı ince yapı geçişinden sadece şiddeti yüksek olan iki hfs geçişidir. Bu nedenle aşırı ince yapı sabitlerinin doğru bir şekilde bulunabilmesi için analiz sırasında, A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti, iki seviyeden biri için fit işlemi süresince literatürden bilinen değerinde sabit tutuldu.

3.7.3. Octave programı ile aşırı ince yapı sabitlerinin bulunması

Tek pikten oluşan ya da iki pik içeren fakat alt ve üst enerji seviyelerinin manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti literatürden bilinmeyen spektral geçişler için Octave 5.2.0 kullanılarak, manyetik dipol hfs sabitlerinin belirlenmesine yönelik bir kaynak kod oluşturuldu. Kod ile ilgili detaylı bilgi kısım 4.3'te olup kod Ekler kısmında verildi.

4. BULGULAR

Tulyum elementine ait 400-700 nm dalgaboyu aralığındaki spektrum Fourier Transform Spektroskopisi ile elde edildi. Spektral çizgi analizi için Klasifikasyon programından [3] yararlanıldı. Sınıflandırma sonucunda alt ya da üst enerji seviyelerinden birinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitinin bilindiği iki pike ayrılmış geçişler Fitter programı [4] ile fit edildi ve bilinmeyen manyetik dipol hfs sabiti, A , değerine ulaşıldı.

Fitter programı [4] ile belirlenmeyen ve literatürde olmayan manyetik dipol aşırı ince yapı sabitlerinin bulunması için Matlab programı ile uyumlu bir programlama dili olan Octave 5.2.0 kullanılarak bir kaynak kod oluşturuldu.

4.1 TULYUM ELEMENTİNİN SPEKTRAL ÇİZGİ ANALİZİ SONUÇLARI

Tulyum elementinin çekirdek spini $1/2$ olduğu için aşırı ince yapı yarılmaları sadece manyetik dipol etkileşimi nedeniyle gerçekleşir. Elektrik kuadropol etkileşmesi yoktur. Çizgi sınıflandırması yapılırken çizgilerin dalgaboylarının, yarı genişliklerinin, alt ve üst enerji seviyelerinin belirlenmesi işleminin doğruluk derecesini artırmak için aşağıda verilen kriterlere göre işlem yapıldı:

- Spektral çizgiler seçilirken dikkat edilen ilk kriter sinyal gürültü oranlarıdır. Bu çalışmada sadece sinyal gürültü oranı (S/N) 3'ten büyük olan çizgiler analiz işlemine dahil edildi.
- S/N 3 ile 8 arasında olan spektral çizgilerin yarı genişlikleri belirlenirken gürültünün üzerinde kalan çizgi profilinin en başındaki ve en sonundaki dalga sayıları arasındaki fark dikkate alınarak genişlik mK cinsinden alındı.
- S/N >8 olan çizgilerin yarı genişlikleri belirlenirken ise, sinyal gürültü oranının $1/e^2$ değeri hesaplandı ve bu değerdeki çizgi şiddetinin sağ ve sol kenarları arasındaki dalgasayısı değeri mK olarak belirlendi.
- Gözlenen çizginin yaklaşık olarak dalgaboyu girildikten sonra programda çizgi önerisi olup olmadığına bakıldı. Eğer birden fazla öneri var ise, incelenen deneysel çizginin program tarafından verilen teorik önerilerden hangisi olduğuna karar verebilmek için deneysel ve teorik dalgasayısı arasındaki farka bakıldı.

$\Delta\sigma = \sigma_{vakum} - |E_{üst} - E_{alt}| < 0.1 \text{ cm}^{-1}$ olan seçenek ya da seçenekler dikkate alındı. Burada σ_{vakum} spektrumdan analiz sonucunda elde edilen çizginin dalga sayısıdır. $\Delta\sigma$ değeri çizginin deneysel bulunan dalgasayısı ile alt ve üst enerji seviyelerinin farkından elde edilen teorik dalgasayıları arasındaki farkı gösterir. Bu nedenle $\Delta\sigma$ değerinin 0.1 cm^{-1} den küçük olan çizgiler için proramın önerdiği sınıflandırma dikkate alındı.

- Eğer çizginin alt ve üst enerji seviyelerinden her ikisi biliniyor ise, simülasyon programı ile bu değerleri değiştirmeden simülasyon yapıldı. Yapılan simülasyon deneysel değerle örtüşüyorsa, çizgi bu dalgaboyunda sınıflandırıldı.
- Programın önerdiği alt ve üst enerji seviyelerinden sadece birinin A değeri biliniyorsa, yine simülasyon programı ile çizginin şekline uyan en iyi A değeri bulununcaya kadar A değeri değiştirildi. Deneysel ve teorik çizginin örtüştüğü durum yakalanarak çizginin dalgaboyu belirlenerek sınıflandırılmış oldu.
- Eğer alt ya da üst seviyeden ikisinin de A değeri bilinmiyor ise bu durumda sınıflandırma yapılmadı ve çizgi “Tm I veya Tm II” olarak adlandırıldı. Çizginin dalgaboyu için gözlenen çizginin orta noktası dikkate alındı.

Bu tez çalışmasından toplam 2746 tane spektral çizgi analiz edildi. Bunlardan 1757 tanesi Tm I, 291 tanesi Tm II olarak sınıflandırıldı. Bu çizgilerden 289 tanesi Tm I, 242 tanesi Tm II olarak ilk kez bu tez çalışmasında sınıflandırıldı. 698 tane spektral çizgi ise “Tm I veya Tm II” olarak isimlendirilirken, bunlardan 388 tanesi ilk kez bu çalışmada belirlenmiştir. Tm I olarak sınıflandırılan atom çizgileri Tablo 4.1. de verildi. Bu tabloda yer alan kolonların açıklamaları tablonun altında verildi.

Tablo 4.1: Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mk)	ΔW (mk)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}
400.0569	24989.38	0.005	21	21		-187	70	40	42742.008	o	3.5	17752.63	e	2.5
400.0646	24988.90	0.004	7	5		?94	2	7	43979.308	o	6.5	18990.41	e	5.5
400.1399	24984.20	0.043	6	5		?131	52	20h	43974.645	o	5.5	18990.41	e	5.5
400.2009	24980.39	0.000	13	13		+175	81	40	42594.049	o	4.5	17613.66	e	4.5
400.3944	24968.32	0.003	10	10		?125	4	20	42581.974	o	5.5	17613.66	e	4.5
400.6358	24953.27	0.027	23	23		-199	52	60	42705.88	o	2.5	17752.63	e	2.5
400.6586	24951.85	0.010	21	16		-162	55	20	42406.656	o	6.5	17454.82	e	6.5
400.9366	24934.55	0.034	66	81		?137	35	200	44483.351	o	1.5	19548.83	e	2.5
401.0121	24929.85	0.004	40	33		?106	9	30	40517.661	o	4.5	15587.81	e	5.5
401.0467	24927.70	0.003	7	7		?118	46	20	42541.367	o	5.5	17613.66	e	4.5
401.0945	24924.74	0.002	19	19		?118	20	20	41881.739	o	4.5	16957.01	e	3.5
401.1516	24921.19	0.001	5	5		-112	50	10	43614.261	o	7.5	18693.07	e	7.5
401.3733	24907.42	0.028	4	4		-140	99	8	44456.23	o	3.5	19548.83	e	2.5
401.4293	24903.94	0.053	25	25		+186	61	50h	41646.129	o	3.5	16742.24	e	3.5
402.2591	24852.57	0.038	43	66		?123	25	50	33623.78	e	3.5	8771.243	o	2.5
402.4227	24842.47	0.016	490	397		?92	1	500r	41299.37	o	8.5	16456.91	e	8.5
402.4539	24840.55	0.021	4	4		?74	14	10	44307.188	o	6.5	19466.66	e	6.5
402.4975	24837.86	0.016	5	5		?85	32	6	43675.258	o	4.5	18837.39	e	4.5
402.5193	24836.51	0.001	55	55		?100	1	60	42179.886	o	2.5	17343.37	e	3.5
402.5614	24833.91	0.006	160	148		?105	21	200	41576.146	o	4.5	16742.24	e	3.5
402.6369	24829.26	0.015	37	51		?120	7	80	41786.249	o	4.5	16957.01	e	3.5
402.6611	24827.77	0.025	26	24	yeni sınıflandırma	?130	36	20h	49785.26	e	4.5	24957.47	o	5.5
402.7644	24821.40	0.037	16	17		-160	39	30h	43675.258	o	4.5	18853.82	e	5.5
403.2762	24789.90	0.007	5	5		?90	22	10	42133.263	o	3.5	17343.37	e	3.5
403.3005	24788.40	0.015	93	61		?115	26	10	40376.2	o	6.5	15587.81	e	5.5
403.3888	24782.97	0.012	12	12		+165	55	20	41525.2	o	3.5	16742.24	e	3.5
404.0051	24745.17	0.006	24	22		?122	31	30	43438.251	o	6.5	18693.07	e	7.5
404.0279	24743.77	0.017	8	8		-160	51	20	44210.42	o	7.5	19466.66	e	6.5
404.1755	24734.74	0.014	36	30		?130	31	30	40322.536	o	4.5	15587.81	e	5.5
404.3380	24724.80	0.029	5	4		+115	68	40h	45131.67	e	3.5	20406.84	o	2.5
404.4469	24718.14	0.026	589	634		+153	56	800r	33489.36	e	1.5	8771.243	o	2.5
404.4957	24715.16	0.020	22	22		?122	32	40	44263.974	o	3.5	19548.83	e	2.5
404.6175	24707.72	0.030	9	9		?98	23	20	44456.23	o	3.5	19748.54	e	4.5
404.8953	24690.77	0.017	15	11		?90	12	20	43544.574	o	4.5	18853.82	e	5.5
405.0186	24683.25	0.017	28	28		+146	54	40	41425.474	o	3.5	16742.24	e	3.5
405.2382	24669.88	0.024	5	4		?90	21	6	44418.396	o	3.5	19748.54	e	4.5
405.3249	24664.60	0.031	4	4		?103	24	6	44418.396	o	3.5	19753.83	e	3.5
405.3303	24664.27	0.011	10	10		?120	25	10	42119.08	o	5.5	17454.82	e	6.5
405.5807	24649.04	0.008	682	554		?110	25	400r	37768.662	o	4.5	13119.61	e	4.5
405.8180	24634.63	0.060	5	4	yeni sınıflandırma	+140		7	49842.42	e	2.5	25207.73	o	1.5
406.0477	24620.70	0.007	50	38		?103	6	30	40208.499	o	4.5	15587.81	e	5.5
406.0733	24619.14	0.004	15	15		?115	33	30	41576.146	o	4.5	16957.01	e	3.5
406.0908	24618.08	0.004	39	38		?105	2	50	42370.718	o	3.5	17752.63	e	2.5
406.1422	24614.97	0.010	32	32		?145	33	40	42367.61	o	2.5	17752.63	e	2.5
406.2010	24611.40	0.010	61	60		?127	39	200	45018.23	e	3.5	20406.84	o	2.5
406.2156	24610.52	0.023	23	21		?127	24	10	43447.878	o	5.5	18837.39	e	4.5
406.4611	24595.66	0.008	38	35		?140	26	40	43288.722	o	6.5	18693.07	e	7.5
406.4872	24594.07	0.018	4	4	yeni sınıflandırma	?85	19		43447.878	o	5.5	18853.82	e	5.5
406.5314	24591.40	0.004	5	5	yeni çizgi	?115	23	4	43428.78	o	3.5	18837.39	e	4.5
406.6469	24584.42	0.009	15	14		?115	27	20	43438.251	o	6.5	18853.82	e	5.5
406.6590	24583.69	0.054	6	5		+217	128	6h	41325.87	o	2.5	16742.24	e	3.5
406.8594	24571.58	0.000	19	18		-155	48	40	43408.96	o	5.5	18837.39	e	4.5
407.1477	24554.18	0.010	10	8		?120	9	6	43544.574	o	4.5	18990.41	e	5.5
407.2762	24546.43	0.029	32	33		?145	27	40	44300.233	o	2.5	19753.83	e	3.5

Tablo 4.1 (devam) : Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm ⁻¹)	π_{alt}	J_{alt}
407.4110	24538.31	0.006	122	97		+150	55	50	37657.928	o	5.5	13119.61	e	4.5
407.6164	24525.94	0.004	9	7		?125	31	5	40113.75	o	6.5	15587.81	e	5.5
407.7216	24519.62	0.015	54	54		+160	61	100	42133.263	o	3.5	17613.66	e	4.5
407.8788	24510.17	0.025	12	12		?114	31	20	44263.974	o	3.5	19753.83	e	3.5
407.9157	24507.95	0.031	8	8		?108	15	7h	43974.645	o	5.5	19466.66	e	6.5
407.9575	24505.44	0.017	120	4	karışık Ar	?120	39	6	42119.08	o	5.5	17613.66	e	4.5
408.0011	24502.82	0.048	35	34	yeni sınıflandırma	?120	29	40h	49460.24	e	4.5	24957.47	o	5.5
408.0771	24498.26	0.028	66	66		?140	48	100	41841.602	o	3.5	17343.37	e	3.5
408.3086	24484.37	0.012	5	5		+200	65	10	44891.22	e	3.5	20406.84	o	2.5
408.3185	24483.77	0.043	10	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?132	31	46221.416	o	5.5	21737.69	e	4.5
408.5520	24469.78	0.074	4	4		?168	50	10h	41211.943	o	3.5	16742.24	e	3.5
408.5734	24468.50	0.032	21	21		?162	21	20	41425.474	o	3.5	16957.01	e	3.5
408.6740	24462.47	0.056	5	3		?144	27	5	41917.235	o	6.5	17454.82	e	6.5
408.7573	24457.49	0.020	5	4		?102	22	6	43447.878	o	5.5	18990.41	e	5.5
408.9189	24447.82	0.022	46	41		?110	1	30	43438.251	o	6.5	18990.41	e	5.5
408.9330	24446.98	0.056	6	5		-115	44	6h	41189.162	o	3.5	16742.24	e	3.5
409.1353	24434.90	0.001	21	20		?102	17	30	43288.722	o	6.5	18853.82	e	5.5
409.1772	24432.39	0.000	48	47		?119	25	80	44180.935	o	5.5	19748.54	e	4.5
409.2422	24428.51	0.019	70	70		?100	7	50	44182.324	o	2.5	19753.83	e	3.5
409.2632	24427.26	0.005	41	41		?108	2	30	42179.886	o	2.5	17752.63	e	2.5
409.4183	24418.01	0.011	5683	4813		-210	17	50000a	24418.018	e	2.5	0	o	3.5
409.8236	24393.86	0.008	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?110	33	44142.395	o	3.5	19748.54	e	4.5
409.9124	24388.57	0.006	8	6		?100	5	10	44142.395	o	3.5	19753.83	e	3.5
410.0212	24382.10	0.003	14	14		?95	11	8	41124.334	o	4.5	16742.24	e	3.5
410.0455	24380.66	0.027	8	8		?95	20	10	42133.263	o	3.5	17752.63	e	2.5
410.2729	24367.14	0.014	67	54		?110	18	60	41109.364	o	4.5	16742.24	e	3.5
410.4190	24358.47	0.005	12	12		-125	47	20	43051.55	o	7.5	18693.07	e	7.5
410.5836	24348.70	0.012	6963	4864		?210	13	50000a	24348.692	e	4.5	0	o	3.5
410.6758	24343.24	0.002	14	13		+145	53	5	44750.078	e	3.5	20406.84	o	2.5
410.7917	24336.37	0.070	164	149		-140	47	300	41078.537	o	4.5	16742.24	e	3.5
410.8568	24332.51	0.000	4	3		?95	5	2	43186.335	o	5.5	18853.82	e	5.5
411.4316	24298.52	0.010	19	19		-160		100	43430.758	o	2.5	19132.25	e	1.5
411.4352	24298.31	0.008	11	10	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100	4	43288.722	o	6.5	18990.41	e	5.5
411.9126	24270.15	0.003	15	12		?141	47	30	41012.387	o	3.5	16742.24	e	3.5
411.9477	24268.08	0.001	15	14		?153	38	50	41881.739	o	4.5	17613.66	e	4.5
412.0726	24260.72	0.012	7	6		?125	34	20	41874.369	o	5.5	17613.66	e	4.5
412.2985	24247.43	0.012	5	3		?130	36	20h	44001.272	o	4.5	19753.83	e	3.5
412.5480	24232.77	0.003	22	22	karışık yeni	-200	77	80	41576.146	o	4.5	17343.37	e	3.5
412.5512	24232.58	0.006	5	4	sınıflandırma karışık	yeni çizgi	?95	23	41687.404	o	5.5	17454.82	e	6.5
412.6296	24227.98	0.033	64	64		?123	38	200	41841.602	o	3.5	17613.66	e	4.5
412.6622	24226.06	0.039	8	8		+130	47	20h	43974.645	o	5.5	19748.54	e	4.5
412.8172	24216.97	0.002	22	17		?117	37	20	42910.043	o	6.5	18693.07	e	7.5
412.8480	24215.16	0.001	9	9		?120	22	20	43052.541	o	3.5	18837.39	e	4.5
413.1763	24195.92	0.010	21	11	karışık Ar	?117	36	10	43186.335	o	5.5	18990.41	e	5.5
413.2740	24190.20	0.008	9	8		?120	16	6	41533.564	o	2.5	17343.37	e	3.5
413.4169	24181.84	0.010	7	6		?100	25	8	41525.2	o	3.5	17343.37	e	3.5
413.7366	24163.15	0.004	9	6		?105	26	4	39434.151	o	6.5	15271	e	7.5
413.7502	24162.36	0.008	40	40		?111	22	70	42855.44	o	7.5	18693.07	e	7.5
413.7502	24162.36	0.009	40	40		?111	22	70	49862.08	e	3.5	25699.71	o	4.5
413.8329	24157.53	0.010	1254	947		?128	27	2000r	32928.76	e	1.5	8771.243	o	2.5
414.0030	24147.60	0.004	31	29		-140	54	80	43614.261	o	7.5	19466.66	e	6.5
414.1509	24138.98	0.077	28	27		?110	12	60h	44545.9	e	1.5	20406.84	o	2.5
414.3995	24124.50	0.001	38	43		?105	2	100	42961.884	o	5.5	18837.39	e	4.5
414.4323	24122.59	0.002	27	23		+185	81	50	44529.428	e	3.5	20406.84	o	2.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}
414.4557	24121.23	0.001	18	12		?90	2	5	39709.038	o	5.5	15587.81	e	5.5
414.5913	24113.34	0.002	54	43		+140	51	40	40855.58	o	4.5	16742.24	e	3.5
414.6129	24112.09	0.015	17	17		+190	78	40h	44518.91	e	2.5	20406.84	o	2.5
414.6822	24108.06	0.005	20	23		?122	25	60	42961.884	o	5.5	18853.82	e	5.5
414.8468	24098.49	0.031	10	10		?125	48	20h	43230.7	o	1.5	19132.25	e	1.5
415.0102	24089.00	0.035	130	130		-140	46	200	41841.602	o	3.5	17752.63	e	2.5
415.2734	24073.73	0.010	20	18		?90	6	20	41687.404	o	5.5	17613.66	e	4.5
415.5758	24056.22	0.004	23	17		?115	27	30	42910.043	o	6.5	18853.82	e	5.5
415.8598	24039.79	0.013	1459	563	karışık	?168	24	500r	32811.02	e	3.5	8771.243	o	2.5
415.8672	24039.36	0.014	10	8	yeni sınıflandırma karışık	-195	84	8	43588.18	o	3.5	19548.83	e	2.5
415.9856	24032.52	0.048	15	15		+167	67	20h	41646.129	o	3.5	17613.66	e	4.5
416.1736	24021.66	0.007	29	29		?135	39	80	40763.892	o	3.5	16742.24	e	3.5
416.5125	24002.12	0.007	5	5		?125	35	20	42839.493	o	4.5	18837.39	e	4.5
416.7096	23990.77	0.010	9	7		?103	29	4	41743.39	o	1.5	17752.63	e	2.5
416.8524	23982.55	0.050	60	55		+145	52	200h	41325.87	o	2.5	17343.37	e	3.5
416.8723	23981.40	0.001	40	40		-170	71	300	43113.646	o	2.5	19132.25	e	1.5
416.8770	23981.13	0.085	12	12	yeni sınıflandırma yeni çizgi	?100	19		43447.878	o	5.5	19466.66	e	6.5
417.0451	23971.47	0.012	53	60		+138	44	500	42961.884	o	5.5	18990.41	e	5.5
417.2013	23962.49	0.001	7	6		?105	18	7	41576.146	o	4.5	17613.66	e	4.5
417.3238	23955.46	0.002	9	7		?115	4	6	41569.114	o	5.5	17613.66	e	4.5
417.7082	23933.41	0.005	4	4		?92	17	7	42770.792	o	4.5	18837.39	e	4.5
417.9489	23919.63	0.011	17	12		?97	6	20	42910.043	o	6.5	18990.41	e	5.5
417.9954	23916.97	0.000	21	21		?105	15	50	42770.792	o	4.5	18853.82	e	5.5
418.0096	23916.15	0.007	19	17		+190	81	30	44323	e	3.5	20406.84	o	2.5
418.0901	23911.55	0.012	23	23		+160	63	40	41525.2	o	3.5	17613.66	e	4.5
418.2846	23900.43	0.005	9	9		?110	4	7	39488.236	o	4.5	15587.81	e	5.5
418.3172	23898.57	0.005	5	4		?115	18	3	40855.58	o	4.5	16957.01	e	3.5
418.4052	23893.54	0.050	13	13		?85	14	6h	41646.129	o	3.5	17752.63	e	2.5
418.4310	23892.07	0.008	4	4		?130	14	6	39479.873	o	5.5	15587.81	e	5.5
418.4511	23890.92	0.004	147	127		?120	32	100	37010.534	o	4.5	13119.61	e	4.5
418.6088	23881.92	0.001	7	7		-142	45	20	43430.758	o	2.5	19548.83	e	2.5
418.7620	23873.18	0.022	8038	5581		-190	2	40000a	23873.207	e	3.5	0	o	3.5
419.0206	23858.45	0.008	6	5		+170	68	20	44265.285	e	3.5	20406.84	o	2.5
419.0977	23854.06	0.003	16	21		?135	27	100	40596.302	o	3.5	16742.24	e	3.5
419.2333	23846.34	0.005	84	61		?130	40	60	39434.151	o	6.5	15587.81	e	5.5
419.3510	23839.65	0.015	28	28		?110	31	40	43588.18	o	3.5	19748.54	e	4.5
419.4440	23834.37	0.021	8	6		?135	18	10	43588.18	o	3.5	19753.83	e	3.5
419.6607	23822.06	0.003	6	5		?120	33	10	43288.722	o	6.5	19466.66	e	6.5
419.6954	23820.09	0.013	10	8		?130	32	5	41274.9	o	6.5	17454.82	e	6.5
419.7922	23814.60	0.006	41	36		?96	15	20	36934.216	o	3.5	13119.61	e	4.5
419.8410	23811.83	0.015	66	61		+155	60	100	41425.474	o	3.5	17613.66	e	4.5
419.9282	23806.89	0.002	27	27		?95	6	30	40763.892	o	3.5	16957.01	e	3.5
420.0574	23799.56	0.014	44	37		+170	63	100	44206.39	e	3.5	20406.84	o	2.5
420.1196	23796.04	0.011	6	5		?115	9	4	43544.574	o	4.5	19748.54	e	4.5
420.1540	23794.09	0.001	13	10		?220	26	10h	46262.14	e	5.5	22468.05	o	5.5
420.3728	23781.71	0.009	9370	5222		?152	2	30000a	23781.698	e	4.5	0	o	3.5
420.3963	23780.38	0.007	66	66		?125	36	30	42770.792	o	4.5	18990.41	e	5.5
420.4840	23775.42	0.003	7	6		?125	23	5	40517.661	o	4.5	16742.24	e	3.5
420.5752	23770.26	0.004	20	20		-150	58	40	42902.504	o	2.5	19132.25	e	1.5
420.9808	23747.36	0.027	4	3		?125	33	5	44868.173	o	4.5	21120.84	e	3.5
421.0819	23741.66	0.001	32	28		?130	36	40	41085.039	o	3.5	17343.37	e	3.5
421.1962	23735.22	0.057	14	12		-220	120	47h	41078.537	o	4.5	17343.37	e	3.5
421.3216	23728.15	0.002	52	52		?96	5	200	42581.974	o	5.5	18853.82	e	5.5
421.3926	23724.15	0.003	7	7		?110	27	10	42561.536	o	4.5	18837.39	e	4.5
421.5803	23713.60	0.013	13	9		-150	54	20	42406.656	o	6.5	18693.07	e	7.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}
421.6849	23707.71	0.001	28	28		+135	45	60	42561.536	o	4.5	18853.82	e	5.5
421.7750	23702.65	0.010	18	17		?105	22	20h	46262.14	e	5.5	22559.5	o	5.5
422.1447	23681.89	0.023	36	36		?105	25	50	43230.7	o	1.5	19548.83	e	2.5
422.1641	23680.80	0.017	25	28		+140	45	80	43429.363	o	4.5	19748.54	e	4.5
422.1743	23680.23	0.008	7	7		?110	30	10	43428.78	o	3.5	19748.54	e	4.5
422.2330	23676.94	0.012	3	4		?200	4	8	43430.758	o	2.5	19753.83	e	3.5
422.2583	23675.52	0.015	86	88		?95	1	200	43429.363	o	4.5	19753.83	e	3.5
422.2671	23675.03	0.011	1613	1613		?112	18	2000r	32446.26	e	3.5	8771.243	o	2.5
422.3058	23672.86	0.016	17	17		?110	21	20	41425.474	o	3.5	17752.63	e	2.5
422.6527	23653.43	0.020	4	4		?125	31	2	44774.242	o	4.5	21120.84	e	3.5
422.8051	23644.90	0.003	82	58		?95	12	40	38915.9	o	6.5	15271	e	7.5
422.9054	23639.29	0.002	10	13		?110	6	40	40596.302	o	3.5	16957.01	e	3.5
423.1331	23626.57	0.003	5	4		?106	13	4	41081.384	o	5.5	17454.82	e	6.5
423.5192	23605.03	0.004	34	30		+172	58	40	40347.267	o	2.5	16742.24	e	3.5
423.5442	23603.64	0.002	17	17		+195	92	40	42594.049	o	4.5	18990.41	e	5.5
423.6392	23598.35	0.061	28	25		-135	43	80h	41211.943	o	3.5	17613.66	e	4.5
423.7610	23591.57	0.002	19	20		?120	28	20	42581.974	o	5.5	18990.41	e	5.5
423.8810	23584.89	0.001	8	8		?185	21	20	43051.55	o	7.5	19466.66	e	6.5
423.9632	23580.31	0.012	10	8		+165	51	6	40322.536	o	4.5	16742.24	e	3.5
424.0487	23575.56	0.054	60	59		?122	37	200h	41189.162	o	3.5	17613.66	e	4.5
424.0715	23574.29	0.028	8	7		+165	72	20	43981.104	e	3.5	20406.84	o	2.5
424.0894	23573.29	0.059	5	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+205	54	41325.87	o	2.5	17752.63	e	2.5
424.1285	23571.12	0.009	15	15		+150	66	40	42561.536	o	4.5	18990.41	e	5.5
424.1530	23569.76	0.000	13	11		-160	67	30h	39157.57	o	6.5	15587.81	e	5.5
424.2422	23564.81	0.006	11	11		-150	48	30	43113.646	o	2.5	19548.83	e	2.5
424.3170	23560.65	0.002	43	37		?100	10	20	40517.661	o	4.5	16957.01	e	3.5
424.4919	23550.94	0.016	19	19		+150	63	30	42541.367	o	5.5	18990.41	e	5.5
424.7414	23537.11	0.002	570	461		?89	8	150	36656.724	o	5.5	13119.61	e	4.5
425.2190	23510.68	0.002	18	18		?94	1	30	41124.334	o	4.5	17613.66	e	4.5
425.3453	23503.70	0.011	65	65		-125	43	200	43052.541	o	3.5	19548.83	e	2.5
425.4896	23495.72	0.015	5	3		?110	29	4	41109.364	o	4.5	17613.66	e	4.5
425.4987	23495.22	0.003	15	18		?110	11	20	42961.884	o	5.5	19466.66	e	6.5
425.9308	23471.38	0.004	13	8		?144	51	10	41085.039	o	3.5	17613.66	e	4.5
425.9972	23467.73	0.003	7	6		?100	6	3	41081.384	o	5.5	17613.66	e	4.5
426.0477	23464.95	0.068	90	82		?132	41	300h	41078.537	o	4.5	17613.66	e	4.5
426.1489	23459.37	0.063	18	15		-230	125	60h	41211.943	o	3.5	17752.63	e	2.5
426.2780	23452.27	0.002	6	5		+180	82	3h	43859.11	e	2.5	20406.84	o	2.5
426.5415	23437.78	0.011	15	12		?130	33	30	43186.335	o	5.5	19748.54	e	4.5
426.5633	23436.58	0.056	8	7		-225	118	20h	41189.162	o	3.5	17752.63	e	2.5
426.8560	23420.51	0.006	143	143		?135	37	300	40763.892	o	3.5	17343.37	e	3.5
427.1715	23403.21	0.034	896	781		?120	31	500r	32174.49	e	2.5	8771.243	o	2.5
427.2535	23398.72	0.007	62	49		+131	54	60	41012.387	o	3.5	17613.66	e	4.5
427.4081	23390.26	0.001	11	9		?120	29	7	40347.267	o	2.5	16957.01	e	3.5
427.4354	23388.77	0.010	25	25		?115	31	60	42855.44	o	7.5	19466.66	e	6.5
427.8603	23365.54	0.010	4	4		?82	12	3	40322.536	o	4.5	16957.01	e	3.5
427.9614	23360.02	0.008	5	5		?87	12	10h	46262.14	e	5.5	22902.13	o	6.5
428.0777	23353.67	0.004	6	5		?120	33	10	42902.504	o	2.5	19548.83	e	2.5
428.4678	23332.41	0.005	42	35		?125	34	40	41085.039	o	3.5	17752.63	e	2.5
428.5837	23326.10	0.016	58	40		?110	22	20	40780.904	o	6.5	17454.82	e	6.5
428.6589	23322.01	0.060	6	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?135	39	44483.351	o	1.5	21161.4	e	2.5
428.7427	23317.45	0.005	13	11		?125	29	10	38588.46	o	6.5	15271	e	7.5
428.9903	23303.99	0.006	5	4		+155	67	20	43052.541	o	3.5	19748.54	e	4.5
429.0877	23298.70	0.007	38	38		?120	23	60	43052.541	o	3.5	19753.83	e	3.5
429.3293	23285.59	0.032	20	20		?130	47	30	43034.166	o	3.5	19748.54	e	4.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}
429.7045	23265.26	0.006	9	9		?125	31	20	42119.08	o	5.5	18853.82	e	5.5
429.8063	23259.75	0.004	52	42		?110	28	40	41012.387	o	3.5	17752.63	e	2.5
429.8363	23258.13	0.003	1306	1165		?110	30	300r	36377.733	o	4.5	13119.61	e	4.5
429.9589	23251.50	0.003	60	46		?102	20	20	40208.499	o	4.5	16957.01	e	3.5
430.0591	23246.08	0.014	15	13		?125	32	20	45714.11	e	5.5	22468.05	o	5.5
430.1361	23241.92	0.004	18	14		+190	59	20	40855.58	o	4.5	17613.66	e	4.5
430.2575	23235.36	0.003	16	13		-175	72	20	42367.61	o	2.5	19132.25	e	1.5
430.4648	23224.17	0.011	6	5		-145	42	5	41917.235	o	6.5	18693.07	e	7.5
430.6375	23214.86	0.010	106	77		?129	38	40	38485.85	o	7.5	15271	e	7.5
430.6658	23213.33	0.011	41	47		?145	45	150	42961.884	o	5.5	19748.54	e	4.5
431.0401	23193.17	0.002	13	13		-183	87	30	42742.008	o	3.5	19548.83	e	2.5
431.2182	23183.60	0.016	9	9	yeni sınıflandırma	+209	112		43590.42	e	3.5	20406.84	o	2.5
431.2956	23179.43	0.036	8	8		?95	9	8	44300.233	o	2.5	21120.84	e	3.5
431.5636	23165.04	0.061	14	12	yeni sınıflandırma	+139	53	30h	46500.09	e	3.5	23335.11	o	3.5
431.7122	23157.07	0.020	8	8		-165	71	20	42705.88	o	2.5	19548.83	e	2.5
431.8396	23150.23	0.000	198	198		+150	46	600r	40763.892	o	3.5	17613.66	e	4.5
432.2421	23128.68	0.002	10	10		+128	48	20	42119.08	o	5.5	18990.41	e	5.5
432.6982	23104.30	0.018	10	7		?112	2	6	40061.324	o	3.5	16957.01	e	3.5
432.9485	23090.94	0.010	4	4		-165	76	8	42839.493	o	4.5	19748.54	e	4.5
433.0475	23085.67	0.003	4	4		?115	34	7	42839.493	o	4.5	19753.83	e	3.5
433.2572	23074.49	0.050	17	17		+175	76	20h	43481.28	e	2.5	20406.84	o	2.5
433.3730	23068.33	0.079	4	4	yeni sınıflandırma	?90	22	3	46500.09	e	3.5	23431.84	o	2.5
433.4652	23063.42	0.006	45	35		?115	36	30	41917.235	o	6.5	18853.82	e	5.5
433.7614	23047.67	0.030	20	10		?190	40	70	42179.886	o	2.5	19132.25	e	1.5
433.9622	23037.00	0.019	18	20		?100	0	30	41874.369	o	5.5	18837.39	e	4.5
434.1335	23027.91	0.002	30	30		?105	28	60	41881.739	o	4.5	18853.82	e	5.5
434.2404	23022.24	0.005	16	16		?125	35	50	42770.792	o	4.5	19748.54	e	4.5
434.3402	23016.96	0.004	9	9		?95	9	15	42770.792	o	4.5	19753.83	e	3.5
434.4477	23011.26	0.001	158	158		?125	36	500	40763.892	o	3.5	17752.63	e	2.5
434.4831	23009.39	0.062	5	7		?105	33	10	44747.009	o	5.5	21737.69	e	4.5
434.5870	23003.88	0.009	166	150		?100	11	200	40347.267	o	2.5	17343.37	e	3.5
434.6482	23000.65	0.002	518	442		-137	48	300	38588.46	o	6.5	15587.81	e	5.5
434.7840	22993.46	0.001	75	75		?100	23	50	42742.008	o	3.5	19748.54	e	4.5
434.8839	22988.18	0.001	11	10		?110	22	20	42742.008	o	3.5	19753.83	e	3.5
435.0115	22981.44	0.062	10	8		?110	8	5	42735.208	o	2.5	19753.83	e	3.5
435.2025	22971.35	0.021	38	24		?95	12	80	45714.11	e	5.5	22742.78	o	6.5
435.5681	22952.07	0.022	54	53		?95	4	60	42705.88	o	2.5	19753.83	e	3.5
435.7616	22941.88	0.004	16	13		?89	2	4	38529.686	o	5.5	15587.81	e	5.5
435.7972	22940.00	0.010	4	4		+140	61	6	42406.656	o	6.5	19466.66	e	6.5
435.9927	22929.72	0.003	9011	3738		?115	8	15000a	22929.717	e	2.5	0	o	3.5
436.0477	22926.83	0.001	24	19		?110	13	15	41917.235	o	6.5	18990.41	e	5.5
436.1742	22920.18	0.011	4	4		?120	40	10	40533.825	o	3.5	17613.66	e	4.5
436.3448	22911.22	0.014	66	57		?130	34	40	38499.016	o	4.5	15587.81	e	5.5
436.4823	22904.00	0.001	7	7		?140	29	3	40517.661	o	4.5	17613.66	e	4.5
436.6282	22896.35	0.037	28	27		+160	59	50h	43303.151	e	3.5	20406.84	o	2.5
436.7240	22891.32	0.009	44	44		+150	52	200	41881.739	o	4.5	18990.41	e	5.5
436.8644	22883.97	0.003	13	17		+140	48	50	41874.369	o	5.5	18990.41	e	5.5
437.5136	22850.01	0.009	61	52		?110	28	100	41687.404	o	5.5	18837.39	e	4.5
437.5760	22846.75	0.017	11	11		?125	35	10	46221.416	o	5.5	23374.68	e	6.5
437.5999	22845.51	0.001	24	17		+190	92	50	42594.049	o	4.5	19748.54	e	4.5
437.7011	22840.22	0.002	16	16		+135	49	50	42594.049	o	4.5	19753.83	e	3.5
437.8286	22833.57	0.011	21	17		?100	11	0.705*	41687.404	o	5.5	18853.82	e	5.5
437.8301	22833.49	0.064	25	25		-235	137	100	42581.974	o	5.5	19748.54	e	4.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}	
437.9995	22824.66	0.049	25	16	yeni sınıflandırma	?88	15	20h	49862.08	e	3.5	27037.47	o	3.5	
438.4740	22799.96	0.035	38	38		+190	85	100h	39542.165	o	3.5	16742.24	e	3.5	
438.5287	22797.12	0.006	36	29		?94	11	20	38384.926	o	4.5	15587.81	e	5.5	
438.5531	22795.85	0.008	5	8		?125	39	30	41786.249	o	4.5	18990.41	e	5.5	
438.6116	22792.81	0.012	9	9		+190	63	10	42541.367	o	5.5	19748.54	e	4.5	
438.6430	22791.18	0.006	10854	5888		?110	27	10000a	22791.176	e	3.5	0	o	3.5	
438.7627	22784.96	0.054	8	8		+195	99	10h	39741.913	o	4.5	16957.01	e	3.5	
438.8351	22781.20	0.011	12	12		-125	48	40	40533.825	o	3.5	17752.63	e	2.5	
439.4419	22749.75	0.010	1114	1114		?115	14	1000r	31520.98	e	1.5	8771.243	o	2.5	
439.5143	22746.00	0.000	7	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100	16	39488.236	o	4.5	16742.24	e	3.5	
439.5955	22741.80	0.006	595	518		+155	59	500	38012.795	o	6.5	15271	e	7.5	
439.6489	22739.04	0.038	464	611		?125	23	500r	31510.24	e	3.5	8771.243	o	2.5	
439.6681	22738.04	0.008	67	62		?120	36	60	39480.272	o	3.5	16742.24	e	3.5	
439.7901	22731.73	0.004	12	10		?100	22	5	41569.114	o	5.5	18837.39	e	4.5	
439.8572	22728.27	0.015	20	20		+220	114	40	39470.489	o	2.5	16742.24	e	3.5	
439.9722	22722.33	0.003	93	93		?95	4	100	41576.146	o	4.5	18853.82	e	5.5	
440.0064	22720.56	0.014	30	26		?95	12	20	39462.782	o	3.5	16742.24	e	3.5	
440.0262	22719.54	0.006	9	9		?100	30	10	44518.91	e	2.5	21799.38	o	1.5	
440.1084	22715.29	0.003	8	6		?115	5	2	41569.114	o	5.5	18853.82	e	5.5	
440.2326	22708.88	0.007	8	7		+155	61	2	40322.536	o	4.5	17613.66	e	4.5	
440.3651	22702.05	0.003	46	46		?100	4	40	39444.295	o	4.5	16742.24	e	3.5	
440.4636	22696.98	0.020	6	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?125	30	41687.404	o	5.5	18990.41	e	5.5	
440.8603	22676.56	0.008	9	8		?130	39	5	45467.723	o	4.5	22791.18	e	3.5	
440.9599	22671.43	0.004	51	46		?115	32	50	39413.672	o	3.5	16742.24	e	3.5	
441.1698	22660.64	0.006	157	157		?130	30	200	31431.88	e	2.5	8771.243	o	2.5	
441.4800	22644.73	0.003	12	12		+180	92	10	39386.959	o	2.5	16742.24	e	3.5	
441.7468	22631.05	0.005	11	11		?120	23	20	42179.886	o	2.5	19548.83	e	2.5	
441.9041	22622.99	0.017	35	33		?95	15	20	45091.022	e	4.5	22468.05	o	5.5	
441.9203	22622.16	0.012	28	26		+170	81	40	42370.718	o	3.5	19748.54	e	4.5	
442.0236	22616.88	0.011	13	13		?130	39	7	42370.718	o	3.5	19753.83	e	3.5	
442.0843	22613.77	0.013	69	69		?105	14	40	42367.61	o	2.5	19753.83	e	3.5	
442.1360	22611.13	0.020	4	3		-200	18	1	41743.39	o	1.5	19132.25	e	1.5	
442.2302	22606.31	0.015	66	66		?90	1	70	41299.37	o	8.5	18693.07	e	7.5	
442.4588	22594.63	0.002	31	29	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?110	15	40347.267	o	2.5	17752.63	e	2.5	
442.5866	22588.11	0.017	5	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?150	26	41425.474	o	3.5	18837.39	e	4.5	
442.5958	22587.63	0.016	493	352		?100	12	200	37858.62	o	7.5	15271	e	7.5	
442.6330	22585.74	0.003	89	89		?105	17	100	41576.146	o	4.5	18990.41	e	5.5	
442.6437	22585.19	0.034	23	25		+160	52	10	39542.165	o	3.5	16957.01	e	3.5	
442.7496	22579.79	0.010	5	5		?125	31	4	39322.014	o	4.5	16742.24	e	3.5	
442.7709	22578.70	0.004	7	5		?100	28	2	41569.114	o	5.5	18990.41	e	5.5	
442.8739	22573.45	0.008	11	8	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90	4	38161.255	o	5.5	15587.81	e	5.5	
442.8771	22573.29	0.053	5	5	yeni sınıflandırma		-165	83	3w	45908.35	e	3.5	23335.11	o	3.5
443.0863	22562.63	0.007	118	105		+142	55	50	35682.251	o	3.5	13119.61	e	4.5	
443.1412	22559.84	0.003	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?138	43	45934.52	o	7.5	23374.68	e	6.5	
443.1560	22559.08	0.065	15	15	yeni sınıflandırma		+163	55	60	46500.09	e	3.5	23941.07	o	4.5
443.4288	22545.20	0.025	29	27		+175	76	40	42952.02	e	3.5	20406.84	o	2.5	
443.6326	22534.85	0.003	65	65		?100	29	100	39277.087	o	2.5	16742.24	e	3.5	
443.6977	22531.54	0.020	46	46		?100	18	20	45091.022	e	4.5	22559.5	o	5.5	
443.7038	22531.23	0.002	6	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100	23	39488.236	o	4.5	16957.01	e	3.5	
443.8006	22526.32	0.028	5	5		?90	22	2	44263.974	o	3.5	21737.69	e	4.5	
443.8606	22523.27	0.008	26	23		?100	4	10	39480.272	o	3.5	16957.01	e	3.5	
444.0533	22513.50	0.017	8	8		+170	79	4	39470.489	o	2.5	16957.01	e	3.5	
444.2054	22505.79	0.014	27	27		?100	15	15	39462.782	o	3.5	16957.01	e	3.5	
444.2732	22502.35	0.007	224	205		+170	74	400	39244.584	o	4.5	16742.24	e	3.5	

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}
444.3283	22499.56	0.025	7	6		-140	66	4	44919.302	e	4.5	22419.76	o	4.5
444.5709	22487.29	0.000	7	6		?130	30	5	39444.295	o	4.5	16957.01	e	3.5
444.7585	22477.80	0.005	210	192		?120	34	200	39220.035	o	4.5	16742.24	e	3.5
444.9218	22469.55	0.014	10	10		?101	27	5	42876.38	e	2.5	20406.84	o	2.5
445.1772	22456.66	0.006	4	2		?90	4	2	39413.672	o	3.5	16957.01	e	3.5
445.2841	22451.27	0.016	4	3		?100	23	2	44919.302	e	4.5	22468.05	o	5.5
445.2978	22450.58	0.010	20	15		-140	51	10	41917.235	o	6.5	19466.66	e	6.5
445.3560	22447.65	0.020	10	9		+135	50	6	40061.324	o	3.5	17613.66	e	4.5
445.4036	22445.25	0.012	554	506		?125	32	1000	39187.473	o	3.5	16742.24	e	3.5
445.7847	22426.06	0.001	14	15		+130	45	20	42179.886	o	2.5	19753.83	e	3.5
445.8059	22424.99	0.006	51	47		+130	45	20	38012.795	o	6.5	15587.81	e	5.5
446.2767	22401.33	0.014	39	33		?110	27	20	41533.564	o	2.5	19132.25	e	1.5
446.6078	22384.73	0.009	30	30		+170	72	70	42133.263	o	3.5	19748.54	e	4.5
446.6646	22381.88	0.005	4	3		?100	23	2	46163.587	o	5.5	23781.7	e	4.5
446.7688	22376.66	0.040	13	13		?105	11	7	42783.46	e	3.5	20406.84	o	2.5
446.7983	22375.19	0.002	278	237		?115	33	100	37646.186	o	6.5	15271	e	7.5
446.8911	22370.54	0.003	8	10		+140	47	10	42119.08	o	5.5	19748.54	e	4.5
447.0013	22365.02	0.014	64	64		?100	2	40	39322.014	o	4.5	16957.01	e	3.5
447.1054	22359.81	0.014	16	15		?115	21	7	44919.302	e	4.5	22559.5	o	5.5
447.1785	22356.16	0.039	5	6		?95	6	2	45147.3	o	4.5	22791.18	e	3.5
447.1985	22355.16	0.031	64	64	yeni sınıflandırma	?95	2	40	49796.05	e	4.5	27440.86	o	4.5
447.6230	22333.96	0.024	25	25	yeni sınıflandırma	?90	17	20	45908.35	e	2.5	23574.42	o	1.5
447.8814	22321.08	0.007	37	35		?105	19	20	46262.14	e	5.5	23941.07	o	4.5
447.9938	22315.47	0.004	26	26		+155	62	30	39658.852	o	2.5	17343.37	e	3.5
448.1051	22309.93	0.010	5	5		?90	1	2	43430.758	o	2.5	21120.84	e	3.5
448.1335	22308.52	0.009	13	15	yeni sınıflandırma	?130	24		43429.363	o	4.5	21120.84	e	3.5
448.4497	22292.79	0.023	6	6		-150	64	5	41841.602	o	3.5	19548.83	e	2.5
448.5545	22287.58	0.004	19	18		+145	43	20	39244.584	o	4.5	16957.01	e	3.5
448.6143	22284.61	0.011	82	82		+135	46	150	39627.996	o	3.5	17343.37	e	3.5
448.7188	22279.42	0.020	4	4		?130	26	2	45070.577	o	4.5	22791.18	e	3.5
448.8983	22270.51	0.001	27	27		?90	3	20	41124.334	o	4.5	18853.82	e	5.5
448.9018	22270.34	0.009	27	22		?89	9	30	35389.94	o	3.5	13119.61	e	4.5
448.9052	22270.17	0.019	20	19		-135	49	10	44689.913	e	4.5	22419.76	o	4.5
448.9612	22267.39	0.012	12	12		?105	31	3	43428.78	o	3.5	21161.4	e	2.5
449.0898	22261.02	0.039	7	7		?85	2	2	45635.737	o	5.5	23374.68	e	6.5
449.2000	22255.55	0.013	56	47		?100	8	20	41109.364	o	4.5	18853.82	e	5.5
449.2270	22254.22	0.001	77	54		?95	1	20	39709.038	o	5.5	17454.82	e	6.5
449.4298	22244.18	0.016	102	76		?115	24	20	35363.77	o	4.5	13119.61	e	4.5
449.7067	22230.48	0.013	8	8		-150	66	5	39187.473	o	3.5	16957.01	e	3.5
449.8220	22224.78	0.068	9	8		-130	54	10	41078.537	o	4.5	18853.82	e	5.5
449.8808	22221.87	0.007	12	11		?115	37	7	44689.913	e	4.5	22468.05	o	5.5
449.9040	22220.73	0.009	22	20		?105	19	10	41687.404	o	5.5	19466.66	e	6.5
450.3481	22198.82	0.027	164	164		?90	9	100	39542.165	o	3.5	17343.37	e	3.5
450.4346	22194.55	0.003	20	15		?108	25	7	41743.39	o	1.5	19548.83	e	2.5
450.4524	22193.68	0.055	36	34		?100	16	20	41325.87	o	2.5	19132.25	e	1.5
450.7130	22180.85	0.003	57	47		?95	3	0.461*	37768.662	o	4.5	15587.81	e	5.5
451.4455	22144.86	0.006	26	26		-147	62	20	39488.236	o	4.5	17343.37	e	3.5
451.6203	22136.28	0.005	47	43		+166	56	70	42543.119	e	3.5	20406.84	o	2.5
451.6685	22133.92	0.005	53	51		?100	11	40	41124.334	o	4.5	18990.41	e	5.5
451.7400	22130.42	0.009	10	11		?145	45	4	44689.913	e	4.5	22559.5	o	5.5
451.7843	22128.25	0.002	66	66		+230	138	70	39741.913	o	4.5	17613.66	e	4.5
451.7914	22127.90	0.005	9	9	yeni sınıflandırma	?70	1		41881.739	o	4.5	19753.83	e	3.5
451.8073	22127.12	0.009	5	5	yeni sınıflandırma	?120	42		39470.489	o	2.5	17343.37	e	3.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}
451.9582	22119.74	0.037	704	704		-142	50	2000	38861.937	o	2.5	16742.24	e	3.5
451.9647	22119.42	0.008	140	140		-166	61	6.92*	39462.782	o	3.5	17343.37	e	3.5
451.9740	22118.96	0.006	97	80		?115	36	20	41109.364	o	4.5	18990.41	e	5.5
452.0634	22114.59	0.005	45	41		?95	10	20	44582.64	e	4.5	22468.05	o	5.5
452.1641	22109.66	0.001	20	18		?125	37	10	44529.428	e	3.5	22419.76	o	4.5
452.3116	22102.46	0.005	6	6	yeni sınıflandırma	?83	5		41569.114	o	5.5	19466.66	e	6.5
452.3431	22100.91	0.008	17	15		-185	75	20	39444.295	o	4.5	17343.37	e	3.5
452.4164	22097.34	0.041	9	10		?125	32	3	41646.129	o	3.5	19548.83	e	2.5
452.4565	22095.37	0.005	9	7		?100	18	3	39709.038	o	5.5	17613.66	e	4.5
452.4820	22094.13	0.002	883	730		?98	5	200	37365.13	o	6.5	15271	e	7.5
452.5034	22093.09	0.029	21	21		+135	49	10	41841.602	o	3.5	19748.54	e	4.5
452.5467	22090.97	0.005	5	4		?78	2	2	41081.384	o	5.5	18990.41	e	5.5
452.6037	22088.19	0.060	26	23		?125	29	30	41078.537	o	4.5	18990.41	e	5.5
452.9743	22070.12	0.003	4	3		+170	62	2	37657.928	o	5.5	15587.81	e	5.5
452.9903	22069.34	0.039	10	9		?120	9	5	43230.7	o	1.5	21161.4	e	2.5
453.2154	22058.38	0.004	803	653		-135	51	300	37646.186	o	6.5	15587.81	e	5.5
453.4497	22046.98	0.016	6	4		?83	12	2	44515.01	e	6.5	22468.05	o	5.5
453.5197	22043.58	0.007	62	62		?112	16	40	39386.959	o	2.5	17343.37	e	3.5
453.8209	22028.95	0.009	17	13		?115	39	4	38485.85	o	7.5	16456.91	e	8.5
453.9407	22023.14	0.002	82	82		?82	0	80	44582.64	e	4.5	22559.5	o	5.5
454.2202	22009.58	0.006	16	16	yeni sınıflandırma	?140	38		38751.812	o	2.5	16742.24	e	3.5
454.3819	22001.75	0.005	11	8		?145	46	2	40855.58	o	4.5	18853.82	e	5.5
454.3866	22001.53	0.025	24	16		?120	16	10	43800.88	e	1.5	21799.38	o	1.5
454.4646	21997.75	0.031	11	9		-160	79	10	44417.48	e	5.5	22419.76	o	4.5
454.7335	21984.74	0.007	21	18		?90	1	5	41533.564	o	2.5	19548.83	e	2.5
454.8101	21981.03	0.007	230	170		-140	52	50	37252.03	o	8.5	15271	e	7.5
454.8595	21978.65	0.008	550	506		-135	48	1000	39322.014	o	4.5	17343.37	e	3.5
455.2223	21961.13	0.002	16	13		-185	91	7	44380.9	e	4.5	22419.76	o	4.5
455.3386	21955.53	0.018	70	58		?85	16	20	44515.01	e	6.5	22559.5	o	5.5
455.4064	21952.25	0.010	5	5		?91	17	2	43113.646	o	2.5	21161.4	e	2.5
455.4646	21949.45	0.018	52	44		?110	12	10	44417.48	e	5.5	22468.05	o	5.5
455.5919	21943.32	0.000	15	12		?135	24	3	38685.555	o	4.5	16742.24	e	3.5
455.6847	21938.85	0.015	9	8		?101	11	3	41687.404	o	5.5	19748.54	e	4.5
455.7634	21935.06	0.009	621	518		?90	0	200	35054.681	o	4.5	13119.61	e	4.5
455.7916	21933.70	0.009	7	7		-170	109	3	39277.087	o	2.5	17343.37	e	3.5
455.8990	21928.54	0.032	6	6	yeni sınıflandırma	+173	91		39542.165	o	3.5	17613.66	e	4.5
455.9296	21927.06	0.016	7	6		?140	41	2	40780.904	o	6.5	18853.82	e	5.5
456.0364	21921.93	0.016	7	7	yeni sınıflandırma	?120	24		38664.184	o	3.5	16742.24	e	3.5
456.3634	21906.22	0.004	16	16		+145	67	20	39658.852	o	2.5	17752.63	e	2.5
456.3896	21904.97	0.035	18	20		-172	83	20	38861.937	o	2.5	16957.01	e	3.5
456.4258	21903.22	0.011	13	11	yeni sınıflandırma	?125	37	3	44323	e	3.5	22419.76	o	4.5
456.4678	21901.21	0.001	643	576		?90	2	400	39244.584	o	4.5	17343.37	e	3.5
456.5425	21897.63	0.042	32	32		+173	78	20	41646.129	o	3.5	19748.54	e	4.5
456.6527	21892.34	0.044	20	20		?115	34	5	41646.129	o	3.5	19753.83	e	3.5
456.7327	21888.51	0.000	12	9		-125	58	3	37159.51	o	7.5	15271	e	7.5
456.9803	21876.65	0.011	18	18		-120	40	10	39220.035	o	4.5	17343.37	e	3.5
457.0237	21874.57	0.002	92	92		?100	21	50	39488.236	o	4.5	17613.66	e	4.5
457.0619	21872.74	0.020	25	25		?100	19	10	43034.166	o	3.5	21161.4	e	2.5
457.1900	21866.62	0.005	102	94		+120	43	80	39480.272	o	3.5	17613.66	e	4.5
457.1984	21866.21	0.000	27	27		?90	2	0.613*	39479.873	o	5.5	17613.66	e	4.5
457.2204	21865.16	0.012	25	20		+150	69	5	40855.58	o	4.5	18990.41	e	5.5
457.3702	21858.00	0.022	58	50		?100	18	20	44417.48	e	5.5	22559.5	o	5.5
457.3980	21856.67	0.027	5	5		-160	89	2	44276.41	e	5.5	22419.76	o	4.5
457.5318	21850.28	0.014	33	33		-200	99	30	39602.902	o	1.5	17752.63	e	2.5

Tablo 4.1(devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}	
457.5558	21849.13	0.010	43	43		?105	19	20	39462.782	o	3.5	17613.66	e	4.5	
457.6314	21845.53	0.006	20	18		-140	50	20	44265.285	e	3.5	22419.76	o	4.5	
457.6612	21844.10	0.006	67	67		-205	110	80	39187.473	o	3.5	17343.37	e	3.5	
457.9437	21830.63	0.006	21	17		?150	11	10	39444.295	o	4.5	17613.66	e	4.5	
458.0060	21827.66	0.057	5	5		+150	67	3	41576.146	o	4.5	19748.54	e	4.5	
458.0462	21825.74	0.003	22	15		?90	6	2	40663.129	o	5.5	18837.39	e	4.5	
458.1857	21819.10	0.011	10	9		-155	72	4	44238.85	e	4.5	22419.76	o	4.5	
458.2739	21814.90	0.004	9	9	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100	25	46163.587	o	5.5	24348.69	e	4.5	
458.2845	21814.39	0.015	240	211		+125	43	100	30585.65	e	1.5	8771.243	o	2.5	
458.3915	21809.30	0.006	20	14		?85	5	2	40663.129	o	5.5	18853.82	e	5.5	
458.4109	21808.38	0.013	17	14		?86	14	5	44276.41	e	5.5	22468.05	o	5.5	
458.4136	21808.25	0.014	5	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?110	37	41274.9	o	6.5	19466.66	e	6.5	
458.4538	21806.34	0.027	13	10		-220	76	6	40938.61	o	2.5	19132.25	e	1.5	
458.5870	21800.00	0.008	23	22	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+130	39	39413.672	o	3.5	17613.66	e	4.5	
458.6062	21799.09	0.060	5	5	yeni sınıflandırma		?110	8	1	46500.09	e	3.5	24701.06	o	4.5
458.6966	21794.79	0.012	57	48		?100	24	20	38751.812	o	2.5	16957.01	e	3.5	
458.7568	21791.93	0.005	33	28		?120	34	10	42198.77	e	2.5	20406.84	o	2.5	
458.7870	21790.50	0.005	9	6		?110	13	1	40780.904	o	6.5	18990.41	e	5.5	
458.8067	21789.56	0.034	97	97		?195	10	50	39542.165	o	3.5	17752.63	e	2.5	
458.8683	21786.64	0.014	11	10		-160	61	6	44206.39	e	3.5	22419.76	o	4.5	
458.9730	21781.67	0.002	16	15		?110	22	10	42902.504	o	2.5	21120.84	e	3.5	
459.0647	21777.32	0.002	178	150		?95	18	40	37365.13	o	6.5	15587.81	e	5.5	
459.0697	21777.08	0.047	45	41		?110	36	5	41325.87	o	2.5	19548.83	e	2.5	
459.1546	21773.06	0.017	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?80	39	45714.11	e	5.5	23941.07	o	4.5	
459.1715	21772.26	0.022	14	12		?115	38	4	44515.01	e	6.5	22742.78	o	6.5	
459.4529	21758.92	0.003	4	5		?95	1	3	40596.302	o	3.5	18837.39	e	4.5	
459.4979	21756.79	0.010	12	11		+140	56	4	38499.016	o	4.5	16742.24	e	3.5	
459.6628	21748.99	0.007	454	454		+200	107	1000	39362.651	o	5.5	17613.66	e	4.5	
459.8292	21741.12	0.012	6	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100	10	42902.504	o	2.5	21161.4	e	2.5	
459.9017	21737.69	0.001	11366	9062		?95	10	2000r	21737.685	e	4.5	0	o	3.5	
460.1142	21727.65	0.007	42	38		-123	40	10	39480.272	o	3.5	17752.63	e	2.5	
460.3046	21718.66	0.005	47	47		?100	8	20	42839.493	o	4.5	21120.84	e	3.5	
460.3214	21717.87	0.014	177	177		+130	41	60	39470.489	o	2.5	17752.63	e	2.5	
460.3425	21716.87	0.037	67	31	yeni sınıflandırma		-185	97	55	44276.41	e	5.5	22559.5	o	5.5
460.4848	21710.16	0.014	179	179		-151	60	300	39462.782	o	3.5	17752.63	e	2.5	
460.5229	21708.37	0.011	36	36		?130	39	40	39322.014	o	4.5	17613.66	e	4.5	
460.8895	21691.10	0.003	14	13		?100	16	3	43428.78	o	3.5	21737.69	e	4.5	
460.9349	21688.96	0.004	92	84		-155	64	50	37276.778	o	5.5	15587.81	e	5.5	
461.0466	21683.71	0.009	7	8		?94	8	2	45058.379	o	5.5	23374.68	e	6.5	
461.0590	21683.12	0.004	16	15		?130	35	4	40376.2	o	6.5	18693.07	e	7.5	
461.1196	21680.27	0.002	7	7		?75	7	1	40517.661	o	4.5	18837.39	e	4.5	
461.1917	21676.88	0.046	10	8	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?230	35	41425.474	o	3.5	19748.54	e	4.5	
461.2376	21674.73	0.023	18	15		?125	40	7	44417.48	e	5.5	22742.78	o	6.5	
461.3030	21671.65	0.010	22	22		?115	23	5	41425.474	o	3.5	19753.83	e	3.5	
461.3111	21671.27	0.001	5	3		-146	52	1	43408.96	o	5.5	21737.69	e	4.5	
461.3965	21667.26	0.004	278	278		?122	25	200	39419.9	o	1.5	17752.63	e	2.5	
461.4429	21665.08	0.030	8	8	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100	28	44456.23	o	3.5	22791.18	e	3.5	
461.4695	21663.84	0.003	37	31		?94	20	10	40517.661	o	4.5	18853.82	e	5.5	
461.5099	21661.94	0.014	12	12	yeni sınıflandırma		?155	34	3	45908.35	e	2.5	24246.43	o	3.5
461.5292	21661.03	0.005	86	77		-125	42	20	39413.672	o	3.5	17752.63	e	2.5	
461.9204	21642.69	0.002	21	17		?125	34	4	38384.926	o	4.5	16742.24	e	3.5	
462.0990	21634.32	0.001	112	112		?95	17	50	39386.959	o	2.5	17752.63	e	2.5	
462.1716	21630.93	0.003	157	150		+175	81	300	39244.584	o	4.5	17613.66	e	4.5	

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}
462.3800	21621.18	0.006	4	4		?105	35	3	42742.008	o	3.5	21120.84	e	3.5
462.5244	21614.43	0.055	8	8		?110	27	1	42735.208	o	2.5	21120.84	e	3.5
462.5571	21612.90	0.015	112	89		?100	30	40	44515.01	e	6.5	22902.13	o	6.5
462.6967	21606.38	0.004	301	275		?140	41	200	39220.035	o	4.5	17613.66	e	4.5
463.1535	21585.07	0.026	26	26		?102	22	10	42705.88	o	2.5	21120.84	e	3.5
463.2490	21580.62	0.014	8	8		-111	41	5	42742.008	o	3.5	21161.4	e	2.5
463.3949	21573.82	0.010	260	260		?121	31	300	39187.473	o	3.5	17613.66	e	4.5
463.4302	21572.18	0.009	682	573	yeni sınıflandırma	785	3		34691.802	o	5.5	13119.61	e	4.5
463.6626	21561.37	0.027	14	12		-130	55	20	43981.104	e	3.5	22419.76	o	4.5
463.7771	21556.05	0.063	9	9		-155	71	5	44891.22	e	3.5	23335.11	o	3.5
463.8281	21553.67	0.040	5	7		?100	12	2	44483.351	o	1.5	22929.72	e	2.5
464.0253	21544.51	0.035	18	18		?110	27	4	42705.88	o	2.5	21161.4	e	2.5
464.0791	21542.02	0.009	163	150		?100	22	50	38499.016	o	4.5	16957.01	e	3.5
464.2047	21536.19	0.015	5	4		-120	48	1	41085.039	o	3.5	19548.83	e	2.5
464.2594	21533.65	0.018	69	58		-105	32	20	44276.41	e	5.5	22742.78	o	6.5
464.3123	21531.20	0.021	787	730		?115	21	300	30302.42	e	2.5	8771.243	o	2.5
464.4331	21525.60	0.033	10	9		-170	85	4	41074.399	o	2.5	19548.83	e	2.5
464.4578	21524.45	0.001	230	230		-190	104	300	39277.087	o	2.5	17752.63	e	2.5
464.5038	21522.32	0.052	7	7	yeni sınıflandırma	?140	34	1	40376.2	o	6.5	18853.82	e	5.5
464.5843	21518.59	0.028	131	139		-220	127	100	38861.937	o	2.5	17343.37	e	3.5
464.8298	21507.23	0.081	28	34	yeni sınıflandırma	?101	25	10h	45289.01	o	5.5	23781.7	e	4.5
465.5085	21475.87	0.003	1011	1011		?120	38	1000	39089.533	o	5.5	17613.66	e	4.5
465.5662	21473.21	0.002	5	5		785	14	1	42594.049	o	4.5	21120.84	e	3.5
465.6489	21469.40	0.009	42	37		?130	40	20	38211.625	o	3.5	16742.24	e	3.5
465.6712	21468.37	0.002	234	195		?97	2	70	34587.982	o	4.5	13119.61	e	4.5
465.7778	21463.46	0.057	17	14		?130	32	6	41211.943	o	3.5	19748.54	e	4.5
465.8293	21461.08	0.001	31	22		?130	27	4	38915.9	o	6.5	17454.82	e	6.5
465.8667	21459.36	0.014	5	5		?96	1	1	44891.22	e	3.5	23431.84	o	2.5
465.8925	21458.17	0.057	17	17		-150	77	30	41211.943	o	3.5	19753.83	e	3.5
466.0609	21450.42	0.014	4	4		?115	9	1	43447.878	o	5.5	21997.47	e	5.5
466.0993	21448.65	0.000	8	6	yeni sınıflandırma	?115	25		43186.335	o	5.5	21737.69	e	4.5
466.2726	21440.68	0.059	15	14		?160	26	10	41189.162	o	3.5	19748.54	e	4.5
466.3879	21435.38	0.049	18	16		-180	70	30	41189.162	o	3.5	19753.83	e	3.5
466.6634	21422.72	0.001	253	221		?115	35	100	37010.534	o	4.5	15587.81	e	5.5
466.6706	21422.40	0.003	71	71		?165	27	1.11*	38877.211	o	5.5	17454.82	e	6.5
466.8328	21414.95	0.016	5	5		+156	49	4	44750.078	e	3.5	23335.11	o	3.5
466.8692	21413.28	0.008	426	336		?100	18	100	34532.898	o	5.5	13119.61	e	4.5
466.9749	21408.43	0.003	38	34		?119	38	10	38751.812	o	2.5	17343.37	e	3.5
467.1214	21401.72	0.015	74	58		?90	10	10	37858.62	o	7.5	16456.91	e	8.5
467.5319	21382.93	0.007	2560	2163		?91	22	500	36653.924	o	7.5	15271	e	7.5
467.6881	21375.79	0.005	13	12		?90	4	5	41124.334	o	4.5	19748.54	e	4.5
467.7207	21374.30	0.013	56	48		?90	26	30	44276.41	e	5.5	22902.13	o	6.5
467.7905	21371.11	0.005	6	5	yeni sınıflandırma	?100	25		40208.499	o	4.5	18837.39	e	4.5
467.8033	21370.52	0.007	13	13		?160	52	10	44300.233	o	2.5	22929.72	e	2.5
467.8449	21368.62	0.005	7	5		?120	44	3	43836.666	e	6.5	22468.05	o	5.5
468.0090	21361.13	0.016	22	19		?95	18	5	43160.53	e	1.5	21799.38	o	1.5
468.0157	21360.83	0.007	18	15		?115	37	0.746*	41109.364	o	4.5	19748.54	e	4.5
468.1315	21355.54	0.009	17	14		?100	1	3	41109.364	o	4.5	19753.83	e	3.5
468.1476	21354.81	0.004	9	9		+125	69	3	44689.913	e	4.5	23335.11	o	3.5
468.1925	21352.76	0.017	2586	2202		?90	9	1000r	30124.02	e	3.5	8771.243	o	2.5
468.2825	21348.65	0.019	10	10	yeni sınıflandırma	?140	39	2	45485.87	o	5.5	24137.2	e	6.5
468.5110	21338.24	0.001	1549	1293		785	2	500	34457.853	o	4.5	13119.61	e	4.5
468.5499	21336.47	0.024	4	4		?200	56	1	41085.039	o	3.5	19748.54	e	4.5
468.6298	21332.84	0.006	11	9		?105	7	2	41081.384	o	5.5	19748.54	e	4.5
468.6909	21330.06	0.062	43	41		?110	30	20	41078.537	o	4.5	19748.54	e	4.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}
468.8946	21320.79	0.021	11	10		-150	52	2	38664.184	o	3.5	17343.37	e	3.5
468.9509	21318.23	0.006	31	28		90	8	6	44750.078	e	3.5	23431.84	o	2.5
469.1115	21310.93	0.007	1907	1702		?110	14	500r	30082.18	e	2.5	8771.243	o	2.5
469.1501	21309.18	0.007	270	253		+140	52	200	39061.819	o	1.5	17752.63	e	2.5
469.2492	21304.68	0.006	9	9		?110	13	2	46262.14	e	5.5	24957.47	o	5.5
469.4303	21296.46	0.024	19	19		?168	9	20	43034.166	o	3.5	21737.69	e	4.5
469.4443	21295.82	0.013	11	9		-150	60	4	43715.572	e	5.5	22419.76	o	4.5
469.6258	21287.59	0.000	10	8		?120	23	2	43755.64	e	4.5	22468.05	o	5.5
469.6388	21287.00	0.042	4	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?125	39	45635.737	o	5.5	24348.69	e	4.5
469.7663	21281.22	0.071	11	11		95	5	5	44591.133	o	6.5	23309.98	e	5.5
469.8558	21277.17	0.007	40	32		?125	40	20	43836.666	e	6.5	22559.5	o	5.5
469.8665	21276.69	0.007	10	9		-115	43	3	45058.379	o	5.5	23781.7	e	4.5
469.9232	21274.12	0.029	15	19		-158	44	10	45147.3	o	4.5	23873.21	e	3.5
470.1568	21263.55	0.004	282	266		+140	47	300	38877.211	o	5.5	17613.66	e	4.5
470.2369	21259.93	0.000	8	6		131	48	1	40113.75	o	6.5	18853.82	e	5.5
470.2674	21258.55	0.009	6	6		?110	20	1	41012.387	o	3.5	19753.83	e	3.5
470.3542	21254.63	0.008	47	39		90	8	10	38211.625	o	3.5	16957.01	e	3.5
470.3984	21252.63	0.021	4	4		?80	13	3	44182.324	o	2.5	22929.72	e	2.5
470.5114	21247.52	0.003	15	13		?115	29	4	43715.572	e	5.5	22468.05	o	5.5
470.5283	21246.76	0.012	5	4		90	5	1	42367.61	o	2.5	21120.84	e	3.5
470.5452	21246.00	0.016	177	151		?125	39	50	34365.624	o	3.5	13119.61	e	4.5
471.1642	21218.09	0.007	17	12		90	26	2	40208.499	o	4.5	18990.41	e	5.5
471.2007	21216.44	0.007	68	53		90	19	20	44591.133	o	6.5	23374.68	e	6.5
471.2323	21215.02	0.001	66	66		-155	57	30	40347.267	o	2.5	19132.25	e	1.5
471.3348	21210.41	0.005	62	49		?120	39	20	41617.243	e	3.5	20406.84	o	2.5
471.6244	21197.38	0.015	4	4		-140	59	4	45070.577	o	4.5	23873.21	e	3.5
471.6520	21196.14	0.003	32	28		?135	30	15	43755.64	e	4.5	22559.5	o	5.5
471.7728	21190.71	0.006	156	128		-85	4	40	34310.33	o	4.5	13119.61	e	4.5
471.8142	21188.86	0.005	12	10		90	2	2	43186.335	o	5.5	21997.47	e	5.5
471.9269	21183.80	0.003	45	42		+165	74	30	44518.91	e	2.5	23335.11	o	3.5
472.2195	21170.67	0.015	7	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?120	6	43590.42	e	3.5	22419.76	o	4.5
472.4265	21161.39	0.006	5120	4310		90	0	700r	21161.401	e	2.5	0	o	3.5
472.4981	21158.19	0.049	21	21		?103	9	7	42957.52	e	2.5	21799.38	o	1.5
472.5549	21155.64	0.002	138	126		?100	22	40	38499.016	o	4.5	17343.37	e	3.5
472.9224	21139.20	0.006	39	35		-120	43	5	38482.584	o	3.5	17343.37	e	3.5
472.9554	21137.73	0.019	41	32		?107	33	7	41544.59	e	2.5	20406.84	o	2.5
473.3336	21120.84	0.003	18432	11059		?100	4	2000r	21120.836	e	3.5	0	o	3.5
473.5915	21109.34	0.037	730	25 karışık Ar		-200	125	20	38861.937	o	2.5	17752.63	e	2.5
473.7604	21101.81	0.005	15	15		?130	30	10	42839.493	o	4.5	21737.69	e	4.5
473.8555	21097.58	0.005	4	4		?110	25	1	44529.428	e	3.5	23431.84	o	2.5
473.9204	21094.69	0.043	50	50		?98	21	10	43514.41	e	3.5	22419.76	o	4.5
473.9382	21093.90	0.008	21	17		?80	12	4	43836.666	e	6.5	22742.78	o	6.5
474.0915	21087.08	0.011	7	7		?100	17	1	44518.91	e	2.5	23431.84	o	2.5
474.1110	21086.21	0.016	86	78		+170	60	40	41493.034	e	2.5	20406.84	o	2.5
474.3180	21077.01	0.007	6	6		-145	80	3	42876.38	e	2.5	21799.38	o	1.5
474.3661	21074.87	0.003	14	11		?85	5	2	38529.686	o	5.5	17454.82	e	6.5
474.4331	21071.90	0.000	58	50		?110	23	15	38685.555	o	4.5	17613.66	e	4.5
474.7225	21059.05	0.001	6	6		?110	32	4	42179.886	o	2.5	21120.84	e	3.5
475.0220	21045.77	0.018	24	20	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?110	27	44380.9	e	4.5	23335.11	o	3.5
475.0253	21045.62	0.038	41	37		?130	44	30	43788.44	e	5.5	22742.78	o	6.5
475.0524	21044.42	0.036	25	25		?130	36	6	43464.15	e	4.5	22419.76	o	4.5
475.0613	21044.03	0.016	10	10		90	2	3	44418.695	o	6.5	23374.68	e	6.5
475.1173	21041.55	0.003	77	65		-120	40	30	38384.926	o	4.5	17343.37	e	3.5
475.4592	21026.42	0.006	160	138		?85	3	30	37768.662	o	4.5	16742.24	e	3.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}
475.7098	21015.34	0.007	11	11		+145	57	7	40763.892	o	3.5	19748.54	e	4.5
475.7755	21012.44	0.012	6	6		?106	9	2	42133.263	o	3.5	21120.84	e	3.5
475.9592	21004.33	0.007	6	6		?75	34	1	42742.008	o	3.5	21737.69	e	4.5
475.9909	21002.93	0.005	2048	1779		?100	20	500	36273.94	o	7.5	15271	e	7.5
476.3325	20987.87	0.020	5	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+165	74	44323	e	3.5	23335.11	o	3.5
476.6748	20972.80	0.003	4	4		?120	47	1	43715.572	e	5.5	22742.78	o	6.5
476.6956	20971.88	0.020	7	8		?80	5	2	42133.263	o	3.5	21161.4	e	2.5
476.8438	20965.37	0.055	12	18		?100	25	6	44747.009	o	5.5	23781.7	e	4.5
476.8643	20964.46	0.052	27	27	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?115	26	42961.884	o	5.5	21997.47	e	5.5
477.1335	20952.64	0.011	18	15		?100	20	2	36223.628	o	6.5	15271	e	7.5
477.4160	20940.24	0.080	60	76	yeni sınıflandırma		?105	13	45289.01	o	5.5	24348.69	e	4.5
477.5459	20934.54	0.003	57	45		?90	14	20	43836.666	e	6.5	22902.13	o	6.5
477.9687	20916.02	0.003	162	133		?95	20	20	38529.686	o	5.5	17613.66	e	4.5
478.0018	20914.58	0.009	5	4		?90	23	1	40663.129	o	5.5	19748.54	e	4.5
478.0713	20911.54	0.015	22	22		-140	50	10	38664.184	o	3.5	17752.63	e	2.5
478.2315	20904.53	0.004	8	7		+170	104	5d	39741.913	o	4.5	18837.39	e	4.5
478.2498	20903.73	0.006	5	5		+125	44	1	44238.85	e	4.5	23335.11	o	3.5
478.3111	20901.05	0.016	16	18		?90	1	4	44774.242	o	4.5	23873.21	e	3.5
478.6696	20885.40	0.041	6	6		+140	58	2	38499.016	o	4.5	17613.66	e	4.5
478.9639	20872.57	0.090	21	20		?90	2	4	43292.24	e	4.5	22419.76	o	4.5
478.9849	20871.65	0.004	9	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90	12	39709.038	o	5.5	18837.39	e	4.5
479.0629	20868.25	0.001	98	85		?115	36	30	38211.625	o	3.5	17343.37	e	3.5
479.3359	20856.37	0.003	11	12		?115	34	4	42594.049	o	4.5	21737.69	e	4.5
479.3625	20855.21	0.008	8	8		?105	25	1	39709.038	o	5.5	18853.82	e	5.5
479.5341	20847.75	0.010	7	10		+120	45	10	40596.302	o	3.5	19748.54	e	4.5
479.6057	20844.64	0.038	3	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-110	55	45091.022	e	4.5	24246.43	o	3.5
479.6135	20844.30	0.007	10	11		?100	23	3	42581.974	o	5.5	21737.69	e	4.5
479.6657	20842.03	0.006	23	23		?115	31	10	42839.493	o	4.5	21997.47	e	5.5
479.8103	20835.75	0.008	8	8		?108	29	4	44210.42	o	7.5	23374.68	e	6.5
479.8633	20833.44	0.004	50	46		?100	6	10	44265.285	e	3.5	23431.84	o	2.5
480.4271	20809.00	0.012	13	13		+160	53	5	44750.078	e	3.5	23941.07	o	4.5
480.5409	20804.07	0.002	7	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-125	50	45934.52	o	7.5	25130.45	e	7.5
480.5500	20803.67	0.007	39	39		?85	3	10	42541.367	o	5.5	21737.69	e	4.5
480.6663	20798.64	0.035	8	10	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?85	25	45147.3	o	4.5	24348.69	e	4.5
480.6713	20798.42	0.010	12	12		?100	27	2	40347.267	o	2.5	19548.83	e	2.5
480.7013	20797.13	0.017	18	18		-135	52	7	42596.49	e	2.5	21799.38	o	1.5
480.7476	20795.12	0.007	570	438		-130	52	100	37252.03	o	8.5	16456.91	e	8.5
480.8677	20789.93	0.009	634	608		?104	21	300	36377.733	o	4.5	15587.81	e	5.5
480.9751	20785.29	0.008	8	9		+120	46	7	40533.825	o	3.5	19748.54	e	4.5
481.1637	20777.14	0.056	39	36	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-205	107	43196.848	e	5.5	22419.76	o	4.5
481.2236	20774.56	0.010	9	9		?80	2	2	44206.39	e	3.5	23431.84	o	2.5
481.2998	20771.27	0.000	6	6		+130	48	1	38384.926	o	4.5	17613.66	e	4.5
481.3489	20769.15	0.028	195	178		?110	34	150	40517.661	o	4.5	19748.54	e	4.5
481.5401	20760.90	0.004	9	9		?100	21	3	41881.739	o	4.5	21120.84	e	3.5
481.6386	20756.65	0.012	4	4		?70	1	1	45714.11	e	5.5	24957.47	o	5.5
481.7139	20753.41	0.013	7	7		?100	24	1	43544.574	o	4.5	22791.18	e	3.5
481.8198	20748.85	0.008	6	6		+159	71	2	44689.913	e	4.5	23941.07	o	4.5
481.9794	20741.98	0.002	45	35		+150	63	10	36329.786	o	5.5	15587.81	e	5.5
482.0002	20741.08	0.004	6	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?120	32	39434.151	o	6.5	18693.07	e	7.5
482.1595	20734.23	0.015	66	57		?90	12	20	38347.875	o	5.5	17613.66	e	4.5
482.2591	20729.95	0.001	10	8		-130	39	2	38482.584	o	3.5	17752.63	e	2.5
482.3597	20725.62	0.005	5	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?80	2	39563.003	o	5.5	18837.39	e	4.5
482.4462	20721.91	0.024	4	4		?125	34	1	45070.577	o	4.5	24348.69	e	4.5
482.5228	20718.62	0.011	5	4		?110	32	1	39709.038	o	5.5	18990.41	e	5.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}
482.7307	20709.70	0.010	14	15		?110	33	4	45058.379	o	5.5	24348.69	e	4.5
482.7427	20709.18	0.001	52	46		?90	1	10	39563.003	o	5.5	18853.82	e	5.5
482.8065	20706.44	0.006	221	158		?95	1	40	38161.255	o	5.5	17454.82	e	6.5
482.8962	20702.60	0.002	362	298		-130	57	100	37159.51	o	7.5	16456.91	e	8.5
483.0573	20695.70	0.041	23	23		-170	76	15	43115.42	e	4.5	22419.76	o	4.5
483.2398	20687.88	0.002	14	12		?90	20	2	35958.88	o	6.5	15271	e	7.5
483.4594	20678.48	0.057	7	6		-145	61	2	43098.19	e	3.5	22419.76	o	4.5
483.5750	20673.54	0.007	1280	1165		?90	18	300	33793.154	o	5.5	13119.61	e	4.5
483.5898	20672.91	0.029	32	30		-135	47	5	44919.302	e	4.5	24246.43	o	3.5
483.9210	20658.76	0.009	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?70	4	33778.36	o	3.5	13119.61	e	4.5
484.1063	20650.85	0.001	7	7		?100	10	1	39488.236	o	4.5	18837.39	e	4.5
484.2484	20644.79	0.006	11	10	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?125	34	44891.22	e	3.5	24246.43	o	3.5
484.2928	20642.90	0.009	49	46		?90	7	10	39480.272	o	3.5	18837.39	e	4.5
484.3024	20642.49	0.000	5	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?110	22	39479.873	o	5.5	18837.39	e	4.5
484.4220	20637.39	0.048	8	8		?105	12	2	43196.848	e	5.5	22559.5	o	5.5
484.4587	20635.83	0.012	675	554		?85	6	50	36223.628	o	6.5	15587.81	e	5.5
484.6884	20626.05	0.000	127	127		?90	1	40	39479.873	o	5.5	18853.82	e	5.5
484.7566	20623.15	0.030	8	10		+175	74	2	43958.23	e	2.5	23335.11	o	3.5
485.1754	20605.35	0.013	291	291		?95	9	100	39737.58	o	0.5	19132.25	e	1.5
485.1923	20604.63	0.000	26	20	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90	19	43979.308	o	6.5	23374.68	e	6.5
485.3491	20597.97	0.006	132	114		+127	48	30	38211.625	o	3.5	17613.66	e	4.5
485.4562	20593.43	0.008	10	10		?114	31	3	40347.267	o	2.5	19753.83	e	3.5
485.5761	20588.34	0.013	7	6		+175	81	2	44529.428	e	3.5	23941.07	o	4.5
485.6666	20584.51	0.006	28	31		?110	20	20	42581.974	o	5.5	21997.47	e	5.5
485.7652	20580.33	0.001	6	5		?90	23	1	39434.151	o	6.5	18853.82	e	5.5
485.9147	20574.00	0.003	8	8	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+155	67	40322.536	o	4.5	19748.54	e	4.5
485.9479	20572.59	0.006	44	40		?120	30	30	39563.003	o	5.5	18990.41	e	5.5
486.0395	20568.71	0.007	4	3		?100	26	1	40322.536	o	4.5	19753.83	e	3.5
486.1494	20564.06	0.001	5	5		?85	18	2	42561.536	o	4.5	21997.47	e	5.5
486.1868	20562.48	0.006	26	22		?118	38	4	37519.484	o	3.5	16957.01	e	3.5
486.2932	20557.98	0.006	135	122		+140	52	30	38012.795	o	6.5	17454.82	e	6.5
486.4991	20549.28	0.024	22	20		?85	10	3	43981.104	e	3.5	23431.84	o	2.5
486.5390	20547.60	0.001	87	63		?110	30	10	38161.255	o	5.5	17613.66	e	4.5
486.6269	20543.89	0.008	66	66		?93	12	50	42541.367	o	5.5	21997.47	e	5.5
486.7804	20537.41	0.034	17	17		?95	12	4	42957.138	e	5.5	22419.76	o	4.5
486.8368	20535.03	0.010	4	4		?101	2	1	44316.715	o	4.5	23781.7	e	4.5
487.0367	20526.60	0.007	234	234		?105	18	200	39658.852	o	2.5	19132.25	e	1.5
487.0684	20525.26	0.003	28	30		+155	73	20	39362.651	o	5.5	18837.39	e	4.5
487.0989	20523.98	0.032	19	17		+160	81	7	43859.06	e	2.5	23335.11	o	3.5
487.2141	20519.13	0.004	23	21	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-155	70	33638.74	o	5.5	13119.61	e	4.5
487.4590	20508.82	0.009	61	61		+195	98	40	39362.651	o	5.5	18853.82	e	5.5
487.9195	20489.46	0.007	282	282	karişik	?92	10	300	39479.873	o	5.5	18990.41	e	5.5
487.9229	20489.32	0.030	28	22	karişik	?90	18	0.038*	29260.59	e	3.5	8771.243	o	2.5
488.1631	20479.24	0.018	12	10	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+160	79	37221.455	o	3.5	16742.24	e	3.5
488.2301	20476.43	0.019	4	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?130	41	44417.48	e	5.5	23941.07	o	4.5
488.3670	20470.69	0.030	152	152		?105	138	200	39602.902	o	1.5	19132.25	e	1.5
488.4263	20468.20	0.011	24	24		?115	28	10	39322.014	o	4.5	18853.82	e	5.5
488.6460	20459.00	0.008	13	11		?105	33	3	38211.625	o	3.5	17752.63	e	2.5
488.7341	20455.31	0.001	23	23		-140	47	10	41576.146	o	4.5	21120.84	e	3.5
488.7626	20454.12	0.047	72	67	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100	20	43196.848	e	5.5	22742.78	o	6.5
488.7683	20453.88	0.009	12	12		?110	25	40h	39444.295	o	4.5	18990.41	e	5.5
488.8566	20450.18	0.096	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?85	18	49758.97	e	3.5	29308.69	o	4.5
489.0108	20443.74	0.006	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?85	2	39434.151	o	6.5	18990.41	e	5.5
489.0161	20443.52	0.027	8	8		?110	31	2	44689.913	e	4.5	24246.43	o	3.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}
489.1046	20439.82	0.012	12	10	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?120	29				44380.9	e	4.5
489.1666	20437.22	0.002	6	7			?110	38	2			44855.24	o	2.5
489.4052	20427.26	0.005	23	21	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?115	24				43859.11	e	2.5
489.4103	20427.05	0.025	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?115	11				44300.233	o	2.5
489.4526	20425.28	0.006	10	9	karışık		-140	73	4			37768.662	o	4.5
489.5666	20420.53	0.003	23	20			+145	54	10			43755.64	e	4.5
489.7534	20412.74	0.011	4	4			+125	47	1			41533.564	o	2.5
489.9544	20404.36	0.000	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?105	33				41525.2	o	3.5
489.9676	20403.82	0.015	55	42			?100	24	5			37858.62	o	7.5
490.0183	20401.70	0.003	18	17			?95	29	8			42869.748	e	6.5
490.0543	20400.20	0.004	20	16			?80	1	5			42868.255	e	5.5
490.0740	20399.39	0.003	9	9			-145	76	5			42198.77	e	2.5
490.0983	20398.37	0.057	18	23			?95	21	5			44747.009	o	5.5
490.1153	20397.67	0.029	4	4			+150	73	1			42957.138	e	5.5
490.1620	20395.72	0.003	92	70			+135	54	100			40802.56	e	3.5
490.1651	20395.60	0.017	19	19	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90	16				42133.263	o	3.5
490.2812	20390.77	0.001	16	16			+160	66	20			44263.974	o	3.5
490.3002	20389.98	0.012	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?85	5				45091.022	e	4.5
490.4483	20383.82	0.002	6	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?180	33				43958.23	e	2.5
490.4684	20382.98	0.002	10	10			?105	33	2			45091.022	e	4.5
490.5064	20381.40	0.007	19	19	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90	1				42119.08	o	5.5
490.7272	20372.23	0.014	120	120			+205	119	100			39362.651	o	5.5
490.7551	20371.07	0.004	384	307			?85	6	30			35958.88	o	6.5
490.8722	20366.22	0.003	11	10			?120	30	5			39220.035	o	4.5
490.9738	20362.00	0.006	493	458			-155	64	200			35633.01	o	8.5
491.5470	20338.26	0.012	9	9			?95	10	1			39470.489	o	2.5
491.5961	20336.23	0.012	8	8			-165	73	3			44582.64	e	4.5
491.7076	20331.61	0.005	45	45			+135	47	20			39322.014	o	4.5
492.0573	20317.16	0.010	5	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?85	3				45018.23	e	3.5
492.2248	20310.25	0.005	7	7			?135	35	2			42869.748	e	6.5
492.2521	20309.12	0.008	11	13			?107	19	2			44182.324	o	2.5
492.3605	20304.65	0.015	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?120	13				41425.474	o	3.5
492.3826	20303.74	0.006	595	570			-125	50	600			39157.57	o	6.5
492.5054	20298.68	0.001	8	8			?80	20	2			42718.44	e	4.5
492.5273	20297.78	0.003	7	6			+120	48	1			44238.85	e	4.5
492.5994	20294.81	0.085	4	8	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?140	35				43196.848	e	5.5
492.7732	20287.65	0.007	250	250			?95	22	200			39419.9	o	1.5
492.7956	20286.73	0.065	15	11			+150	88	3			40693.63	e	1.5
492.8453	20284.68	0.033	84	83			?125	42	50			43859.06	e	2.5
493.1412	20272.51	0.022	8	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?120	20				44518.91	e	2.5
493.2438	20268.29	0.004	5	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?135	55				37010.534	o	4.5
493.2557	20267.80	0.002	5	3			?150	65	1			47644.931	o	6.5
493.3162	20265.32	0.001	180	4			+160	57	1			44206.39	e	3.5
493.3369	20264.47	0.017	33	26			+135	49	5			37221.455	o	3.5
493.4798	20258.60	0.009	6	6			-135	44	2			45389.06	o	6.5
493.5600	20255.31	0.002	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+220	107				43590.42	e	3.5
493.5745	20254.71	0.003	20	20			?110	24	3			39386.959	o	2.5
493.5876	20254.17	0.004	24	23			+193	92	20			39244.584	o	4.5
493.7381	20248.00	0.020	21	19			-160	82	20			42667.745	e	4.5
493.8693	20242.62	0.020	33	27			+145	55	5			40649.441	e	3.5
493.8754	20242.37	0.004	18	13			?90	1	1			39709.038	o	5.5
493.9437	20239.57	0.009	4	4			?110	28	3			43614.261	o	7.5
494.0176	20236.55	0.047	13	13			+175	92	3			43571.61	e	2.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	E_{ist} (cm^{-1})	π_{ist}	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}	
494.0381	20235.71	0.003	42	45		-130	46	20	39089.533	o	5.5	18853.82	e	5.5	
494.1866	20229.63	0.003	6	6		+176	56	3	39220.035	o	4.5	18990.41	e	5.5	
494.2633	20226.49	0.021	74	68		?110	31	30	43800.88	e	1.5	23574.42	o	1.5	
494.4647	20218.25	0.004	40	38		?90	8	10	44919.302	e	4.5	24701.06	o	4.5	
494.5592	20214.38	0.023	4	4		?160		1	42957.138	e	5.5	22742.78	o	6.5	
494.6356	20211.26	0.000	15	15		?115	30	3	44919.302	e	4.5	24708.04	o	3.5	
494.7845	20205.18	0.017	10	8		?130	36	5	42764.664	e	4.5	22559.5	o	5.5	
494.8352	20203.11	0.001	266	208		+155	65	100	37657.928	o	5.5	17454.82	e	6.5	
494.9186	20199.71	0.007	7	7		?100	3	1	42667.745	e	4.5	22468.05	o	5.5	
494.9844	20197.02	0.007	39	37		?90	23	5	36653.924	o	7.5	16456.91	e	8.5	
495.1081	20191.97	0.005	13	11		?105	26	2	36934.216	o	3.5	16742.24	e	3.5	
495.1228	20191.37	0.005	4	4		?115	50	2	37646.186	o	6.5	17454.82	e	6.5	
495.4184	20179.33	0.028	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+73	90	2	43514.41	e	3.5	23335.11	o	3.5
495.4584	20177.70	0.016	11	9		+170	91	5	40584.52	e	2.5	20406.84	o	2.5	
495.4975	20176.10	0.005	10	8		?90	22	2	37519.484	o	3.5	17343.37	e	3.5	
495.4975	20176.10	0.005	10	8	yeni çizgi	?90	25	2	37519.484	o	3.5	17343.37	e	3.5	
495.7175	20167.15	0.013	1587	1382		?100	29	1000	39157.57	o	6.5	18990.41	e	5.5	
495.9267	20158.64	0.068	6	6		?70	20	2	43590.42	e	3.5	23431.84	o	2.5	
495.9852	20156.27	0.020	17	16		-155	73	4	42576.01	e	4.5	22419.76	o	4.5	
496.0165	20154.99	0.009	43	39		?85	9	10	37768.662	o	4.5	17613.66	e	4.5	
496.2328	20146.21	0.041	11	11		+170	78	5h	43481.28	e	2.5	23335.11	o	3.5	
496.2661	20144.86	0.016	8	8		-190		3	39277.087	o	2.5	19132.25	e	1.5	
496.4164	20138.76	0.016	11	11	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-150	56		44750.078	e	3.5	24611.3	o	2.5
495.9293	20158.54	0.029	6	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?70	20		43493.68	e	2.5	23335.11	o	3.5
496.4372	20137.91	0.015	4	4		?105	40	2	43447.878	o	5.5	23309.98	e	5.5	
496.4673	20136.69	0.010	11	12		?100	1	7	41874.369	o	5.5	21737.69	e	4.5	
496.5220	20134.48	0.002	9	8		?100	66	2	44380.9	e	4.5	24246.43	o	3.5	
496.6881	20127.74	0.004	29	25		?90	7	10	42595.791	e	5.5	22468.05	o	5.5	
496.7060	20127.02	0.046	4	4		+135	35	1	42869.748	e	6.5	22742.78	o	6.5	
496.7438	20125.48	0.006	4	4		?130	37	2	42868.255	e	5.5	22742.78	o	6.5	
496.8613	20120.73	0.026	5	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-120	45		33240.362	o	3.5	13119.61	e	4.5
497.1260	20110.01	0.004	304	304		+135	45	200	39658.852	o	2.5	19548.83	e	2.5	
497.1695	20108.25	0.011	28	26		?90	5	10	42667.745	e	4.5	22559.5	o	5.5	
497.2655	20104.37	0.077	5	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+160	85		43034.166	o	3.5	22929.72	e	2.5
497.3955	20099.12	0.012	85	80		?97	24	30	39089.533	o	5.5	18990.41	e	5.5	
497.8901	20079.15	0.012	515	515		?115	30	400	39627.996	o	3.5	19548.83	e	2.5	
497.9541	20076.57	0.006	13	12		?90	15	3	44323	e	3.5	24246.43	o	3.5	
498.2322	20065.36	0.031	16	20		?120	26	5	44483.351	o	1.5	24418.02	e	2.5	
498.3139	20062.07	0.002	25	18		?95	3	2	38915.9	o	6.5	18853.82	e	5.5	
498.3188	20061.88	0.041	7	6	yeni sınıflandırma		+110	41	1	43493.68	e	2.5	23431.84	o	2.5
498.4892	20055.02	0.009	8	6		+145		5h	42957.138	e	5.5	22902.13	o	6.5	
498.5127	20054.07	0.005	122	122		-195	16	200	39602.902	o	1.5	19548.83	e	2.5	
498.5264	20053.52	0.003	23	20		?96	22	5	37010.534	o	4.5	16957.01	e	3.5	
498.6388	20049.00	0.018	5	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100	13		44750.078	e	3.5	24701.06	o	4.5
498.8672	20039.83	0.000	25	23		?90	12	6	38877.211	o	5.5	18837.39	e	4.5	
499.2776	20023.35	0.035	60	60		?92	37	20	38877.211	o	5.5	18853.82	e	5.5	
499.3725	20019.54	0.006	22	22	yeni sınıflandırma Tm II karışık	yeni çizgi	+245	59		43354.65	e	4.5	23335.11	o	3.5
499.4480	20016.52	0.011	9	9		?80	12	2	42576.01	e	4.5	22559.5	o	5.5	
499.9295	19997.24	0.083	3	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?110	28		45485.87	o	5.5	25488.55	e	5.5
500.0266	19993.36	0.026	152	168	karışık	?130	8	100	39542.165	o	3.5	19548.83	e	2.5	
500.1022	19990.33	0.012	110	110		?115	35	200	42733.1	e	7.5	22742.78	o	6.5	
500.1392	19988.86	0.002	4	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?150	33		44689.913	e	4.5	24701.06	o	4.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}
500.1502	19988.42	0.004	78	66		-125	43	30	42456.47	e	6.5	22468.05	o	5.5
500.1587	19988.08	0.005	234	256		+190	105	200	39741.913	o	4.5	19753.83	e	3.5
500.2196	19985.65	0.003	57	48		785	7	10	42545.15	e	6.5	22559.5	o	5.5
500.3142	19981.87	0.005	12	12		785	13	15	44689.913	e	4.5	24708.04	o	3.5
500.3706	19979.61	0.003	5	6		770	2	3	42770.792	o	4.5	22791.18	e	3.5
500.3816	19979.18	0.002	7	7		7105	18	2	45467.723	o	4.5	25488.55	e	5.5
500.4309	19977.21	0.004	163	141	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	785	12	36934.216	o	3.5	16957.01	e	3.5
500.6602	19968.06	0.034	22	22		-145	52	10	44316.715	o	4.5	24348.69	e	4.5
500.6710	19967.63	0.004	12	10		+130	57	2	42869.748	e	6.5	22902.13	o	6.5
500.6744	19967.49	0.002	30	22		7100	38	10	39434.151	o	6.5	19466.66	e	6.5
500.7087	19966.12	0.006	68	62		7105	25	20	42868.255	e	5.5	22902.13	o	6.5
500.8160	19961.84	0.011	5	5		+120	48	1	44919.302	e	4.5	24957.47	o	5.5
500.8501	19960.48	0.011	10	8		7115	35	1	39709.038	o	5.5	19748.54	e	4.5
501.0245	19953.54	0.007	102	88		+163	83	30	40360.37	e	3.5	20406.84	o	2.5
501.0717	19951.66	0.008	64	54		-140	55	20	41751.03	e	2.5	21799.38	o	1.5
501.0919	19950.85	0.020	14	10	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	790	17	42742.008	o	3.5	22791.18	e	3.5
501.6272	19929.56	0.009	31	35		795	17	10	39061.819	o	1.5	19132.25	e	1.5
501.7299	19925.49	0.009	275	186		775	6	40	38915.9	o	6.5	18990.41	e	5.5
501.8738	19919.77	0.008	54	43		-140	63	20	41917.235	o	6.5	21997.47	e	5.5
501.9157	19918.11	0.014	13	13		7100	25	2	44529.428	e	3.5	24611.3	o	2.5
502.0009	19914.73	0.023	4	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	770	4	42705.88	o	2.5	22791.18	e	3.5
502.1123	19910.31	0.000	467	394		787	13	100	37365.13	o	6.5	17454.82	e	6.5
502.2196	19906.06	0.011	9	8		-120	53	3	42325.81	e	3.5	22419.76	o	4.5
502.2253	19905.83	0.005	6	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+145	73	37519.484	o	3.5	17613.66	e	4.5
502.2458	19905.02	0.004	8	8		+190	111	4	39658.852	o	2.5	19753.83	e	3.5
502.3598	19900.50	0.013	10	9		-135	51	5	45389.06	o	6.5	25488.55	e	5.5
502.4491	1896.97	0.002	8	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	7105	33	42456.47	e	6.5	22559.5	o	5.5
502.4890	1895.38	0.003	130	116		-127	41	50	38588.46	o	6.5	18693.07	e	7.5
502.5860	1891.54	0.006	9	9		775	2	2	41012.387	o	3.5	21120.84	e	3.5
502.7060	1886.79	0.010	21	22		+130	58	10	38877.211	o	5.5	18990.41	e	5.5
502.8225	1882.19	0.024	22	23		7100	15	4	44300.233	o	2.5	24418.02	e	2.5
502.9261	1878.09	0.011	6	5		780	2	1	37221.455	o	3.5	17343.37	e	3.5
503.0257	1874.16	0.010	166	172		+178	96	200	39627.996	o	3.5	19753.83	e	3.5
503.1043	1871.05	0.012	25	25		7100	7	9	39419.9	o	1.5	19548.83	e	2.5
503.1341	1869.88	0.006	20	31		780	1	3	42429.385	e	5.5	22559.5	o	5.5
503.2621	1864.82	0.015	22	21		-135	60	6	39413.672	o	3.5	19548.83	e	2.5
503.5614	1853.01	0.000	36	32		7105	31	20	42595.791	e	5.5	22742.78	o	6.5
503.6128	1850.99	0.001	7	7		775	1	1	41012.387	o	3.5	21161.4	e	2.5
503.7057	1847.33	0.043	15	15		+126	44	4	43788.44	e	5.5	23941.07	o	4.5
503.9396	1838.12	0.009	66	66		790	1	20	39386.959	o	2.5	19548.83	e	2.5
504.1210	1830.98	0.005	45	45		-120	43	20	42733.1	e	7.5	22902.13	o	6.5
504.2275	1826.79	0.010	4	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	7100	3	38664.184	o	3.5	18837.39	e	4.5
504.3505	1821.95	0.005	205	200		-140	58	100	37276.778	o	5.5	17454.82	e	6.5
504.4760	1817.02	0.005	19	19		7100	23	2	36273.94	o	7.5	16456.91	e	8.5
504.5414	1814.46	0.004	266	237		-220	29	250	39563.003	o	5.5	19748.54	e	4.5
504.5964	1812.29	0.003	18	19		-115	36	10	42742.008	o	3.5	22929.72	e	2.5
504.6245	1811.19	0.034	8	8		785	8	1	43243	e	2.5	23431.84	o	2.5
504.8493	1802.37	0.002	12	11		7100	26	2	42545.15	e	6.5	22742.78	o	6.5
505.0938	1792.79	0.009	20	16		-120	43	2	38485.85	o	7.5	18693.07	e	7.5
505.1646	1790.01	0.013	41	41		+125	44	20	43221.84	e	1.5	23431.84	o	2.5
505.3042	1784.54	0.014	272	250		-145	62	150	28555.799	e	3.5	8771.243	o	2.5
505.4118	1780.33	0.022	12	13		7130	37	10	43115.42	e	4.5	23335.11	o	3.5
505.4915	1777.21	0.002	8	9		770	2	1	40938.61	o	2.5	21161.4	e	2.5
505.5229	1775.98	0.023	69	50		786	14	5	35363.77	o	4.5	15587.81	e	5.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}
505.7563	19766.86	0.008	46	38		280	4	5	37519.484	o	3.5	17752.63	e	2.5
505.8212	19764.32	0.015	11	13		285	11	2	44182.324	o	2.5	24418.02	e	2.5
506.0897	19753.84	0.005	13722	10650		290	22	2000r	19753.83	e	3.5	0	o	3.5
506.2251	19748.55	0.008	813	733		-145	66	200	19748.543	e	4.5	0	o	3.5
506.4525	19739.69	0.007	35	36		2110	35	10	39488.236	o	4.5	19748.54	e	4.5
506.5813	19734.67	0.011	64	58		2185	91	30	43981.104	e	3.5	24246.43	o	3.5
506.5822	19734.63	0.006	64	58		2187	9	30	38588.46	o	6.5	18853.82	e	5.5
506.5881	19734.40	0.006	214	214		285	9	100	39488.236	o	4.5	19753.83	e	3.5
506.6671	19731.32	0.006	1267	1203		295	11	800	39479.873	o	5.5	19748.54	e	4.5
506.7463	19728.24	0.012	74	74		-200	121	30	39277.087	o	2.5	19548.83	e	2.5
506.7925	19726.44	0.001	52	48		290	8	10	39480.272	o	3.5	19753.83	e	3.5
506.8892	19722.68	0.007	259	221		2100	24	50	36179.6	o	7.5	16456.91	e	8.5
506.9289	19721.13	0.024	8	10		+190	119	2	43056.22	e	2.5	23335.11	o	3.5
507.0438	19716.67	0.008	32	34		+170	89	10	39470.489	o	2.5	19753.83	e	3.5
507.0498	19716.43	0.011	88	76		290	1	20	44417.48	e	5.5	24701.06	o	4.5
507.1061	19714.24	0.005	62	66		2115	34	30	39462.782	o	3.5	19748.54	e	4.5
507.1203	19713.69	0.000	90	78		285	12	20	42456.47	e	6.5	22742.78	o	6.5
507.1676	19711.85	0.047	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	270	28	43958.23	e	2.5	24246.43	o	3.5
507.1721	19711.68	0.021	13	13		2100	29	3	44323	e	3.5	24611.3	o	2.5
507.2421	19708.96	0.007	467	467		295	14	300	39462.782	o	3.5	19753.83	e	3.5
507.3519	19704.69	0.001	451	368		-145	62	100	37159.51	o	7.5	17454.82	e	6.5
507.5825	19695.74	0.010	202	202		295	19	60	39444.295	o	4.5	19748.54	e	4.5
507.5980	19695.14	0.008	12	12		2115	36	2	38685.555	o	4.5	18990.41	e	5.5
507.6361	19693.66	0.006	374	336		2115	34	200	41493.034	e	2.5	21799.38	o	1.5
507.6362	19693.66	0.006	374	336	karışık	2115	32	200	42595.791	e	5.5	22902.13	o	6.5
507.6712	19692.30	0.000	22	18	karışık	285	6	2	38529.686	o	5.5	18837.39	e	4.5
507.7187	19690.46	0.009	579	579		2100	26	300	39444.295	o	4.5	19753.83	e	3.5
507.7326	19689.92	0.013	7	7		2100	32	2	41687.404	o	5.5	21997.47	e	5.5
507.8181	19686.60	0.004	110	102		2115	37	40	42429.385	e	5.5	22742.78	o	6.5
507.9930	19679.82	0.018	6	6		285	4	1	44380.9	e	4.5	24701.06	o	4.5
508.0580	19677.31	0.036	62	62		290	5	20	28448.585	e	2.5	8771.243	o	2.5
508.0953	19675.86	0.002	6	6		270	11	1	38529.686	o	5.5	18853.82	e	5.5
508.1735	19672.83	0.024	42	36		-140	56	20	44380.9	e	4.5	24708.04	o	3.5
508.2826	19668.61	0.027	15	12	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-150	81	43243	e	2.5	23574.42	o	1.5
508.3204	19667.15	0.009	37	33		2105	21	5	37010.534	o	4.5	17343.37	e	3.5
508.3397	19666.40	0.056	41	41	yeni sınıflandırma	295	2	10	43098.19	e	3.5	23431.84	o	2.5
508.4248	19663.11	0.010	7	7		2100	40	4	37276.778	o	5.5	17613.66	e	4.5
508.4628	19661.64	0.012	26	24		2105	27	6	38499.016	o	4.5	18837.39	e	4.5
508.4950	19660.40	0.009	41	35		-170	87	20	42080.152	e	5.5	22419.76	o	4.5
508.5089	19659.86	0.001	400	346		2120	34	200	40066.7	e	2.5	20406.84	o	2.5
508.6611	19653.97	0.007	22	20		-125	45	7	44265.285	e	3.5	24611.3	o	2.5
508.8308	19647.42	0.003	29	28		2100	26	15	43221.84	e	1.5	23574.42	o	1.5
508.8883	19645.20	0.002	70	69	karışık	+130	51	40	38482.584	o	3.5	18837.39	e	4.5
508.8884	19645.20	0.006	70	69	karışık	+130	51		38499.016	o	4.5	18853.82	e	5.5
508.9449	19643.02	0.039	6	5		295	9	2	40763.892	o	3.5	21120.84	e	3.5
509.0162	19640.26	0.014	29	29		295	16	7	43800.88	e	1.5	24160.63	o	0.5
509.1397	19635.50	0.006	6	7		275	2	2	36377.733	o	4.5	16742.24	e	3.5
509.2014	19633.12	0.005	6	7		+135	69	4	39386.959	o	2.5	19753.83	e	3.5
509.2281	19632.09	0.005	10	10		2100	1	2	44243.4	e	2.5	24611.3	o	2.5
509.4273	19624.42	0.041	46	46		+145	61	30	43056.22	e	2.5	23431.84	o	2.5
509.5531	19619.57	0.005	9	9		-155	75	2	38751.812	o	2.5	19132.25	e	1.5
509.6220	19616.92	0.010	6	6		+145	67	2	42952.02	e	3.5	23335.11	o	3.5
509.7471	19612.10	0.001	13	11		275	4	2	42080.152	e	5.5	22468.05	o	5.5
510.1129	19598.04	0.014	169	148		281	4	40	38588.46	o	6.5	18990.41	e	5.5
510.1899	19595.08	0.003	20	20		-125	50	10	44206.39	e	3.5	24611.3	o	2.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}
510.3007	19590.83	0.012	8	8		-120	49	1	36934.216	o	3.5	17343.37	e	3.5
510.3389	19589.36	0.018	57	57		+150	63	20	39996.221	e	3.5	20406.84	o	2.5
510.4239	19586.10	0.015	8	8		?100	29	20	43160.53	e	1.5	23574.42	o	1.5
510.6176	19578.67	0.001	4	5		?90	32	2	41576.146	o	4.5	21997.47	e	5.5
510.6760	19576.43	0.004	6	7		-110	42	2	42367.61	o	2.5	22791.18	e	3.5
510.7079	19575.21	0.007	4	5	yeni sınıflandırma	?80	1		46221.416	o	5.5	26646.21	e	4.5
510.7531	19573.48	0.007	378	378		+130	49	400	39322.014	o	4.5	19748.54	e	4.5
510.8423	19570.06	0.022	9	9		?90	5	1	45091.022	e	4.5	25520.99	o	5.5
510.9107	19567.44	0.000	7	8		+155	75	2	42902.55	e	4.5	23335.11	o	3.5
511.1689	19557.56	0.016	63	53		?100	29	30	44515.01	e	6.5	24957.47	o	5.5
511.1775	19557.23	0.018	38	34		?90	16	7	44265.285	e	3.5	24708.04	o	3.5
511.2062	19556.13	0.028	4	6		?90	29	2	43429.363	o	4.5	23873.21	e	3.5
511.2530	19554.34	0.004	9	8	yeni sınıflandırma	?76	2		42456.47	e	6.5	22902.13	o	6.5
511.3967	19548.84	0.009	4147	4147		+120	44	500r	19548.834	e	2.5	0	o	3.5
511.5951	19541.26	0.006	30	30		?99	23	5h	42876.38	e	2.5	23335.11	o	3.5
511.6861	19537.79	0.007	4	5	yeni sınıflandırma	?75	8		44238.85	e	4.5	24701.06	o	4.5
511.8612	19531.10	0.001	28	25		?105	33	4	38384.926	o	4.5	18853.82	e	5.5
511.9025	19529.53	0.014	4	4	yeni sınıflandırma	?75	18		42839.493	o	4.5	23309.98	e	5.5
511.9622	19527.25	0.009	6	6	yeni sınıflandırma	?100	21		42429.385	e	5.5	22902.13	o	6.5
512.0672	19523.25	0.009	137	145		-140	57	150	39277.087	o	2.5	19753.83	e	3.5
512.1353	19520.65	0.001	18	14		?70	0	3	42080.152	e	5.5	22559.5	o	5.5
512.1472	19520.20	0.022	5	5	yeni sınıflandırma	?90	12		42952.02	e	3.5	23431.84	o	2.5
512.3369	19512.97	0.016	54	62		?125	35	30	39061.819	o	1.5	19548.83	e	2.5
512.4352	19509.23	0.012	7	6	yeni sınıflandırma	-105	38		43755.64	e	4.5	24246.43	o	3.5
512.4514	19508.61	0.000	28	28		+155	74	7	38499.016	o	4.5	18990.41	e	5.5
512.7214	19498.34	0.013	10	10		?90	14	2	44206.39	e	3.5	24708.04	o	3.5
512.7818	19496.04	0.001	32	32		+180	92	20	39244.584	o	4.5	19748.54	e	4.5
512.9209	19490.75	0.001	6	7		+125	48	3	39244.584	o	4.5	19753.83	e	3.5
513.1557	19481.83	0.028	26	26		?100	10	4	43056.22	e	2.5	23574.42	o	1.5
513.4284	19471.49	0.003	31	31		+140	50	20	39220.035	o	4.5	19748.54	e	4.5
513.5502	19466.87	0.003	144	129		?80	8	15	35054.681	o	4.5	15587.81	e	5.5
513.5677	19466.20	0.000	39	39		?85	6	10	39220.035	o	4.5	19753.83	e	3.5
513.7101	19460.81	0.003	4	5		?100	25	2	42770.792	o	4.5	23309.98	e	5.5
513.7307	19460.03	0.018	15	14		?110	39	3	44417.48	e	5.5	24957.47	o	5.5
514.0386	19448.37	0.023	32	32		?95	7	4	42783.46	e	3.5	23335.11	o	3.5
514.1398	19444.54	0.009	16	18		?115	35	4	42876.38	e	2.5	23431.84	o	2.5
514.2541	19440.22	0.022	224	189		-128	40	100	39847.04	e	3.5	20406.84	o	2.5
514.2882	19438.93	0.005	336	336		?100	18	300	39187.473	o	3.5	19748.54	e	4.5
514.5362	19429.57	0.013	26	26		?100	7	5	42764.664	e	4.5	23335.11	o	3.5
514.6990	19423.42	0.013	5	5	yeni sınıflandırma	?90	9		44380.9	e	4.5	24957.47	o	5.5
514.7702	19420.73	0.006	130	130		?110	35	4	36377.733	o	4.5	16957.01	e	3.5
514.9597	19413.59	0.010	35	32		+140	64	10	43354.65	e	4.5	23941.07	o	4.5
515.0404	19410.55	0.002	19	19		?100	22	5	38877.211	o	5.5	19466.66	e	6.5
515.4035	19396.87	0.005	39	35		+150	61	10	37010.534	o	4.5	17613.66	e	4.5
515.7684	19383.15	0.044	5	5	yeni sınıflandırma	?100	24		42957.52	e	2.5	23574.42	o	1.5
516.0053	19374.25	0.010	114	102		?90	13	20	38211.625	o	3.5	18837.39	e	4.5
516.0542	19372.41	0.014	352	320		+125	38	200	28143.67	e	1.5	8771.243	o	2.5
516.3886	19359.87	0.028	17	19	yeni sınıflandırma	?100	29	4	42694.95	e	2.5	23335.11	o	3.5
516.4816	19356.38	0.008	5	6	yeni sınıflandırma	?82	10		45714.11	e	5.5	26357.74	o	6.5
516.6078	19351.65	0.038	15	13	yeni sınıflandırma	-130	56		42783.46	e	3.5	23431.84	o	2.5
516.8119	19344.01	0.018	26	24		?90	9	2	43590.42	e	3.5	24246.43	o	3.5
516.8203	19343.70	0.001	7	7		-125	47	3	41081.384	o	5.5	21737.69	e	4.5
516.8929	19340.98	0.010	106	98		?95	23	40	39089.533	o	5.5	19748.54	e	4.5
516.9680	19338.17	0.003	66	58		?97	25	10	44545.9	e	1.5	25207.73	o	1.5

Tablo 4.1(devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}
517.1160	19332.64	0.003	13	13		7105	34	3	42667.745	e	4.5	23335.11	o	3.5
517.3983	19322.09	0.018	4	5	yeni sınıflandırma yeni çizgi	780	7		32441.714	o	4.5	13119.61	e	4.5
517.4395	19320.55	0.007	71	62		7105	31	10	36934.216	o	3.5	17613.66	e	4.5
517.4616	19319.73	0.005	43	40		+130	51	6	38012.795	o	6.5	18693.07	e	7.5
517.4822	19318.96	0.016	11	9		780	19	3	44276.41	e	5.5	24957.47	o	5.5
517.6383	19313.13	0.027	7	8		-195	140	1	38861.937	o	2.5	19548.83	e	2.5
517.7692	19308.25	0.007	82	68		-150	61	50	41728.003	e	4.5	22419.76	o	4.5
517.7911	19307.43	0.000	19	14		785	23	2	38161.255	o	5.5	18853.82	e	5.5
518.2678	19289.67	0.001	214	179		790	24	70	41089.05	e	0.5	21799.38	o	1.5
518.4181	19284.08	0.009	4	4		7100	31	3	42594.049	o	4.5	23309.98	e	5.5
518.5151	19280.47	0.014	55	44		-85	93	10	41700.222	e	5.5	22419.76	o	4.5
518.5249	19280.11	0.020	454	650		790	7	300	28051.37	e	2.5	8771.243	o	2.5
518.5968	19277.44	0.009	20	15		-130	49	5	41274.9	o	6.5	21997.47	e	5.5
518.7429	19272.00	0.010	5	7		7100	22	3	42581.974	o	5.5	23309.98	e	5.5
518.8499	19268.03	0.047	8	8	yeni sınıflandırma yeni çizgi	7115	3		43514.41	e	3.5	24246.43	o	3.5
519.0675	19259.95	0.005	47	39		781	15	30	41728.003	e	4.5	22468.05	o	5.5
519.1788	19255.82	0.046	46	46		790	13	20	43196.848	e	5.5	23941.07	o	4.5
519.3955	19247.79	0.035	41	38		7100	17	20	43859.06	e	2.5	24611.3	o	2.5
519.8171	19232.18	0.003	5	5		770	12	1	41700.222	e	5.5	22468.05	o	5.5
519.9107	19228.72	0.004	189	158		+160	71	70	39635.56	e	1.5	20406.84	o	2.5
519.9727	19226.43	0.005	6	6		785	9	1	40347.267	o	2.5	21120.84	e	3.5
520.2070	19217.77	0.042	39	39		7100	11	5	43464.15	e	4.5	24246.43	o	3.5
520.6366	19201.91	0.003	113	94		790	9	15	36656.724	o	5.5	17454.82	e	6.5
520.7124	19199.11	0.006	205	197		795	16	30	36653.924	o	7.5	17454.82	e	6.5
521.1884	19181.58	0.004	9	9	yeni sınıflandırma yeni çizgi	-129	50		36934.216	o	3.5	17752.63	e	2.5
521.2267	19180.17	0.016	4	5	yeni sınıflandırma yeni çizgi	780	8		42961.884	o	5.5	23781.7	e	4.5
521.2648	19178.77	0.004	352	317		790	15	50	34449.774	o	6.5	15271	e	7.5
521.2851	19178.02	0.003	20	19		790	18	3	42080.152	e	5.5	22902.13	o	6.5
521.3375	19176.09	0.005	1690	1549		-150	64	600	35633.01	o	8.5	16456.91	e	8.5
521.3966	19173.92	0.039	8	7	yeni sınıflandırma yeni çizgi	+150	71		39580.72	e	2.5	20406.84	o	2.5
521.4802	19170.84	0.005	17	12		+130	44	3	38161.255	o	5.5	18990.41	e	5.5
521.5440	19168.50	0.002	90	76		7105	23	20	41728.003	e	4.5	22559.5	o	5.5
521.5935	19166.68	0.005	4	5	yeni sınıflandırma yeni çizgi	+115			42541.367	o	5.5	23374.68	e	6.5
521.6240	19165.56	0.013	34	27		790	23	3	37858.62	o	7.5	18693.07	e	7.5
521.6483	19164.67	0.022	4	4	yeni sınıflandırma yeni çizgi	773	10		42596.49	e	2.5	23431.84	o	2.5
521.8034	19158.97	0.001	163	150		+140	60	50	38012.795	o	6.5	18853.82	e	5.5
522.0194	19151.04	0.025	6	4	yeni sınıflandırma yeni çizgi	780	10		43859.06	e	2.5	24708.04	o	3.5
522.3008	19140.73	0.005	21	17		780	6	2	41700.222	e	5.5	22559.5	o	5.5
522.3083	19140.45	0.018	46	46		+140	50	30	39547.31	e	2.5	20406.84	o	2.5
522.6303	19128.66	0.009	27	27		+135	58	20	38877.211	o	5.5	19748.54	e	4.5
522.8180	19121.79	0.004	65	58		-125	48	0.598*	38588.46	o	6.5	19466.66	e	6.5
523.0884	19111.91	0.015	10	9	yeni sınıflandırma yeni çizgi	780	19		41109.364	o	4.5	21997.47	e	5.5
523.1056	19111.28	0.004	12	12		785	6	2	42543.119	e	3.5	23431.84	o	2.5
523.1056	19111.28	0.002	12	12		785	6	2	43357.7	e	4.5	24246.43	o	3.5
523.1916	19108.14	0.030	43	39		-168	77	20	38861.937	o	2.5	19753.83	e	3.5
523.2396	19106.38	0.000	15	15		790	9	3	46597.694	o	6.5	27491.31	e	5.5
523.3052	19103.99	0.003	253	218		780	5	30	34691.802	o	5.5	15587.81	e	5.5
523.3441	19102.57	0.019	18	15		780	5	5	44591.133	o	6.5	25488.55	e	5.5
523.3924	19100.81	0.018	98	82		-140	66	20	35557.7	o	7.5	16456.91	e	8.5
523.4797	19097.62	0.037	8	8		-155	87	7	32217.195	o	4.5	13119.61	e	4.5
523.7619	19087.33	0.052	11	11	yeni sınıflandırma yeni çizgi	780	4		43788.44	e	5.5	24701.06	o	4.5
523.9637	19079.98	0.012	21	21		7105	29	20	44210.42	o	7.5	25130.45	e	7.5
524.1932	19071.63	0.033	14	14		-200	115	5	43318.02	e	2.5	24246.43	o	3.5
524.4798	19061.21	0.004	16	16		790	19	5	43221.84	e	1.5	24160.63	o	0.5
524.8548	19047.59	0.012	19	18		7100	19	7	43755.64	e	4.5	24708.04	o	3.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}
525.2196	19034.36	0.002	6	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-141	79	36377.733	o	4.5	17343.37	e	3.5
525.3595	19029.29	0.008	6	6			?80	5	42902.504	o	2.5	23873.21	e	3.5
525.5502	19022.38	0.006	54	50			+160	78	38012.795	o	6.5	18990.41	e	5.5
525.5584	19022.09	0.011	9	9	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-148	72	42596.49	e	2.5	23574.42	o	1.5
525.6383	19019.19	0.008	6	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-115	46	38485.85	o	7.5	19466.66	e	6.5
525.7678	19014.51	0.005	11	11			?100	21	43715.572	e	5.5	24701.06	o	4.5
525.8660	19010.96	0.013	11	11			+165	75	42952.02	e	3.5	23941.07	o	4.5
525.8793	19010.48	0.006	28	23			-135	53	41430.237	e	5.5	22419.76	o	4.5
526.1645	19000.18	0.005	11	9	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?79	6	34587.982	o	4.5	15587.81	e	5.5
526.2253	18997.98	0.001	11	11	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90	1	38751.812	o	2.5	19753.83	e	3.5
526.4273	18990.69	0.009	6	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+140	55	42325.81	e	3.5	23335.11	o	3.5
526.7541	18978.91	0.015	48	41			?86	10	44515.01	e	6.5	25536.12	o	7.5
526.9636	18971.36	0.028	8	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-165	94	41391.1	e	4.5	22419.76	o	4.5
526.9636	18971.36	0.028	8	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-165	103	41391.1	e	4.5	22419.76	o	4.5
527.2187	18962.18	0.007	5	5			?105	36	41430.237	e	5.5	22468.05	o	5.5
527.2382	18961.48	0.004	5	5			+140	84	42902.55	e	4.5	23941.07	o	4.5
527.2708	18960.31	0.001	4	5			-90	39	42742.008	o	3.5	23781.7	e	4.5
527.4710	18953.11	0.001	154	137			-115	42	37646.186	o	6.5	18693.07	e	7.5
527.6946	18945.08	0.004	128	102			?93	17	34532.898	o	5.5	15587.81	e	5.5
527.9197	18937.01	0.007	16	16			?110	37	38685.555	o	4.5	19748.54	e	4.5
528.0301	18933.05	0.004	17	12			-180	99	41352.806	e	5.5	22419.76	o	4.5
528.0670	18931.72	0.004	5	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?80	3	38685.555	o	4.5	19753.83	e	3.5
528.0796	18931.27	0.007	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?75	2	37768.662	o	4.5	18837.39	e	4.5
528.1937	18927.18	0.004	5	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?130	36	42868.255	e	5.5	23941.07	o	4.5
528.2384	18925.58	0.004	12	12			?100	32	42357.42	e	1.5	23431.84	o	2.5
528.2423	18925.44	0.005	38	27			?100	27	40663.129	o	5.5	21737.69	e	4.5
528.5166	18915.62	0.024	4	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?120	42	38664.184	o	3.5	19748.54	e	4.5
528.5386	18914.83	0.009	15	14			?100	3	37768.662	o	4.5	18853.82	e	5.5
528.6200	18911.92	0.033	3	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?85	26	41841.602	o	3.5	22929.72	e	2.5
528.6620	18910.42	0.061	82	62			?78	2	38664.184	o	3.5	19753.83	e	3.5
528.6755	18909.93	0.005	99	78			-120	44	41469.44	e	6.5	22559.5	o	5.5
529.1141	18894.26	0.008	368	326			?95	17	40693.63	e	1.5	21799.38	o	1.5
529.3802	18884.76	0.000	11	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100	24	41352.806	e	5.5	22468.05	o	5.5
529.4322	18882.90	0.021	522	413			?90	4	44582.64	e	4.5	25699.71	o	4.5
529.4467	18882.39	0.010	5	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?114	48	43590.42	e	3.5	24708.04	o	3.5
529.4792	18881.23	0.018	33	30	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?85	13	38347.875	o	5.5	19466.66	e	6.5
529.5361	18879.20	0.004	82	65			?85	4	43836.666	e	6.5	24957.47	o	5.5
529.6548	18874.97	0.001	55	43			+145	71	36329.786	o	5.5	17454.82	e	6.5
529.7735	18870.74	0.004	5	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90	29	41430.237	e	5.5	22559.5	o	5.5
529.7929	18870.05	0.007	46	42			?90	7	34457.853	o	4.5	15587.81	e	5.5
529.8213	18869.04	0.044	31	31			-145	61	43115.42	e	4.5	24246.43	o	3.5
529.9729	18863.64	0.020	5	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+103	39	42198.77	e	2.5	23335.11	o	3.5
530.0201	18861.96	0.002	1165	1024			?105	29	34449.774	o	6.5	15587.81	e	5.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}
530.0776	18859.91	0.002	7	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?130	42	44380.9	e	4.5	25520.99	o	5.5
530.1142	18858.61	0.003	5	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90	8	40596.302	o	3.5	21737.69	e	4.5
530.2690	18853.11	0.026	208	184			+179	78	39259.92	e	2.5	20406.84	o	2.5
530.3049	18851.83	0.020	24	24	yeni sınıflandırma		-130	50	49773.39	e	2.5	30921.58	o	3.5
530.5698	18842.42	0.031	9	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-150	6	42783.46	e	3.5	23941.07	o	4.5
530.7116	18837.38	0.001	49776	28262			?106	21	18837.385	e	4.5	0	o	3.5
530.8741	18831.62	0.020	24	18			?75	15	41391.1	e	4.5	22559.5	o	5.5
531.1000	18823.61	0.017	62	62	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90	3	42764.664	e	4.5	23941.07	o	4.5
531.1396	18822.20	0.083	6	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-145	71	36435.78	o	3.5	17613.66	e	4.5
531.1866	18820.54	0.003	49	41			+131	50	37657.928	o	5.5	18837.39	e	4.5
531.2268	18819.12	0.005	506	474			?95	13	36273.94	o	7.5	17454.82	e	6.5
531.4073	18812.72	0.041	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?106	33	43230.7	o	1.5	24418.02	e	2.5
531.4179	18812.35	0.002	5	5			?70	31	42594.049	o	4.5	23781.7	e	4.5
531.4887	18809.84	0.046	13	14	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?95	18	43056.22	e	2.5	24246.43	o	3.5
531.5096	18809.10	0.003	13	14			?90	6	42119.08	o	5.5	23309.98	e	5.5
531.5864	18806.39	0.017	8	8	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100	14	43514.41	e	3.5	24708.04	o	3.5
531.7591	18800.28	0.000	5	5			?110	36	42581.974	o	5.5	23781.7	e	4.5
531.8188	18798.17	0.004	10	8			+160	59	43755.64	e	4.5	24957.47	o	5.5
531.8757	18796.16	0.015	3	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?77	10.2	40533.825	o	3.5	21737.69	e	4.5
532.1728	18785.66	0.022	5	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?95	18	43493.68	e	2.5	24708.04	o	3.5
532.1882	18785.12	0.021	47	47			?85	6	40584.52	e	2.5	21799.38	o	1.5
532.1925	18784.97	0.003	6	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?80	26	41576.146	o	4.5	22791.18	e	3.5
532.2357	18783.44	0.013	16	12	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-120	40	40780.904	o	6.5	21997.47	e	5.5
532.3340	18779.97	0.003	6	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90	16	40517.661	o	4.5	21737.69	e	4.5
532.3831	18778.24	0.015	230	208			?90	21	37768.662	o	4.5	18990.41	e	5.5
532.4066	18777.41	0.044	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90	29	42718.44	e	4.5	23941.07	o	4.5
532.4598	18775.54	0.000	269	240			-120	45	34046.54	o	7.5	15271	e	7.5
532.5364	18772.84	0.009	13	9			-115	50	42910.043	o	6.5	24137.2	e	6.5
532.6504	18768.82	0.009	44	38			?85	13	36223.628	o	6.5	17454.82	e	6.5
532.7040	18766.93	0.003	10	8	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90	28	42198.77	e	2.5	23431.84	o	2.5
532.7850	18764.08	0.003	46	46			?80	4	36377.733	o	4.5	17613.66	e	4.5
532.9547	18758.10	0.000	11	9			+130	55	43715.572	e	5.5	24957.47	o	5.5
533.0109	18756.12	0.015	13	13			?90	5	43464.15	e	4.5	24708.04	o	3.5
533.1715	18750.48	0.002	18	17			+160	72	38499.016	o	4.5	19748.54	e	4.5
533.3219	18745.19	0.002	15	15			?120	28	38499.016	o	4.5	19753.83	e	3.5
533.3442	18744.40	0.005	9	10			?90	28	42119.08	o	5.5	23374.68	e	6.5
533.5190	18738.26	0.028	12	16			?100	17	44483.351	o	1.5	25745.12	e	2.5
533.5244	18738.07	0.029	16	16	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100	14.7	49685.22	e	4.5	30947.18	o	4.5
533.7162	18731.34	0.003	12	10	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-180	74	41151.1	e	4.5	22419.76	o	4.5
533.7900	18728.75	0.005	11	10	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90	6	38482.584	o	3.5	19753.83	e	3.5
533.8495	18726.66	0.002	52	39			?75	14	41469.44	e	6.5	22742.78	o	6.5
533.8900	18725.24	0.005	291	272			+130	45	35682.251	o	3.5	16957.01	e	3.5
533.8900	18725.24	0.005	291	272			+130	45	35682.251	o	3.5	16957.01	e	3.5
533.9033	18724.77	0.008	698	608			?110	31	36179.6	o	7.5	17454.82	e	6.5
533.9327	18723.74	0.144	221	176	yeni sınıflandırma		?100	21	49731.2	e	4.5	31007.6	o	5.5
534.0157	18720.83	0.009	10	11			?95	21	42594.049	o	4.5	23873.21	e	3.5
534.0920	18718.16	0.086	6	13	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?75	7	42855.44	o	7.5	24137.2	e	6.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm ⁻¹)	π_{alt}	J_{alt}
534.1003	18717.87	0.007	19	17	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?240	14	44238.85	e	4.5	25520.99	o	5.5
534.7652	18694.60	0.003	121	90		?85	1	5	38161.255	o	5.5	19466.66	e	6.5
534.8431	18691.87	0.026	14	14		-125	54	3	43303.151	e	3.5	24611.3	o	2.5
535.0272	18685.44	0.033	9	9	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?70	7	43034.166	o	3.5	24348.69	e	4.5
533.8938	18725.11	0.006	118	96		?125	40	20	41193.16	e	6.5	22468.05	o	5.5
535.0958	18683.05	0.008	7	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?80	11	41151.1	e	4.5	22468.05	o	5.5
535.1227	18682.11	0.008	5	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+130	38	37519.484	o	3.5	18837.39	e	4.5
535.4045	18672.27	0.005	1050	947		?80	9	100	33943.282	o	6.5	15271	e	7.5
535.4108	18672.06	0.001	90	78	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90	0	37365.13	o	6.5	18693.07	e	7.5
535.5945	18665.65	0.006	23	17		?95	16	2	40663.129	o	5.5	21997.47	e	5.5
535.8781	18655.77	0.009	48	43		?80	1	5	37646.186	o	6.5	18990.41	e	5.5
536.1415	18646.61	0.002	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?75	16	43354.65	e	4.5	24708.04	o	3.5
536.4358	18636.38	0.006	32	27		+130	55	5	38384.926	o	4.5	19748.54	e	4.5
536.4954	18634.31	0.008	5	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?105	36	41425.474	o	3.5	22791.18	e	3.5
536.5143	18633.65	0.007	219	174		?105	32.7	200	41193.16	e	6.5	22559.5	o	5.5
536.5879	18631.09	0.008	13	11	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?80	2	45070.577	o	4.5	26439.49	e	3.5
536.5879	18631.09	0.003	13	11	karışık yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?80	3	38384.926	o	4.5	19753.83	e	3.5
536.8766	18621.07	0.002	21	23	karışık		+170	86	39741.913	o	4.5	21120.84	e	3.5
537.0198	18616.11	0.036	6	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?85	3	43034.166	o	3.5	24418.02	e	2.5
537.1042	18613.18	0.008	7	9	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?80	7	42961.884	o	5.5	24348.69	e	4.5
537.1805	18610.54	0.004	19	19		?80	7	2	43221.84	e	1.5	24611.3	o	2.5
537.1966	18609.98	0.006	6	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-160	106	43318.02	e	2.5	24708.04	o	3.5
537.4240	18602.11	0.015	6	6		?95	20	1	43303.151	e	3.5	24701.06	o	4.5
537.4983	18599.54	0.019	9	14		?90	18	1	44316.715	o	4.5	25717.2	e	3.5
537.6823	18593.17	0.027	26	25		+180	86	3	43800.88	e	1.5	25207.73	o	1.5
537.7280	18591.59	0.005	35	29		?90	18	4	41151.1	e	4.5	22559.5	o	5.5
538.2043	18575.14	0.001	102	95		?90	16	15	31694.749	o	3.5	13119.61	e	4.5
538.3544	18569.96	0.006	6	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-135	57	45018.23	e	3.5	26448.27	o	2.5
538.5158	18564.40	0.006	27	34		?85	8	2.58*	41874.369	o	5.5	23309.98	e	5.5
538.6735	18558.96	0.005	91	70		-130	55	10	37252.03	o	8.5	18693.07	e	7.5
538.7846	18555.13	0.016	5	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90	19	44300.233	o	2.5	25745.12	e	2.5
538.9568	18549.21	0.020	7	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?85	22	43160.53	e	1.5	24611.3	o	2.5
539.0460	18546.14	0.005	46	43		+125	47	15	38012.795	o	6.5	19466.66	e	6.5
539.1501	18542.56	0.002	19	15		?90	30	3	41917.235	o	6.5	23374.68	e	6.5
539.1914	18541.14	0.011	298	288		?85	5	50	33812.149	o	6.5	15271	e	7.5
539.8571	18518.27	0.033	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-160	105	42764.664	e	4.5	24246.43	o	3.5
539.9539	18514.95	0.005	6	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?105	19	41074.45	e	4.5	22559.5	o	5.5
540.0603	18511.30	0.004	112	112		?85	6	10	37365.13	o	6.5	18853.82	e	5.5
540.1814	18507.15	0.006	10	10	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+180	77	39627.996	o	3.5	21120.84	e	3.5
540.1945	18506.70	0.024	5	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+200	79	43464.15	e	4.5	24957.47	o	5.5
540.2716	18504.06	0.002	304	246		?90	13	40	35958.88	o	6.5	17454.82	e	6.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı		W (mK)	ΔW (mK)	I	E_{ist} (cm^{-1})	π_{ist}	J_{ist}	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}
540.3634	18500.92	0.012	25	19	yeni sınıflandırma		+175	87	2	41836.02	e	2.5	23335.11	o	3.5
540.3992	18499.70	0.008	4	4			?110	28	1	41874.369	o	5.5	23374.68	e	6.5
540.4633	18497.50	0.010	10	10			?180	13	2	42370.718	o	3.5	23873.21	e	3.5
540.4659	18497.41	0.039	5	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?60	19		39658.852	o	2.5	21161.4	e	2.5
540.7322	18488.30	0.011	26	9			?175	34	1	42429.385	e	5.5	23941.07	o	4.5
540.7723	18486.93	0.045	8	8	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-150	57		43098.19	e	3.5	24611.3	o	2.5
540.8639	18483.80	0.007	26	25			?110	32	20	43614.261	o	7.5	25130.45	e	7.5
541.2072	18472.08	0.063	5	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-140	71		42718.44	e	4.5	24246.43	o	3.5
541.2442	18470.81	0.000	13	8			?110	33	0.186*	40208.499	o	4.5	21737.69	e	4.5
541.3474	18467.29	0.041	10	6	yeni sınıflandırma		?110	34	10	49834.98	e	2.5	31367.73	o	3.5
541.3725	18466.44	0.000	349	285			-135	61	100	37159.51	o	7.5	18693.07	e	7.5
541.4095	18465.17	0.047	20	15			?120	41	4	44182.324	o	2.5	25717.2	e	3.5
541.6259	18457.80	0.003	32	27			?100	11	3	38211.625	o	3.5	19753.83	e	3.5
541.8351	18450.67	0.008	13	9	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90	16		41352.806	e	5.5	22902.13	o	6.5
541.8437	18450.38	0.006	130	102			?80	9	30	41193.16	e	6.5	22742.78	o	6.5
541.9727	18445.99	0.010	9	11	karışık		?105	35	1	45147.3	o	4.5	26701.33	e	3.5
541.9727	18445.99	0.007	9	11	karışık		?105	35		49813.72	e	4.5	31367.73	o	3.5
542.0033	18444.95	0.029	15	15			?90	10	2	43056.22	e	2.5	24611.3	o	2.5
542.1039	18441.52	0.020	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-160	64		39602.902	o	1.5	21161.4	e	2.5
542.1666	18439.39	0.004	13	13			-160	78	3	37276.778	o	5.5	18837.39	e	4.5
542.2305	18437.21	0.008	10	11			?102	11	2	44182.324	o	2.5	25745.12	e	2.5
542.3561	18432.95	0.011	17	14	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?85	2		35389.94	o	3.5	16957.01	e	3.5
542.6505	18422.95	0.008	26	26			-118	48	10	37276.778	o	5.5	18853.82	e	5.5
542.6972	18421.36	0.033	10	10	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?110	40		39542.165	o	3.5	21120.84	e	3.5
542.8576	18415.92	0.001	6	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+150	50		41751.03	e	2.5	23335.11	o	3.5
542.9028	18414.38	0.021	4	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100	10		43115.42	e	4.5	24701.06	o	4.5
542.9527	18412.69	0.020	6	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?115	45		38161.255	o	5.5	19748.54	e	4.5
543.1089	18407.40	0.019	15	15			-125	47	3	43115.42	e	4.5	24708.04	o	3.5
543.1271	18406.78	0.018	5	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?120	33		35363.77	o	4.5	16957.01	e	3.5
543.1617	18405.61	0.055	8	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-105	43		49773.39	e	2.5	31367.73	o	3.5
543.2032	18404.20	0.026	10	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?125	31		41836.02	e	2.5	23431.84	o	2.5
543.4107	18397.17	0.008	9	9	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?110	14		43354.65	e	4.5	24957.47	o	5.5
543.4168	18396.97	0.011	34	34	yeni sınıflandırma		?85	17	6	49785.26	e	3.5	31388.3	o	4.5
543.5375	18392.88	0.010	7	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+120	54		41728.003	e	4.5	23335.11	o	3.5
543.5645	18391.97	0.012	182	146			?100	30	20	37858.62	o	7.5	19466.66	e	6.5
543.6972	18387.48	0.004	169	140			?105	35	50	40855.53	e	6.5	22468.05	o	5.5
543.7783	18384.74	0.002	10	9	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+130	59		42325.81	e	3.5	23941.07	o	4.5
543.8946	18380.81	0.041	4	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90	35		39542.165	o	3.5	21161.4	e	2.5
543.9559	18378.74	0.009	30	22			-115	38	3	40376.2	o	6.5	21997.47	e	5.5
544.0750	18374.71	0.012	40	35			?90	13	6	37365.13	o	6.5	18990.41	e	5.5
544.6454	18355.47	0.004	544	499			?85	5	60	33943.282	o	6.5	15587.81	e	5.5
544.8176	18349.67	0.012	8	8			+150	70	2	39470.489	o	2.5	21120.84	e	3.5
544.9187	18346.26	0.045	7	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?70	5		42957.52	e	2.5	24611.3	o	2.5
545.0832	18340.73	0.009	5	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?110	33		42952.02	e	3.5	24611.3	o	2.5
545.1385	18338.87	0.012	27	25			?80	1	3	35682.251	o	3.5	17343.37	e	3.5
545.1827	18337.38	0.002	10	11			?90	13	3	42119.08	o	5.5	23781.7	e	4.5
545.3950	18330.24	0.004	11	11	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?80	4		35673.62	o	2.5	17343.37	e	3.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}
545.5489	18325.07	0.007	5	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100	18	40322.536	o	4.5	21997.47	e	5.5
545.5811	18323.99	0.001	4	5			?100	31	42742.008	o	3.5	24418.02	e	2.5
545.7332	18318.88	0.012	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?65	10	39480.272	o	3.5	21161.4	e	2.5
545.9171	18312.71	0.014	6	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?84	18	41687.404	o	5.5	23374.68	e	6.5
545.9253	18312.44	0.009	5	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?127	33	35054.681	o	4.5	16742.24	e	3.5
546.0245	18309.11	0.019	5	5			+155	67	39470.489	o	2.5	21161.4	e	2.5
546.2427	18301.80	0.008	14	14			-115	39	44750.078	e	3.5	26448.27	o	2.5
546.2797	18300.55	0.004	93	79			?95	22	43836.666	e	6.5	25536.12	o	7.5
546.4149	18296.03	0.000	256	211			?100	30	40855.53	e	6.5	22559.5	o	5.5
546.5105	18292.83	0.009	14	14			?90	3	39413.672	o	3.5	21120.84	e	3.5
546.5302	18292.17	0.002	88	79	yeni sınıflandırma		?95	22	49811.66	e	4.5	31519.5	o	5.5
546.5644	18291.02	0.012	29	33			?80	16	41193.16	e	6.5	22902.13	o	6.5
546.6592	18287.85	0.011	13	13			?110	28	42705.88	o	2.5	24418.02	e	2.5
546.8306	18282.12	0.013	43	36			?95	34	41617.243	e	3.5	23335.11	o	3.5
547.2094	18269.46	0.004	3	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-110	66	42406.656	o	6.5	24137.2	e	6.5
547.2707	18267.42	0.036	44	40			?130	23	43788.44	e	5.5	25520.99	o	5.5
547.2748	18267.28	0.040	17	14	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?75	19	40066.7	e	2.5	21799.38	o	1.5
547.2807	18267.08	0.041	18	18	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?115	30	49721.34	e	4.5	31454.3	o	4.5
547.3082	18266.17	0.001	13	13			?100	40	41576.146	o	4.5	23309.98	e	5.5
547.4455	18261.58	0.022	25	26			?110	33	41836.02	e	2.5	23574.42	o	1.5
547.5475	18258.18	0.009	5	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?95	21	45147.3	o	4.5	26889.13	e	4.5
547.6101	18256.09	0.014	29	29			+145	61	42957.138	e	5.5	24701.06	o	4.5
547.8502	18248.09	0.025	560	560			?90	17	31367.728	o	3.5	13119.61	e	4.5
548.1107	18239.42	0.044	17	15			?90	7	43196.848	e	5.5	24957.47	o	5.5
548.2539	18234.66	0.005	5	5			?85	2	43755.64	e	4.5	25520.99	o	5.5
548.2953	18233.28	0.001	5	6			?90	21	42581.974	o	5.5	24348.69	e	4.5
548.5647	18224.33	0.010	256	240			?95	27	33812.149	o	6.5	15587.81	e	5.5
548.9107	18212.84	0.004	4	4			?80	3	42561.536	o	4.5	24348.69	e	4.5
549.1368	18205.34	0.002	50	48			?90	17	33793.154	o	5.5	15587.81	e	5.5
549.3661	18197.74	0.007	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?145	55.7	49791.45	e	3.5	31593.7	o	2.5
549.3952	18196.78	0.012	8	9			?100	31	42357.42	e	1.5	24160.63	o	0.5
549.4614	18194.59	0.000	122	105			?85	6	43715.572	e	5.5	25520.99	o	5.5
549.5618	18191.26	0.003	75	59			+140	59	37657.928	o	5.5	19466.66	e	6.5
549.7389	18185.40	0.002	6	4			?90	21	41617.243	e	3.5	23431.84	o	2.5
550.1096	18173.15	0.002	32	29			?100	27	37010.534	o	4.5	18837.39	e	4.5
550.5698	18157.96	0.005	7	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-70	17	43115.42	e	4.5	24957.47	o	5.5
550.5900	18157.29	0.016	27	25			?79	2	44515.01	e	6.5	26357.74	o	6.5
550.6077	18156.71	0.005	85	76			+135	52	37010.534	o	4.5	18853.82	e	5.5
550.6497	18155.32	0.000	4	4			?80	1	41085.039	o	3.5	22929.72	e	2.5
551.1428	18139.08	0.003	13	11			?110	33	42080.152	e	5.5	23941.07	o	4.5
551.7732	18118.35	0.000	29	23			?75	19	40586.4	e	6.5	22468.05	o	5.5
551.8544	18115.69	0.002	6	6			-155	83	39277.087	o	2.5	21161.4	e	2.5
552.4039	18097.67	0.007	26	25			?75	3	35054.681	o	4.5	16957.01	e	3.5
552.4275	18096.90	0.000	20	15	yeni sınıflandırma		-150	74	40516.66	e	4.5	22419.76	o	4.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}
552.5564	18092.67	0.003	9	12		?80	9	10	41874.369	o	5.5	23781.7	e	4.5
552.6781	18088.69	0.036	13	11	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?75	3	43788.44	e	5.5	25699.71	o	4.5
552.8346	18083.57	0.007	394	359		-180	88	200	40503.326	e	5.5	22419.76	o	4.5
552.8695	18082.43	0.026	5	5		?120	43	2	42783.46	e	3.5	24701.06	o	4.5
552.9087	18081.15	0.009	8	6		?85	21	2	44529.428	e	3.5	26448.27	o	2.5
553.1604	18072.92	0.001	7	6		?100	20	3	44774.242	o	4.5	26701.33	e	3.5
553.5193	18061.20	0.010	47	42		?95	2	30	41493.034	e	2.5	23431.84	o	2.5
553.5220	18061.11	0.072	13	11	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+120		49560.1	e	2.5	31499.06	o	1.5
553.6787	18056.00	0.013	23	18		?80	1	10	41391.1	e	4.5	23335.11	o	3.5
553.7532	18053.57	0.018	8	8		?95	17	3	45091.022	e	4.5	27037.47	o	3.5
553.8342	18050.93	0.002	89	81		-140	66	30	33638.74	o	5.5	15587.81	e	5.5
554.3149	18035.28	0.002	16	15		?80	12	4	40503.326	e	5.5	22468.05	o	5.5
554.5660	18027.11	0.031	17	24		+160	70	20	38433.92	e	2.5	20406.84	o	2.5
554.7814	18020.11	0.007	13	13		-140	50	10	37768.662	o	4.5	19748.54	e	4.5
554.8643	18017.42	0.038	15	15		?90	2	4	42718.44	e	4.5	24701.06	o	4.5
554.9122	18015.86	0.006	25	23		?100	23	6	43715.572	e	5.5	25699.71	o	4.5
554.9444	18014.82	0.013	30	28		?95	22	10	37768.662	o	4.5	19753.83	e	3.5
554.9661	18014.12	0.009	26	26		+180	93	20	43221.84	e	1.5	25207.73	o	1.5
555.1273	18008.88	0.009	8	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90	4	40938.61	o	2.5	22929.72	e	2.5
555.4108	17999.69	0.022	16	16		+190	97	20	42957.138	e	5.5	24957.47	o	5.5
555.9609	17981.88	0.000	7	6		?85	5	3	42119.08	o	5.5	24137.2	e	6.5
556.2447	17972.71	0.006	5	10		?140	23	2	40763.892	o	3.5	22791.18	e	3.5
556.2868	17971.35	0.005	17	12		?103	23	4	39709.038	o	5.5	21737.69	e	4.5
556.3085	17970.65	0.002	143	122		?100	22	20	37519.484	o	3.5	19548.83	e	2.5
556.4858	17964.92	0.000	7	4		-145	60	2	41274.9	o	6.5	23309.98	e	5.5
556.6001	17961.23	0.003	1485	1408		-150	74	300	31080.846	o	5.5	13119.61	e	4.5
556.6118	17960.86	0.006	122	122		?90	17	50	36653.924	o	7.5	18693.07	e	7.5
556.6476	17959.70	0.004	4	3		?140	47	1	42667.745	e	4.5	24708.04	o	3.5
556.7265	17957.15	0.005	10	9		?110	18	2	40516.66	e	4.5	22559.5	o	5.5
556.8430	17953.40	0.004	16	11		?100	14	5	40855.53	e	6.5	22902.13	o	6.5
556.8621	17952.78	0.016	9	6		?235	78	5	43160.53	e	1.5	25207.73	o	1.5
557.1402	17943.82	0.002	47	39		?80	4	20	40503.326	e	5.5	22559.5	o	5.5
557.1596	17943.20	0.033	41	41		?100	5	10h	43464.15	e	4.5	25520.99	o	5.5
557.5134	17931.81	0.008	20	20		-145	57	20	42543.119	e	3.5	24611.3	o	2.5
557.5817	17929.61	0.005	43	39		?80	3	10	35682.251	o	3.5	17752.63	e	2.5
557.8500	17920.99	0.004	14	11		?90	3	4	35673.62	o	2.5	17752.63	e	2.5
557.9238	17918.62	0.001	5	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-160	63	41493.034	e	2.5	23574.42	o	1.5
558.1212	17912.28	0.003	30	30		+150	61	40	42869.748	e	6.5	24957.47	o	5.5
558.1343	17911.86	0.017	246	246		?80	8	40	45289.01	o	5.5	27377.13	e	6.5
558.1380	17911.74	0.039	172	172		?90	9	200	38318.62	e	1.5	20406.84	o	2.5
558.3246	17905.76	0.051	75	65		?90	19	40	41687.404	o	5.5	23781.7	e	4.5
558.5520	17898.46	0.002	22	18	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?99	19	37365.13	o	6.5	19466.66	e	6.5
558.6688	17894.72	0.008	17	15	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?85	11	42595.791	e	5.5	24701.06	o	4.5
558.8796	17887.98	0.015	7	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?110	34	31007.6	o	5.5	13119.61	e	4.5
559.4280	17870.44	0.000	6	5		?85	2	2	44238.85	e	4.5	26368.41	o	5.5
559.6149	17864.47	0.040	8	9		?110	14	2	41646.129	o	3.5	23781.7	e	4.5
559.8203	17857.92	0.031	16	21		?110	16	20	44747.009	o	5.5	26889.13	e	4.5
560.2687	17843.62	0.002	54	43		?100	28	20	40586.4	e	6.5	22742.78	o	6.5
560.3182	17842.05	0.014	8	8		?95	16	5	42543.119	e	3.5	24701.06	o	4.5
560.6627	17831.09	0.035	139	139		+200	124	50	38237.89	e	1.5	20406.84	o	2.5
560.8440	17825.32	0.002	11	10		?100	27	5	39563.003	o	5.5	21737.69	e	4.5
561.1382	17815.98	0.012	4	2		-120	52	2	41151.1	e	4.5	23335.11	o	3.5
561.3231	17810.11	0.007	66	66		-140	65	70	37276.778	o	5.5	19466.66	e	6.5
561.3410	17809.54	0.010	27	20		+120	47	6	41144.66	e	3.5	23335.11	o	3.5
561.4144	17807.21	0.016	11	11		?90	8	2	42764.664	e	4.5	24957.47	o	5.5
561.5504	17802.90	0.001	11	10		?104	23	2	36656.724	o	5.5	18853.82	e	5.5
561.8172	17794.45	0.003	10	10		-120	48	5	41576.146	o	4.5	23781.7	e	4.5
562.0546	17786.93	0.004	27	23		+130	56	7	41728.003	e	4.5	23941.07	o	4.5
562.2723	17780.04	0.001	89	70		-130	57	50	41917.235	o	6.5	24137.2	e	6.5
562.4964	17772.96	0.035	13	13		?88	11	2	41646.129	o	3.5	23873.21	e	3.5
562.5462	17771.38	0.021	14	12		-140	46	5	41081.384	o	5.5	23309.98	e	5.5
562.8894	17760.55	0.000	12	11		?95	33	3	40503.326	e	5.5	22742.78	o	6.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}	
562.9336	17759.15	0.002	17	13		295	22	2	41700.222	e	5.5	23941.07	o	4.5	
563.1404	17752.63	0.001	31334	22733		297	26	3000r	17752.634	e	2.5	0	o	3.5	
563.2065	17750.55	0.000	13	11		2100	19	2	39488.236	o	4.5	21737.69	e	4.5	
563.2904	17747.91	0.025	71	71		-145	64	60	39547.31	e	2.5	21799.38	o	1.5	
563.4482	17742.93	0.000	13	8		-160	73	2	41880.13	o	7.5	24137.2	e	6.5	
563.4584	17742.62	0.028	5	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-170	69	39480.272	o	3.5	21737.69	e	4.5	
563.4719	17742.19	0.002	8	8		-130	45	2	39479.873	o	5.5	21737.69	e	4.5	
563.5625	17739.34	0.001	23	17		+150	62	5	41074.45	e	4.5	23335.11	o	3.5	
563.6310	17737.18	0.007	7	9		285	3	3	41874.369	o	5.5	24137.2	e	6.5	
563.9130	17728.31	0.014	15	10		280	17	2	42429.385	e	5.5	24701.06	o	4.5	
563.9712	17726.48	0.004	6	6		280	1	1	40517.661	o	4.5	22791.18	e	3.5	
564.1270	17721.58	0.055	41	41	yeni sınıflandırma		+170	89	15	38128.37	e	2.5	20406.84	o	2.5
564.2596	17717.42	0.034	1280	1178		2107	21	300	26488.7	e	1.5	8771.243	o	2.5	
564.3288	17715.25	0.003	4	4		290	22	1	42133.263	o	3.5	24418.02	e	2.5	
564.3526	17714.50	0.004	6	5		-150	53	1	42325.81	e	3.5	24611.3	o	2.5	
564.4062	17712.82	0.002	45	35		275	10	5	41144.66	e	3.5	23431.84	o	2.5	
564.4464	17711.56	0.006	19	13		281	2	3	39709.038	o	5.5	21997.47	e	5.5	
564.4547	17711.30	0.010	7	7		-115	50	1	35054.681	o	4.5	17343.37	e	3.5	
564.5400	17708.62	0.003	429	371		-170	92	200	40128.384	e	5.5	22419.76	o	4.5	
564.6013	17706.70	0.004	7	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	256	8	41081.384	o	5.5	23374.68	e	6.5	
565.0434	17692.85	0.001	150	128		-150	67	50	37159.51	o	7.5	19466.66	e	6.5	
565.3911	17681.97	0.009	9	8		-150	87	1	40101.72	e	4.5	22419.76	o	4.5	
565.4841	17679.06	0.040	84	83		-140	61	20	32950.1	o	6.5	15271	e	7.5	
565.5767	17676.16	0.009	21	16		+110	38	4	41617.243	e	3.5	23941.07	o	4.5	
565.5846	17675.91	0.053	20	20		-150	56	5h	43196.848	e	5.5	25520.99	o	5.5	
565.6898	17672.63	0.007	50	41		285	9	4	37221.455	o	3.5	19548.83	e	2.5	
565.8172	17668.65	0.002	24	24	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	2120	17	42876.38	e	2.5	25207.73	o	1.5	
565.8300	17668.25	0.002	1562	1792		-125	51	600	26439.491	e	3.5	8771.243	o	2.5	
565.8921	17666.31	0.008	82	68		+120	44	7	36656.724	o	5.5	18990.41	e	5.5	
566.0834	17660.34	0.002	119	103		290	12	20	40128.384	e	5.5	22468.05	o	5.5	
566.3784	17651.14	0.012	6	5		+115	41	2	41533.564	o	2.5	23882.41	e	1.5	
566.4089	17650.19	0.028	9	9		2120	33	2	45091.022	e	4.5	27440.86	o	4.5	
567.0262	17630.98	0.000	11	10	karişik	290	8		38751.812	o	2.5	21120.84	e	3.5	
567.0262	17630.98	0.000	11	10	karişik	290	7	2	34587.982	o	4.5	16957.01	e	3.5	
567.5836	17613.66	0.003	36045	22528		-130	55	5000r	17613.659	e	4.5	0	o	3.5	
567.9857	17601.19	0.006	4	4		283	23	1	40503.326	e	5.5	22902.13	o	6.5	
568.0593	17598.91	0.004	5	5		283	0	2	44300.233	o	2.5	26701.33	e	3.5	
568.2028	17594.47	0.035	14	14	karişik	2105	27	3	43115.42	e	4.5	25520.99	o	5.5	
568.2029	17594.47	0.001	14	14	karişik	2105	27	3	49811.66	e	3.5	32217.2	o	4.5	
568.3335	17590.42	0.011	31	31		285	12	3	38751.812	o	2.5	21161.4	e	2.5	
568.3592	17589.63	0.001	493	454		-120	45	200	34046.54	o	7.5	16456.91	e	8.5	
568.7551	17577.38	0.012	4	4		2120	49	1	45018.23	e	3.5	27440.86	o	4.5	
569.0303	17568.88	0.000	109	94		274	12	20	40128.384	e	5.5	22559.5	o	5.5	
569.0561	17568.09	0.008	4	3		286	19	2	34310.33	o	4.5	16742.24	e	3.5	
569.0874	17567.12	0.013	4	3		2120	34	1	44456.23	o	3.5	26889.13	e	4.5	
569.1388	17565.53	0.002	11	9		2100	18	3	39563.003	o	5.5	21997.47	e	5.5	
569.1651	17564.72	0.002	23	8		2180	29	1	38685.555	o	4.5	21120.84	e	3.5	
569.2323	17562.65	0.002	5	4		2110	20	2	44263.974	o	3.5	26701.33	e	3.5	
569.4450	17556.09	0.002	4	4		2130	39	1	40347.267	o	2.5	22791.18	e	3.5	
569.6381	17550.14	0.072	7	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	2160	39	41687.404	o	5.5	24137.2	e	6.5	
569.6510	17549.74	0.028	18	18	yeni sınıflandırma		290	20	2	49731.2	e	2.5	32181.49	o	1.5
570.1996	17532.85	0.022	49	49		2100	25	20	43981.104	e	3.5	26448.27	o	2.5	
570.2481	17531.36	0.004	6	5		2113	29	1	40322.536	o	4.5	22791.18	e	3.5	
570.2741	17530.56	0.008	131	114		286	14	10	36223.628	o	6.5	18693.07	e	7.5	

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}
570.3503	17528.22	0.015	45	45		2101	27	10	37276.778	o	5.5	19748.54	e	4.5
570.4329	17525.68	0.006	7	9		280	1	3	41874.369	o	5.5	24348.69	e	4.5
570.4905	17523.91	0.004	41	41		275	5	8	36377.733	o	4.5	18853.82	e	5.5
570.5263	17522.81	0.006	85	66		-80	107	10	39942.571	e	5.5	22419.76	o	4.5
571.1795	17502.78	0.006	8	8		290	25	1	38664.184	o	3.5	21161.4	e	2.5
571.2423	17500.85	0.004	246	245		275	6	40	34457.853	o	4.5	16957.01	e	3.5
571.3029	17499.00	0.006	8	8		275	9	1	42456.47	e	6.5	24957.47	o	5.5
571.3620	17497.18	0.050	12	12		295	24	2	43196.848	e	5.5	25699.71	o	4.5
571.5008	17492.94	0.026	14	14		280	5	5	41841.602	o	3.5	24348.69	e	4.5
571.5183	17492.40	0.001	146	118		+130	56	40	36329.786	o	5.5	18837.39	e	4.5
571.5792	17490.53	0.004	1075	1075		2110	35	200	32761.54	o	8.5	15271	e	7.5
571.7106	17486.52	0.009	314	291		2110	30	70	36179.6	o	7.5	18693.07	e	7.5
571.8717	17481.59	0.012	62	54		-125	48	30	41728.003	e	4.5	24246.43	o	3.5
571.9587	17478.93	0.000	48	41		2110	35	20	43836.666	e	6.5	26357.74	o	6.5
572.1031	17474.52	0.006	7	5		2105	22	1	39942.571	e	5.5	22468.05	o	5.5
572.1886	17471.91	0.008	20	19		2100	29	5	42429.385	e	5.5	24957.47	o	5.5
572.2206	17470.93	0.007	9	6		-100	47	1	40780.904	o	6.5	23309.98	e	5.5
572.3079	17468.26	0.011	15	12		-115	41	4	43836.666	e	6.5	26368.41	o	5.5
572.3286	17467.63	0.009	7	6		+130	62	1	37221.455	o	3.5	19753.83	e	3.5
572.3351	17467.44	0.012	14	11		+125	52	2	40802.56	e	3.5	23335.11	o	3.5
572.5605	17460.56	0.018	15	15	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-110	34	39259.92	e	2.5	21799.38	o	1.5
572.8467	17451.84	0.018	29	25		+190	78	7	34194.09	o	2.5	16742.24	e	3.5
572.9054	17450.05	0.020	5	4		280	11	1	41391.1	e	4.5	23941.07	o	4.5
573.3447	17436.68	0.000	97	74		-130	50	20	39434.151	o	6.5	21997.47	e	5.5
573.3611	17436.18	0.029	35	35		+125	38	20	42957.138	e	5.5	25520.99	o	5.5
573.5394	17430.76	0.055	12	10		2100	38	2	43788.44	e	5.5	26357.74	o	6.5
573.7747	17423.61	0.025	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	290	13	41841.602	o	3.5	24418.02	e	2.5
573.8447	17421.48	0.013	5	5		294	30	1	42910.043	o	6.5	25488.55	e	5.5
573.9819	17417.32	0.004	15	11		280	16	1	40208.499	o	4.5	22791.18	e	3.5
574.1663	17411.73	0.008	10	8		275	13	1	41352.806	e	5.5	23941.07	o	4.5
574.2694	17408.60	0.016	100	91		2100	28	30	34365.624	o	3.5	16957.01	e	3.5
574.9722	17387.32	0.005	39	39		295	15	8	36377.733	o	4.5	18990.41	e	5.5
574.9778	17387.15	0.074	8	8		290	22	1	43755.64	e	4.5	26368.41	o	5.5
575.0291	17385.60	0.005	21	18		295	28	4	40128.384	e	5.5	22742.78	o	6.5
575.1129	17383.07	0.000	36	30		290	22	4	39942.571	e	5.5	22559.5	o	5.5
575.1625	17381.57	0.007	11	9		278	21	1	42902.55	e	4.5	25520.99	o	5.5
575.2447	17379.08	0.009	31	25		278	6	4	42080.152	e	5.5	24701.06	o	4.5
575.2745	17378.19	0.006	11	11		280	3	1	38499.016	o	4.5	21120.84	e	3.5
575.3861	17374.81	0.035	34	26		290	24	3	44263.974	o	3.5	26889.13	e	4.5
575.5519	17369.81	0.006	124	106		290	24	46**	36223.628	o	6.5	18853.82	e	5.5
575.8025	17362.25	0.039	947	845		-150	75	300	32950.1	o	6.5	15587.81	e	5.5
575.8193	17361.74	0.003	9	6		285	11	1	38482.584	o	3.5	21120.84	e	3.5
576.0205	17355.68	0.017	1011	1229		-125	46	500r	26126.907	e	2.5	8771.243	o	2.5
576.0989	17353.32	0.006	7	4		260	14	1	34310.33	o	4.5	16957.01	e	3.5
576.1048	17353.14	0.010	23	17		295	26	2	40663.129	o	5.5	23309.98	e	5.5
576.1214	17352.64	0.034	28	25		290	19	5	43800.88	e	1.5	26448.27	o	2.5
576.2499	17348.77	0.011	28	28		280	0	5	42869.748	e	6.5	25520.99	o	5.5
576.2998	17347.27	0.002	64	64		2100	30	30	42868.255	e	5.5	25520.99	o	5.5
576.4290	17343.38	0.006	18432	16794		2102	27	3000r	17343.374	e	3.5	0	o	3.5
576.7531	17333.63	0.002	26	26		+120	47	10	42869.748	e	6.5	25536.12	o	7.5
576.9318	17328.27	0.027	8	8		-160	54	1	49687.61	e	2.5	32359.37	o	3.5
577.1674	17321.19	0.008	22	20		290	9	2	38482.584	o	3.5	21161.4	e	2.5
577.2724	17318.04	0.043	27	27		+180	113	9	37724.84	e	2.5	20406.84	o	2.5
577.5669	17309.21	0.007	6	6		2105	33	2	44750.078	e	3.5	27440.86	o	4.5
577.6271	17307.41	0.017	4	4		270	1	1	43052.541	o	3.5	25745.12	e	2.5
578.0718	17294.09	0.029	5	9	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-140	82	49773.39	e	2.5	32479.33	o	2.5
578.6703	17276.21	0.004	18	15		-115	37	3	42406.656	o	6.5	25130.45	e	7.5
579.0188	17265.81	0.002	32	25		277	14	2	35958.88	o	6.5	18693.07	e	7.5
579.0765	17264.09	0.001	74	65		280	4	10	38384.926	o	4.5	21120.84	e	3.5
579.1472	17261.98	0.011	18	15		+140	72	1	37010.534	o	4.5	19748.54	e	4.5
579.1534	17261.80	0.011	22	20		295	26	8	40693.63	e	1.5	23431.84	o	2.5
579.3008	17257.40	0.020	6	6		2152	42	2	42957.138	e	5.5	25699.71	o	4.5
579.3246	17256.69	0.010	44	41		2105	28	7	37010.534	o	4.5	19753.83	e	3.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}
579.6712	17246.38	0.003	48	43		?120	36	20	34999.008	o	1.5	17752.63	e	2.5
579.7308	17244.60	0.005	11	11		-115	52	2	34587.982	o	4.5	17343.37	e	3.5
579.7612	17243.70	0.023	13	13		-155	69	5	42764.664	e	4.5	25520.99	o	5.5
579.9872	17236.98	0.003	153	135	karişik Tm II	?95	12	100	34691.802	o	5.5	17454.82	e	6.5
580.1137	17233.22	0.002	33	31		+130	44	6	36223.628	o	6.5	18990.41	e	5.5
580.2001	17230.66	0.034	10	8	karişik	+120	48	2	41012.387	o	3.5	23781.7	e	4.5
580.6396	17217.61	0.017	11	10		?90	7	1	40649.441	e	3.5	23431.84	o	2.5
581.1876	17201.38	0.002	14	12		?100	22	3	44238.85	e	4.5	27037.47	o	3.5
581.5263	17191.36	0.040	7	5		-170	103	1	46500.09	e	3.5	29308.69	o	4.5
581.5702	17190.06	0.001	5	4		?70	1	1	36656.724	o	5.5	19466.66	e	6.5
581.6450	17187.85	0.025	65	75		-150	69	100	33644.74	o	9.5	16456.91	e	8.5
581.6648	17187.27	0.005	34	34		?80	10	7	36653.924	o	7.5	19466.66	e	6.5
582.2991	17168.54	0.003	29	27		?75	1	5	42868.255	e	5.5	25699.71	o	4.5
582.8381	17152.67	0.009	14	12		?120	34	3	40584.52	e	2.5	23431.84	o	2.5
582.9126	17150.47	0.065	116	116	yeni sınıflandırma	?80	0	40	37557.25	e	3.5	20406.84	o	2.5
582.9393	17149.69	0.001	6	6		+160	82	1	42357.42	e	1.5	25207.73	o	1.5
583.0385	17146.77	0.014	38	38		?100	28	10	42667.745	e	4.5	25520.99	o	5.5
583.1087	17144.71	0.034	18	13		-150	86	4	41391.1	e	4.5	24246.43	o	3.5
583.1953	17142.16	0.015	5	5	yeni sınıflandırma	?97	32	1	43590.42	e	3.5	26448.27	o	2.5
583.2850	17139.53	0.001	8	8		?80	1	2	38877.211	o	5.5	21737.69	e	4.5
583.2965	17139.19	0.008	9	7		-114	42	10	41012.387	o	3.5	23873.21	e	3.5
583.3469	17137.71	0.002	35	25		-120	45	30	41274.9	o	6.5	24137.2	e	6.5
583.4941	17133.38	0.004	45	37		+140	66	20	41074.45	e	4.5	23941.07	o	4.5
583.8588	17122.68	0.002	35	30		?103	28	5	42080.152	e	5.5	24957.47	o	5.5
584.1388	17114.48	0.004	18	18		-115	49	4	34457.853	o	4.5	17343.37	e	3.5
584.4605	17105.06	0.002	24	18		?90	23	2	35958.88	o	6.5	18853.82	e	5.5
585.0243	17088.57	0.000	6	6		?70	2	1	44529.428	e	3.5	27440.86	o	4.5
585.3837	17078.08	0.065	27	24	karişik	-140	32		34691.802	o	5.5	17613.66	e	4.5
585.3837	17078.08	0.002	27	24	karişik	-140	10	4	34532.898	o	5.5	17454.82	e	6.5
586.1359	17056.16	0.037	5	4		?95	17	1	40938.61	o	2.5	23882.41	e	1.5
586.1745	17055.04	0.015	20	20		?85	19	4	42576.01	e	4.5	25520.99	o	5.5
586.3395	17050.24	0.017	13	11		?80	3	1	38211.625	o	3.5	21161.4	e	2.5
586.6767	17040.44	0.006	8	4		?70	8	1	39942.571	e	5.5	22902.13	o	6.5
586.8250	17036.13	0.009	6	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?85	21	33778.36	o	3.5	16742.24	e	3.5
587.1421	17026.93	0.012	12	9		?90	18	2	41728.003	e	4.5	24701.06	o	4.5
587.2002	17025.25	0.011	24	23		+170	79	10	40360.37	e	3.5	23335.11	o	3.5
587.2374	17024.17	0.008	9	8		?90	23	1	42545.15	e	6.5	25520.99	o	5.5
587.3044	17022.23	0.022	8	8		?80	15	1	34365.624	o	3.5	17343.37	e	3.5
587.3832	17019.94	0.018	10	9		?105	28	2	41728.003	e	4.5	24708.04	o	3.5
587.4481	17018.06	0.053	4	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?80	10	42735.208	o	2.5	25717.2	e	3.5
587.7230	17010.10	0.000	6	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?130	42	40584.52	e	2.5	23574.42	o	1.5
587.7601	17009.03	0.005	25	25		?78	11	5	42545.15	e	6.5	25536.12	o	7.5
587.8144	17007.46	0.004	4	5		?90	21	1	41425.474	o	3.5	24418.02	e	2.5
587.8672	17005.93	0.010	7	6		-150	74	1	41617.243	e	3.5	24611.3	o	2.5
587.9315	17004.07	0.034	70	87		?100	23		33961.044	o	3.5	16957.01	e	3.5
588.2470	16994.95	0.004	154	140		?95	21	0.223*	34449.774	o	6.5	17454.82	e	6.5
588.6893	16982.18	0.010	5	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?80	12	40763.892	o	3.5	23781.7	e	4.5
589.1652	16968.46	0.009	20	16	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+120	44	35958.88	o	7.5	18990.41	e	5.5
589.2180	16966.95	0.010	12	10	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-125	57	34310.33	o	4.5	17343.37	e	3.5
589.5634	16957.01	0.001	36250	30106		?100	16	2400	16957.006	e	3.5	0	o	3.5
589.7816	16950.73	0.005	7	8	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+210	110	39741.913	o	4.5	22791.18	e	3.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}
589.9476	16945.96	0.007	589	1306		?100	0	400	25717.197	e	3.5	8771.243	o	2.5
590.0095	16944.18	0.004	7	6		?100	33	1	41081.384	o	5.5	24137.2	e	6.5
590.0280	16943.65	0.017	6	6		?90	14.7	1	43981.104	e	3.5	27037.47	o	3.5
590.1577	16939.93	0.007	461	461		-145	70	300	35633.01	o	8.5	18693.07	e	7.5
590.8406	16920.35	0.005	78	66		?85	23	20	42456.47	e	6.5	25536.12	o	7.5
590.8798	16919.23	0.012	4	3		?74	10	1	34532.898	o	5.5	17613.66	e	4.5
590.9188	16918.11	0.002	22	18		-120	47	5	42406.656	o	6.5	25488.55	e	5.5
591.2583	16908.40	0.002	140	140		?120	32	50	42429.385	e	5.5	25520.99	o	5.5
591.3881	16904.68	0.009	19	16		-125	53	4	41151.1	e	4.5	24246.43	o	3.5
591.6022	16898.57	0.047	101	81		?80	10	10	40208.499	o	4.5	23309.98	e	5.5
591.6417	16897.44	0.029	45	50	yeni sınıflandırma	?80	13		38696.79	e	2.5	21799.38	o	1.5
591.6893	16896.08	0.002	74	66		?85	9	30	42595.791	e	5.5	25699.71	o	4.5
592.0847	16884.80	0.020	104	128		?105	29	63	25656.019	e	2.5	8771.243	o	2.5
592.2622	16879.74	0.003	21	21		?70	10	4	38877.211	o	5.5	21997.47	e	5.5
592.7922	16864.64	0.018	38	31		-142	73	5	35557.7	o	7.5	18693.07	e	7.5
592.8458	16863.12	0.002	82	69		+142	65	20	36329.786	o	5.5	19466.66	e	6.5
593.1347	16854.91	0.030	27	27		?100	33	10	43303.151	e	3.5	26448.27	o	2.5
593.1704	16853.89	0.012	474	474		?91	17	100	32441.714	o	4.5	15587.81	e	5.5
593.2830	16850.69	0.023	12	10		?80	2	1	34194.09	o	2.5	17343.37	e	3.5
593.4884	16844.86	0.003	91	91		+128	50	30	35682.251	o	3.5	18837.39	e	4.5
593.5900	16841.98	0.001	1229	1229		+125	55	300	32112.98	o	7.5	15271	e	7.5
593.6897	16839.15	0.038	4	4	yeni sınıflandırma	?75	6		43196.848	e	5.5	26357.74	o	6.5
594.0815	16828.04	0.019	30	24		?100	37	6	41074.45	e	4.5	24246.43	o	3.5
594.2089	16824.44	0.010	4	4	yeni sınıflandırma	?85	15		44265.285	e	3.5	27440.86	o	4.5
594.3081	16821.63	0.013	4	4		?90	28	1	43859.11	e	2.5	27037.47	o	3.5
594.8158	16807.27	0.007	103	103		?75	2	15	36273.94	o	7.5	19466.66	e	6.5
594.9399	16803.76	0.006	4	4		?70	9	1	40113.75	o	6.5	23309.98	e	5.5
595.1441	16798.00	0.007	9	9		?115	39	2	44238.85	e	4.5	27440.86	o	4.5
595.2589	16794.76	0.035	4	5	yeni sınıflandırma	-120	44		43243	e	2.5	26448.27	o	2.5
595.3568	16792.00	0.002	67	55		?96	21	10	38529.686	o	5.5	21737.69	e	4.5
596.0106	16773.58	0.012	14	14		?85	25	4	43221.84	e	1.5	26448.27	o	2.5
596.1190	16770.53	0.007	5	5		+115	52	1	41728.003	e	4.5	24957.47	o	5.5
596.6012	16756.97	0.008	172	154		?80	8	30	36223.628	o	6.5	19466.66	e	6.5
596.7737	16752.13	0.002	5	5		?80	19	2	40533.825	o	3.5	23781.7	e	4.5
596.7802	16751.95	0.018	30	26		+140	67	7	34365.624	o	3.5	17613.66	e	4.5
596.8133	16751.02	0.030	5	6		+145	63	3	39542.165	o	3.5	22791.18	e	3.5
597.0314	16744.90	0.001	27	27		?80	3	3	38482.584	o	3.5	21737.69	e	4.5
597.1264	16742.24	0.001	6861	6861		-125	49	2000r	16742.237	e	3.5	0	o	3.5
597.2396	16739.06	0.006	67	50		+121	54	20	40113.75	o	6.5	23374.68	e	6.5
597.2514	16738.73	0.063	7	7		-160		1	39206.84	e	4.5	22468.05	o	5.5
597.4672	16732.68	0.008	7	275	karışık Ne	-120	47	3	41081.384	o	5.5	24348.69	e	4.5
597.5007	16731.75	0.017	326	304		+150	66	100	37138.57	e	1.5	20406.84	o	2.5
597.5070	16731.57	0.018	67	65		?105	30	3	40066.7	e	2.5	23335.11	o	3.5
597.5749	16729.67	0.002	16	16		?75	3	2	42429.385	e	5.5	25699.71	o	4.5
598.1735	16712.93	0.010	168	153		-115	37	30	36179.6	o	7.5	19466.66	e	6.5
598.1980	16712.24	0.012	8	8		?80	17	2	43160.53	e	1.5	26448.27	o	2.5
598.9934	16690.05	0.010	8	7		?78	24	1	41391.1	e	4.5	24701.06	o	4.5
599.0277	16689.10	0.001	5	3		?70	13	1	39480.272	o	3.5	22791.18	e	3.5
599.0931	16687.27	0.037	24	18		?70	11	2	36435.78	o	3.5	19748.54	e	4.5
599.5989	16673.20	0.014	5	6		-135	66	3	39602.902	o	1.5	22929.72	e	2.5
599.6558	16671.62	0.010	4	5		?65	4	1	39462.782	o	3.5	22791.18	e	3.5
600.0844	16659.71	0.028	16	14		?110	29	3	40091.58	e	1.5	23431.84	o	2.5
600.1696	16657.34	0.003	109	103		?100	20	30	37064.18	e	2.5	20406.84	o	2.5
600.2499	16655.12	0.009	29	23		?75	12	3	39123.17	e	4.5	22468.05	o	5.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}
600.2998	16653.73	0.017	12	12		?75	24	1	33395.984	o	3.5	16742.24	e	3.5
600.3220	16653.12	0.004	5	5		?80	21	1	39444.295	o	4.5	22791.18	e	3.5
600.3718	16651.73	0.014	20	15		?100	23	3	41352.806	e	5.5	24701.06	o	4.5
600.5131	16647.82	0.010	17	16		-120	41	0.217*	37768.662	o	4.5	21120.84	e	3.5
600.5338	16647.24	0.001	24	20		?80	3	3	38384.926	o	4.5	21737.69	e	4.5
600.6612	16643.71	0.004	10	6		?108	34	1	40780.904	o	6.5	24137.2	e	6.5
600.9811	16634.85	0.005	10	10		?100	30	2	40066.7	e	2.5	23431.84	o	2.5
600.9914	16634.56	0.025	40	53		-115	41	15	38433.92	e	2.5	21799.38	o	1.5
601.1772	16629.43	0.042	13	13		-155	84	8	32217.195	o	4.5	15587.81	e	5.5
601.1858	16629.19	0.002	19	19		?75	14	3	36377.733	o	4.5	19748.54	e	4.5
601.3770	16623.90	0.004	4	4		?90	33	1	36377.733	o	4.5	19753.83	e	3.5
601.4283	16622.48	0.013	6	4		?65	18	1	39413.672	o	3.5	22791.18	e	3.5
601.6015	16617.70	0.028	25	31		?90	20	7	33961.044	o	3.5	17343.37	e	3.5
601.7725	16612.97	0.015	17	15		?100	14	2	34365.624	o	3.5	17752.63	e	2.5
601.7905	16612.48	0.028	8	8		+110	44	2	39542.165	o	3.5	22929.72	e	2.5
601.8728	16610.21	0.017	7	5		?80	35	1	38347.875	o	5.5	21737.69	e	4.5
602.1645	16602.16	0.019	14	13		?100	37	2	43979.308	o	6.5	27377.13	e	6.5
602.5433	16591.72	0.000	458	426		-130	52	200	34046.54	o	7.5	17454.82	e	6.5
603.1302	16575.58	0.010	15	12		+130	44	3	40516.66	e	4.5	23941.07	o	4.5
603.5389	16564.35	0.024	15	15		?80	7	3	39996.221	e	3.5	23431.84	o	2.5
603.5641	16563.66	0.007	9	7		?80	11.7	1	39123.17	e	4.5	22559.5	o	5.5
603.7279	16559.17	0.003	41	36		?110	3	15	42080.152	e	5.5	25520.99	o	5.5
603.8382	16556.14	0.008	8	6		-105	50	2	40802.56	e	3.5	24246.43	o	3.5
604.0261	16550.99	0.063	5	3		?80	16	1	44891.22	e	3.5	28340.29	o	3.5
604.3068	16543.30	0.007	20	17		+135	44	10	41751.03	e	2.5	25207.73	o	1.5
604.3772	16541.38	0.002	11	10		-125	54	2	35673.62	o	2.5	19132.25	e	1.5
604.3990	16540.78	0.011	9	9	yeni sınıflandırma	+165	74	2	39470.489	o	2.5	22929.72	e	3.5
604.4176	16540.27	0.026	36	36		?85	19	10	43981.104	e	3.5	27440.86	o	4.5
604.6399	16534.19	0.054	6	8	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+110	36	42902.55	e	4.5	26368.41	o	5.5
604.7124	16532.21	0.003	17	14		?70	12	2	38529.686	o	5.5	21997.47	e	5.5
604.9079	16526.87	0.018	5	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100	28	49767.21	e	4.5	33240.36	o	3.5
604.9247	16526.41	0.022	4	3		?90	23		35363.77	o	4.5	18837.39	e	4.5
604.9423	16525.93	0.006	6	4		?90	1	1	40663.129	o	5.5	24137.2	e	6.5
605.4540	16511.96	0.012	33	28	karışık	-170	33	28	41469.44	e	6.5	24957.47	o	5.5
605.4548	16511.94	0.008	33	28	karışık	-170	33	28	39847.04	e	3.5	23335.11	o	3.5
605.5071	16510.51	0.008	12	12		?85	14	2	42868.255	e	5.5	26357.74	o	6.5
605.5271	16509.97	0.019	6	6		?70	3	1	35363.77	o	4.5	18853.82	e	5.5
605.5516	16509.30	0.053	7	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?85	21	42957.52	e	2.5	26448.27	o	2.5
605.7546	16503.76	0.018	9	9		?90	17	2	42952.02	e	3.5	26448.27	o	2.5
605.8986	16499.84	0.000	20	18		?75	2	5	42868.255	e	5.5	26368.41	o	5.5
606.3169	16488.46	0.005	123	120		?80	2	20	33943.282	o	6.5	17454.82	e	6.5
606.4830	16483.95	0.010	5	5		?80	20	1	39413.672	o	3.5	22929.72	e	2.5
606.7397	16476.97	0.029	19	22		?105	39	10	43514.41	e	3.5	27037.47	o	3.5
606.8510	16473.95	0.008	10	10		?65	2	1	38211.625	o	3.5	21737.69	e	4.5
606.8947	16472.76	0.007	7	5		+146	61	1	41430.237	e	5.5	24957.47	o	5.5
607.2660	16462.69	0.000	3	4		+100	42	2	42179.886	o	2.5	25717.2	e	3.5
607.4671	16457.24	0.001	5	8		+140	51	1	39386.959	o	2.5	22929.72	e	2.5
607.8365	16447.24	0.010	23	16	yeni sınıflandırma	?75	9	2	49687.61	e	2.5	33240.36	o	3.5
608.0509	16441.44	0.015	45	40		?80	3	10	34194.09	o	2.5	17752.63	e	2.5
608.0782	16440.70	0.012	6	6		?65	5	1	48547.98	e	4.5	32107.27	o	5.5
608.5441	16428.12	0.009	4	4		-150	61	1	42876.38	e	2.5	26448.27	o	2.5
608.5961	16426.71	0.028	9	11		?110	22	2	43464.15	e	4.5	27037.47	o	3.5
608.6852	16424.31	0.000	34	29		-140	73	8	38844.072	e	5.5	22419.76	o	4.5
608.7124	16423.57	0.003	5	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?70	13	38161.255	o	5.5	21737.69	e	4.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

$\lambda_{\text{hav}} \text{ (nm)}$	$\sigma_{\text{vakum}} \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	$\Delta\sigma \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	$W \text{ (mK)}$	$\Delta W \text{ (mK)}$	I	$E_{\text{üst}} \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	$E_{\text{alt}} \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	π_{alt}	J_{alt}
608.8710	16419.29	0.005	8	8	yeni sınıflandırma	+140	83	1	40360.37	e	3.5	23941.07	o	4.5
609.0223	16415.22	0.020	8	6		7105	27	2	39847.04	e	3.5	23431.84	o	2.5
609.6375	16398.65	0.003	9	21		790	23	1	37519.484	o	3.5	21120.84	e	3.5
610.0541	16387.45	0.001	30	26		770	6	3	38384.926	o	4.5	21997.47	e	5.5
610.3152	16380.44	0.003	30	25		783	4	5	42080.152	e	5.5	25699.71	o	4.5
610.4803	16376.01	0.013	16	13		780	10	2	38844.072	e	5.5	22468.05	o	5.5
610.9442	16363.58	0.011	12	7		770	7	1	39698.7	e	4.5	23335.11	o	3.5
611.1780	16357.32	0.012	34	34		785	20	5	33812.149	o	6.5	17454.82	e	6.5
611.4359	16350.42	0.015	5	4		769	28	1	38347.875	o	5.5	21997.47	e	5.5
611.5472	16347.44	0.072	6	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	745	25	39277.087	o	2.5	22929.72	e	2.5
611.5500	16347.37	0.018	8	8	karışık	+115	63	5h	33961.044	o	3.5	17613.66	e	4.5
611.8882	16338.33	0.004	637	637		775	10	150	33793.154	o	5.5	17454.82	e	6.5
611.9447	16336.83	0.033	13	10		780	24	2	41544.59	e	2.5	25207.73	o	1.5
613.1532	16304.62	0.003	634	634		7110	35	200	32761.54	o	8.5	16456.91	e	8.5
613.8802	16285.32	0.015	13	13		7180	48	10	41493.034	e	2.5	25207.73	o	1.5
613.9086	16284.56	0.008	10	9		775	18	1	38844.072	e	5.5	22559.5	o	5.5
613.9559	16283.31	0.049	3	4		-130	56	1	33240.362	o	3.5	16957.01	e	3.5
614.2797	16274.73	0.011	15	26		785	25	5	43715.572	e	5.5	27440.86	o	4.5
614.4490	16270.24	0.005	4	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-130	58	40516.66	e	4.5	24246.43	o	3.5
614.6202	16265.71	0.026	13	11		780	11	2	43303.151	e	3.5	27037.47	o	3.5
615.0999	16253.02	0.001	12	12		790	24	5	39563.003	o	5.5	23309.98	e	5.5
615.4517	16243.73	0.077	3	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	790	24	42370.718	o	3.5	26126.91	e	2.5
615.6308	16239.01	0.004	9	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	7110	31	40376.2	o	6.5	24137.2	e	6.5
615.6672	16238.05	0.009	27	23		770	5	10	42595.791	e	5.5	26357.74	o	6.5
615.7569	16235.68	0.009	5	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	785	2	41193.16	e	6.5	24957.47	o	5.5
616.0719	16227.38	0.002	92	80		780	6	40	42595.791	e	5.5	26368.41	o	5.5
616.4552	16217.29	0.006	20	20		775	2	2	35054.681	o	4.5	18837.39	e	4.5
616.6502	16212.16	0.036	24	24		+125	46	20	39547.31	e	2.5	23335.11	o	3.5
616.7917	16208.44	0.035	66	86		785	19	40	33961.044	o	3.5	17752.63	e	2.5
616.8460	16207.02	0.001	48	42		786	9	10	41728.003	e	4.5	25520.99	o	5.5
616.9015	16205.56	0.026	15	18	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	7105	15	43243	e	2.5	27037.47	o	3.5
617.0808	16200.85	0.009	45	43		785	26	8	35054.681	o	4.5	18853.82	e	5.5
617.5297	16189.07	0.006	774	774		-140	68	400	29308.69	o	4.5	13119.61	e	4.5
617.5934	16187.40	0.009	9	9		775	3.5		42545.15	e	6.5	26357.74	o	6.5
617.7262	16183.92	0.000	106	106		-135	57	30	33638.74	o	5.5	17454.82	e	6.5
617.8956	16179.49	0.008	20	20		778	10	1	33793.154	o	5.5	17613.66	e	4.5
617.9048	16179.24	0.010	40	33		-120	46	10	41700.222	e	5.5	25520.99	o	5.5
617.9427	16178.25	0.004	8	6		7128	25	1	39488.236	o	4.5	23309.98	e	5.5
618.0005	16176.74	0.001	4	5		770	2	1	42545.15	e	6.5	26368.41	o	5.5
618.4959	16163.78	0.002	25	18		780	4	2	38161.255	o	5.5	21997.47	e	5.5
619.0916	16148.23	0.014	11	10		-105	37	4	42596.49	e	2.5	26448.27	o	2.5
619.6605	16133.41	0.011	11	9		775	15	4	35682.251	o	3.5	19548.83	e	2.5
619.7109	16132.09	0.009	6	6		+155	93	10	39061.819	o	1.5	22929.72	e	2.5
620.3932	16114.35	0.024	9	7		7101	29	20	32856.613	o	2.5	16742.24	e	3.5
620.4452	16113.00	0.039	7	6		775	12	5	33726.7	o	4.5	17613.66	e	4.5
651.1389	15353.46	0.002	27	27		-118	51	40	34046.54	o	7.5	18693.07	e	7.5
651.9776	15333.71	0.002	18	23		+125	56	200	40989.73	o	1.5	25656.02	e	2.5
652.5646	15319.92	0.003	4	2		+95	37	5	34310.33	o	4.5	18990.41	e	5.5
653.0803	15307.82	0.011	15	19		-160	87	50	39089.533	o	5.5	23781.7	e	4.5
653.5445	15296.95	0.005	20	16		-125	46	20	39434.151	o	6.5	24137.2	e	6.5
654.1876	15281.91	0.006	7	7		795	0	3	38211.625	o	3.5	22929.72	e	2.5
654.3707	15277.64	0.056	4	4		-105	56	5h	42718.44	e	4.5	27440.86	o	4.5
655.1173	15260.23	0.038	42	42		-165	96	100	32217.195	o	4.5	16957.01	e	3.5
655.5479	15250.20	0.006	38	38		770	3	20	33943.282	o	6.5	18693.07	e	7.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm ⁻¹)	π_{alt}	J_{alt}
655.9511	15240.83	0.006	13	12	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+160	105	39658.852	o	2.5	24418.02	e	2.5
656.5510	15226.90	0.016	7	7			-110	47	42667.745	e	4.5	27440.86	o	4.5
656.6274	15225.13	0.007	323	323			?70	7	34691.802	o	5.5	19466.66	e	6.5
656.8613	15219.71	0.003	4	3			?85	22	38529.686	o	5.5	23309.98	e	5.5
657.0948	15214.30	0.010	5	5			?78	33	39563.003	o	5.5	24348.69	e	4.5
657.2822	15209.96	0.014	8	10			+190	90	39627.996	o	3.5	24418.02	e	2.5
657.8464	15196.92	0.002	6	7			?40	8	49562.54	e	4.5	34365.62	o	3.5
657.8634	15196.53	0.004	23	22			?90	12	36934.216	o	3.5	21737.69	e	4.5
657.9945	15193.50	0.027	10	12			+120	48	39542.165	o	3.5	24348.69	e	4.5
658.0957	15191.16	0.036	13	9			-110	51.4	46163.587	o	5.5	30972.46	e	5.5
658.1873	15189.05	0.011	4	4			?85	20	38499.016	o	4.5	23309.98	e	5.5
658.3676	15184.89	0.005	26	28			-140	56	39602.902	o	1.5	24418.02	e	2.5
658.9744	15170.91	0.010	13	13			?85	21	40128.384	e	5.5	24957.47	o	5.5
659.8131	15151.62	0.050	75	72			?80	10	37711.074	e	4.5	22559.5	o	5.5
660.3398	15139.54	0.007	9	9			?85	25	39488.236	o	4.5	24348.69	e	4.5
660.4950	15135.98	0.029	1459	1318			+140	60	32479.326	o	2.5	17343.37	e	3.5
660.5303	15135.17	0.018	10	11	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-105	39	42576.01	e	4.5	27440.86	o	4.5
660.7047	15131.17	0.006	4	5			+95	39	39479.873	o	5.5	24348.69	e	4.5
661.0107	15124.17	0.023	25	30			+135	52	39542.165	o	3.5	24418.02	e	2.5
661.0315	15123.69	0.036	106	141			?110	28	33961.044	o	3.5	18837.39	e	4.5
661.2340	15119.06	0.012	23	23			?90	18	33812.149	o	6.5	18693.07	e	7.5
661.5565	15111.69	0.012	21	16			-110	40	41469.44	e	6.5	26357.74	o	6.5
661.6789	15108.90	0.077	40	42			-110	37	37576.866	e	4.5	22468.05	o	5.5
661.9696	15102.26	0.001	11	11			?85	31	42543.119	e	3.5	27440.86	o	4.5
661.9820	15101.98	0.017	6	16			?90	22	23873.207	e	3.5	8771.243	o	2.5
662.1426	15098.32	0.023	97	97			-115	39	32441.714	o	4.5	17343.37	e	3.5
662.2620	15095.59	0.009	19	20			?100	37	39444.295	o	4.5	24348.69	e	4.5
662.5317	15089.45	0.010	23	23			?85	12	33943.282	o	6.5	18853.82	e	5.5
662.7235	15085.08	0.047	60	60			?100	32	41211.943	o	3.5	26126.91	e	2.5
663.5529	15066.23	0.007	122	108			?85	15	34532.898	o	5.5	19466.66	e	6.5
663.6084	15064.97	0.013	7	7			?75	4	39413.672	o	3.5	24348.69	e	4.5
663.7261	15062.30	0.041	61	61	karışık		?95	26	41189.162	o	3.5	26126.91	e	2.5
663.7263	15062.29	0.016	61	61	karışık		?95	26	43113.646	o	2.5	28051.37	e	2.5
663.7469	15061.82	0.000	4	3	karışık		?100	32	41430.237	e	5.5	26368.41	o	5.5
663.7469	15061.82	0.021	4	3	karışık		?100	42	34194.09	o	2.5	19132.25	e	1.5
664.1592	15052.47	0.003	23	25			+165	83	39470.489	o	2.5	24418.02	e	2.5
664.2560	15050.28	0.002	33	27			?70	1	40586.4	e	6.5	25536.12	o	7.5
664.4995	15044.76	0.001	17	19	karışık		?100	20	39462.782	o	3.5	24418.02	e	2.5
664.4995	15044.76	0.005	17	19	karışık		?100	20	41493.034	e	2.5	26448.27	o	2.5
665.0860	15031.50	0.044	132	132			?90	25	31773.78	o	2.5	16742.24	e	3.5
665.2677	15027.39	0.012	56	56			?100	29	32780.04	o	1.5	17752.63	e	2.5
665.7085	15017.44	0.032	58	62			?100	30	43357.7	e	4.5	28340.29	o	3.5
665.7713	15016.03	0.028	355	355			-145	60	32359.372	o	3.5	17343.37	e	3.5
665.8635	15013.95	0.012	145	174			+145	65	39362.651	o	5.5	24348.69	e	4.5
665.9030	15013.06	0.005	20	20			?90	25	37010.534	o	4.5	21997.47	e	5.5
666.3997	15001.87	0.014	16	19			+145	67	39419.9	o	1.5	24418.02	e	2.5
666.7023	14995.06	0.012	7	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?63	2	41352.806	e	5.5	26357.74	o	6.5
666.9927	14988.53	0.001	18	19	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-125	53	42429.385	e	5.5	27440.86	o	4.5
667.1768	14984.39	0.001	16	12			?75	20	41352.806	e	5.5	26368.41	o	5.5
667.2341	14983.11	0.006	82	82			?95	27	34449.774	o	6.5	19466.66	e	6.5
667.2682	14982.34	0.002	31	29			-110	37	40503.326	e	5.5	25520.99	o	5.5
667.8660	14968.93	0.012	26	39			+130	59	39386.959	o	2.5	24418.02	e	2.5
668.1344	14962.92	0.057	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?80	16	43303.151	e	3.5	28340.29	o	3.5
668.3402	14958.31	0.016	20	20	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?75	10	33812.149	o	6.5	18853.82	e	5.5
668.4539	14955.76	0.005	59	59			?83	25	33793.154	o	5.5	18837.39	e	4.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}
668.5838	14952.86	0.017	20	20	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100	33	33943.282	o	6.5	18990.41	e	5.5
668.5995	14952.51	0.003	10	12			-120	44	31694.749	o	3.5	16742.24	e	3.5
668.8239	14947.49	0.001	5	5			?80	26	41074.399	o	2.5	26126.91	e	2.5
669.2935	14937.00	0.011	230	208			?120	33	34069.26	o	0.5	19132.25	e	1.5
671.9209	14878.60	0.009	36	9	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?95	7	38751.812	o	2.5	23873.21	e	3.5
672.1352	14873.85	0.031	275	275			-220	140	32217.195	o	4.5	17343.37	e	3.5
672.3375	14869.38	0.025	9	9			?75	14	38751.812	o	2.5	23882.41	e	1.5
672.6338	14862.83	0.005	16	17			+220	131	40989.73	o	1.5	26126.91	e	2.5
672.8046	14859.06	0.014	30	35	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-150	62	39277.087	o	2.5	24418.02	e	2.5
674.2120	14828.04	0.018	20	20			+125	44	32441.714	o	4.5	17613.66	e	4.5
674.4993	14821.72	0.022	17	17			?90	6	33812.149	o	6.5	18990.41	e	5.5
675.4274	14801.35	0.001	19	19			-140	70	33638.74	o	5.5	18837.39	e	4.5
675.7954	14793.29	0.036	6	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-147	85	38128.37	e	2.5	23335.11	o	3.5
676.0059	14788.69	0.019	7	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?120	32	40533.825	o	3.5	25745.12	e	2.5
676.1451	14785.64	0.044	9	10			?95	30	38120.71	e	4.5	23335.11	o	3.5
676.1786	14784.91	0.005	6	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-115	49	33638.74	o	5.5	18853.82	e	5.5
676.7459	14772.52	0.065	39	39			?103	27	41211.943	o	3.5	26439.49	e	3.5
677.7916	14749.73	0.056	43	43			?90	21	41189.162	o	3.5	26439.49	e	3.5
677.9746	14745.75	0.032	2035	1869			?100	23	32359.372	o	3.5	17613.66	e	4.5
678.0446	14744.22	0.018	8	8	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?75	17	38318.62	e	1.5	23574.42	o	1.5
678.2006	14740.83	0.009	61	67			-160	80	39089.533	o	5.5	24348.69	e	4.5
678.3426	14737.74	0.002	22	22			?85	11	31694.749	o	3.5	16957.01	e	3.5
678.8502	14726.73	0.035	104	104			+130	61	32479.326	o	2.5	17752.63	e	2.5
679.4575	14713.56	0.002	30	26			?70	14	41751.03	e	2.5	27037.47	o	3.5
680.5228	14690.53	0.004	31	28			?75	3	41728.003	e	4.5	27037.47	o	3.5
681.7775	14663.49	0.019	14	14	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?85	13	38237.89	e	1.5	23574.42	o	1.5
682.0255	14658.16	0.001	111	120			+120	48	32112.98	o	7.5	17454.82	e	6.5
682.5899	14646.04	0.022	13	13	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?65	0	31388.303	o	4.5	16742.24	e	3.5
682.6083	14645.65	0.068	6	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+125	88	37980.69	e	2.5	23335.11	o	3.5
682.6953	14643.78	0.019	50	62			+172	96	39061.819	o	1.5	24418.02	e	2.5
682.9043	14639.30	0.006	7	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-115	52	42080.152	e	5.5	27440.86	o	4.5
683.1085	14634.92	0.017	62	62			?100	30	41074.399	o	2.5	26439.49	e	3.5
683.5501	14625.47	0.022	32	34			+115	45	31367.728	o	3.5	16742.24	e	3.5
683.5629	14625.20	0.009	4	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?115	56	40113.75	o	6.5	25488.55	e	5.5
684.3958	14607.40	0.001	13	12	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-110	41	40128.384	e	5.5	25520.99	o	5.5
684.4251	14606.77	0.035	1318	1203			-135	59	32359.372	o	3.5	17752.63	e	2.5
684.5751	14603.57	0.036	1075	1075			-130	57	32217.195	o	4.5	17613.66	e	4.5
685.1132	14592.10	0.001	6	5			+105	45	36329.786	o	5.5	21737.69	e	4.5
685.2226	14589.77	0.004	8	8			?105	28	37519.484	o	3.5	22929.72	e	2.5
685.3567	14586.92	0.020	4	3	yeni sınıflandırma		+94	43	48547.98	e	4.5	33961.04	o	3.5
685.4114	14585.75	0.054	52	50			-115	41	41074.399	o	2.5	26488.7	e	1.5
685.6877	14579.88	0.002	74	72			-125	57	34046.54	o	7.5	19466.66	e	6.5
686.5574	14561.41	0.009	8	8			?100	32	35682.251	o	3.5	21120.84	e	3.5
688.1121	14528.51	0.011	5	2			?80	4	38877.211	o	5.5	24348.69	e	4.5
689.1280	14507.09	0.033	5	3			?110	34	41544.59	e	2.5	27037.47	o	3.5
689.5939	14497.29	0.004	7	7			?70	2	31454.298	o	4.5	16957.01	e	3.5
689.7708	14493.57	0.038	14	16			-110	36	32107.268	o	5.5	17613.66	e	4.5
691.5841	14455.57	0.003	26	26			?95	4	41493.034	e	2.5	27037.47	o	3.5
692.3183	14440.24	0.021	14	12	karişik		+125	52	34194.09	o	2.5	19753.83	e	3.5
692.7484	14431.27	0.024	4	5			-95	32	31388.303	o	4.5	16957.01	e	3.5
692.7925	14430.36	0.050	5	5			-160	1	31773.78	o	2.5	17343.37	e	3.5
692.7945	14430.31	0.034	7	8	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?80	1	37221.455	o	3.5	22791.18	e	3.5
692.8661	14428.82	0.007	39	39	karişik		?89	11	41743.39	o	1.5	27314.56	e	0.5
692.8662	14428.82	0.035	39	39	karişik		?89	9	32181.49	o	1.5	17752.63	e	2.5
693.2138	14421.59	0.002	7	6			-145	60	39942.571	e	5.5	25520.99	o	5.5
693.7375	14410.70	0.023	95	102			?85	12	31367.728	o	3.5	16957.01	e	3.5

Tablo 4.1 (devam): Görünür bölgede Tm I olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	ΔW (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$\pi_{\text{üst}}$	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	π_{alt}	J_{alt}
694.1560	14402.01	0.004	7	6		?64	1	2	40101.72	e	4.5	25699.71	o	4.5
694.6156	14392.48	0.009	7	6		?65	13	2	38529.686	o	5.5	24137.2	e	6.5
695.4118	14376.00	0.040	5	5		?100	38	4	37711.074	e	4.5	23335.11	o	3.5
697.1799	14339.54	0.033	10	9		+103	41	10h	39547.31	e	2.5	25207.73	o	1.5
699.2800	14296.48	0.027	7	7		?85	24	8	39996.221	e	3.5	25699.71	o	4.5
699.4486	14293.03	0.038	15	18	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+125	50	37724.84	e	2.5	23431.84	o	2.5
699.7367	14287.15	0.004	14	12		?100	29	40	41728.003	e	4.5	27440.86	o	4.5

Açıklamalar: havadaki dalgaboyu, cm^{-1} biriminde vakumdaki dalgasayısı, $\Delta\sigma = \sigma_{\text{vakum}} - |E_{\text{üst}} - E_{\text{alt}}|$, Ar ile alınan spektrumda S/N oranı, Ne ile alınan spektrumda S/N oranı, çizgi tanımı, çizgiye ait yorumlar, spektral çizginin mK biriminde genişlik değeri ($1\text{mK} = 0.001\text{ cm}^{-1}$) - burada eğer çizgi simetrik değil de şiddet ile frekans azalan yönde dağılıma sahip ise “-” sembolü, artan yönde bir dağılıma sahip ise “+” sembolü, eğer net azalış artış olmayan simetrik bir yapı varsa “?” sembolü kullanılmıştır- aşırı ince yapı bileşenlerinin mK cinsinden genişlik değeri, literatürden alınan çizgi şiddet değeri [9, *: 20], üst enerji seviyesinin cm^{-1} cinsinden NIST veritabanından elde edilen değeri [NIST], üst seviyenin paritesi, üst seviyenin J kuantum sayısı, alt enerji seviyesinin cm^{-1} cinsinden NIST veritabanından elde edilen değeri, alt seviyenin paritesi, alt seviyenin J kuantum sayısı.

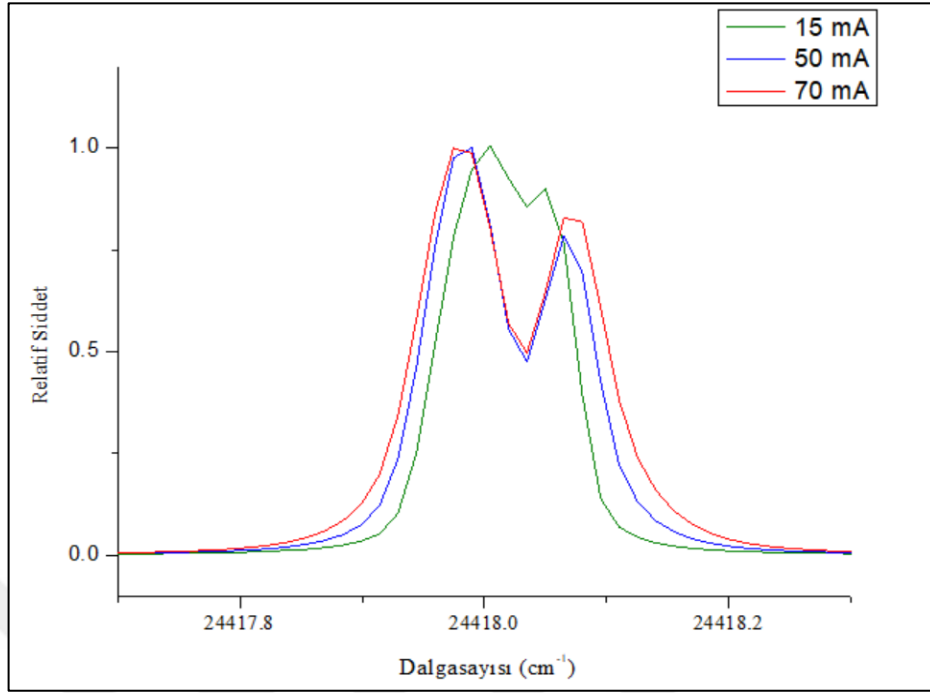
Sınıflandırma analizleri sırasında temel seviyeye olan ve çok şiddetli olan geçişlerde bariz bir şekilde “kendiliğinden soğurma olayı” gözlemlendi.

Kendiliğinden soğurma, uyarılmış atomlardan gelen radyasyonun, aynı örnekteki uyarılmamış atomlar tarafından emilmesidir.

Bir ışık kaynağındaki bir atomdan salınan bir foton, ortamdan kaçma fırsatı bulmadan önce, başka bir atom tarafından soğurulabilir. Bu foton, orijinal spektrumda başka bir alt enerji durumuna ışımalı bozunma veya soğuran atomun çarpışmalarından kaynaklanan tersine uyarma olarak katkı yapar. Emisyonun çizginin merkezinde olasılığının en yüksek olması gibi, soğurulmanın da olasılığı merkezde en yüksektir. Dolayısıyla, bu kaynak içerisinde yeniden soğurulma, spektrumun şiddetini çizginin merkezinde diğer yerlere oranla daha fazla düşürecektir ve çizginin şeklini değiştirip daha geniş olmasını sağlayacaktır.

Eğer kendiliğinden soğurma şiddetliyse ve kaynağın dış katmanı iç kısma göre daha zayıf bir şekilde uyarıldıysa, bu durumda spektral çizgide bir şiddet minimum noktası gelişir ve buna “kendiliğinden geri dönmüş” denir. Bazen, kendiliğinden geri dönmüş noktaları, (neredeyse) aynı şiddette birbirine yakın iki pikten ayırma zor olur.

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de kendiliğinden soğurmanın olduğu duruma bir örnek verildi. Şekil 4.1’de sınıflandırma programının $\lambda = 409.418\text{ nm}$ çizgisi için verilen önerileri görülmektedir.



Şekil 4.2: FT spektrumundan alınan “kendiliğinden soğurma” örneği.

Görünür bölgede Tm II olarak sınıflandırılan spektral çizgiler Tablo 4.2’de verildi. Bu tablodaki kolonların tanımları aynen Tablo 4.1’de olduğu gibidir. Tablo 4.2’nin şiddet kolonunda herhangi bir işaret verilmeden değer verilen geçişler referans [9]’da Tm I geçişi olarak belirtilmiş olup, sınıflandırması bu referansta yapılmamıştır. Bu çalışmada FT spektroskopisi ile elde edilen deneysel spektrumdan belirlenen bu geçişler için, sınıflandırma programında yapılan çizgi analizi sonucunda, Tm II önerisinin daha uygun olduğu belirlendi. Tabloda ‘*’ ile verilenler çizgiler; [20]’de Tm II olarak sınıflandırması yapılan geçişlerdir. ‘***’ ile gösterilenler ise [31]’de yine Tm II olarak sınıflandırılan geçişleri göstermektedir. Toplam 291 tane spektral çizgi Tm II geçişi olarak adlandırıldı. 242 tane geçişin alt ve üst enerji seviyeleri ilk kez bu çalışmada sınıflandırıldı.

Tablo 4.2: Görünür bölgede Tm II olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı		W (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	J_{alt}
400.4579	24964.36	0.046	17	14	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?125		62739.54	3	37775.23	4
400.9909	24931.17	0.044	22	21	yeni sınıflandırma		?125	6h	56066.86	5	31135.73	4
402.1383	24860.04	0.009	7	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90		51116.29	8	26256.26	7
403.1455	24797.93	0.024	15	11	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?140		53673.03	4	28875.12	5
403.1860	24795.44	0.004	10	5			?110	0.228*	33565.12	3	8769.68	2
403.4353	24780.12	0.060	49	42	yeni sınıflandırma		?130	30	56506.46	5	31726.4	5
403.4752	24777.67	0.001	5	3	yeni sınıflandırma		-160		49792.42	4	25014.75	5
403.7147	24762.97	0.050	11	5		yeni çizgi	-110		62538.25	3	37775.23	4
404.2109	24732.57		108	96			?135	300h				
404.7203	24701.45	0.005	4	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+165		53576.56	4	28875.12	5
404.8117	24695.87	0.069	13	14	yeni sınıflandırma		-153	40h	52791.11	6	28095.31	7
405.8921	24630.13	0.006	7	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100		47654.43	8	23024.29	8
405.9106	24629.01	0.009	5	2			-250	0.162*	33398.7	3	8769.68	2
406.3421	24602.86	0.038	74	38	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?163		53888.54	2	29285.72	2
407.2147	24550.14	0.031	11	10	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?145		53733.5	3	29183.39	4
407.8252	24513.39	0.008	11	3		karışık	?135		60658.68	6	36145.3	6
407.8252	24513.39	0.002	11	3	yeni sınıflandırma	karışık	?135		62429.50	2	37916.11	1
408.2203	24489.66	0.023	4	3		yeni çizgi	?125		53673.03	4	29183.39	4
409.0292	24441.23	0.002	10	5			+155	0.343*	33398.7	3	8957.47	3
409.1488	24434.09	0.009	8	4			+240	0.355*	33391.55	4	8957.47	3
410.0612	24379.72	0.005	7	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-208		43998.81	6	19619.08	7
410.3714	24361.30	0.003	7	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?105		50617.56	6	26256.26	7
410.5014	24353.58	0.080	2	5	yeni sınıflandırma		+178	5	56642.72	6	32289.22	6
412.7320	24221.96	0.016	4	2	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?135		41846.63	3	17624.65	2
413.2692	24190.48	0.000	70	39	yeni sınıflandırma		?100	120**	43717.3	7	19526.82	6
413.8497	24156.55	0.040	30	24	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?105		62739.54	3	38582.95	3
414.0601	24144.27	0.014	34	33			?110	70h	62113.1	7	37968.84	6
415.3442	24069.63	0.029	16	16	yeni sınıflandırma		?127	20h	59297.28	4	35227.68	5
415.8444	24040.68	0.008	5	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?180		45648.93	4	21608.26	3
415.9544	24034.32	0.007	45	27	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?105		43717.3	7	19682.97	8
416.4574	24005.29	0.033	6	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?75		47808.54	5	23803.28	4
417.2174	23961.57	0.017	9	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90		52056.86	6	28095.31	7
417.9180	23921.40	0.014	5	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?135		55758.31	7	31836.9	7
418.5816	23883.47	0.094	5	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?120		48898.13	6	25014.75	5
418.6301	23880.71	0.013	5	2	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90		51583.14	4	27702.42	3
419.9917	23803.29	0.005	282	234	yeni sınıflandırma		+245	520**	23803.28	4	0	4
420.1139	23796.37	0.005	5	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?105		50274.65	5	26478.28	4.5
420.6002	23768.85	0.009	130	92	yeni sınıflandırma		+235	220**	23768.84	5	0	4
420.6443	23766.36	0.030	16	14	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+175		53733.5	3	29967.17	2

Tablo 4.2 (devam): Görünür bölgede Tm II olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı		W (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	J_{alt}
421.1948	23735.30	0.047	14	11	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?80		54419.68	4	30684.43	3
421.2786	23730.57	0.005	8	4			-145	0.363*	32500.26	2	8769.68	2
421.2891	23729.99	0.006	4	2	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100		45338.24	3	21608.26	3
422.3499	23670.38	0.006	4	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?140		43899.14	5	20228.75	5
422.4057	23667.26	0.011	15	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?105		43896.02	5	20228.75	5
422.6726	23652.31	0.008	32	72	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?155		61745.85	5	38093.53	4
422.8554	23642.09	0.024	7	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90		49140.88	2	25498.77	2
423.6932	23595.34	0.011	21	13	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+205		47654.43	8	24059.08	8
424.2146	23566.34	0.007	2125	1741			?135	3000**	23803.28	4	236.95	3
424.6388	23542.80	0.010	14	8			+220	0.707*	32500.26	2	8957.47	3
425.0353	23520.84	0.014	59	45	yeni sınıflandırma		?330		57919.15	3	34398.3	3
425.2417	23509.42	0.000	4	2	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?120		49765.68	7	26256.26	7
426.2487	23453.88	0.060	13	12			?100	10h	61295.19	2	37841.25	2
427.6002	23379.75	0.010	4	2	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100		43998.81	6	20619.05	5
427.6650	23376.21	0.029	6	2	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?130		62538.25	3	39162.07	4
428.0368	23355.90	0.075	5	3	yeni sınıflandırma		?110	3	56506.46	5	33150.48	6
429.1394	23295.90	0.027	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?125		53673.03	4	30377.16	4
429.2963	23287.38	0.015	5	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?115		49765.68	7	26478.28	4.5
430.4536	23224.78	0.037	7	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?110		53733.5	3	30508.76	4
431.2522	23181.77	0.026	4	2	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?200		52056.86	6	28875.12	5
431.5548	23165.51	0.012	27	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90		61703.46	6	38537.96	6
431.7394	23155.61	0.071	4	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+171		58383.36		35227.68	5
433.0067	23087.84	0.071	8	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+195		61449.15	4	38361.24	4
433.4078	23066.47	0.014	5	2	yeni sınıflandırma		?90		43295.21	4	20228.75	5
433.7342	23049.11	0.043	4	2	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?160		53733.5	3	30684.43	3
434.5829	23004.10	0.061	5	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?79		46807.32	5	23803.28	4
434.8758	22988.61	0.011	4	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?85		53673.03	4	30684.43	3
434.9584	22984.24	0.042	4	1	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?140		62538.25	3	39554.05	3
436.3656	22910.13	0.003	23	13			+235	1.66*	39477.6	6	16567.47	5
436.6964	22892.77	0.041	6	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90		53733.5	3	30840.77	4
436.7883	22887.95	0.003	22	14			-170	2.38*	42570.92	8	19682.97	8
437.6470	22843.05	0.084	5	3			?130	4	52026.52	5	29183.39	4
437.6949	22840.55	0.077	5	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?140		56506.46	5	33665.99	4
437.8532	22832.29	0.027	8	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?135		53673.03	4	30840.77	4
438.0530	22821.87	0.017	11	11	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?105		55972.37	6	33150.48	6
438.1114	22818.83	0.009	10	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?125		43840.82	5	21021.98	5

Tablo 4.2 (devam): Görünür bölgede Tm II olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı		W (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	J_{alt}
439.4478	22749.44	0.001	9	11	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?135		59297.28	4	36547.84	4
441.5051	22643.44	0.026	8	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90		53733.5	3	31090.09	2
443.4145	22545.93	0.030	10	9	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?105		58379.52	3	35833.62	2
443.7387	22529.46	0.028	10	7	yeni sınıflandırma		?110	55	44838.25	4	22308.82	4
445.8344	22423.56	0.038	7	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi			61449.15	4	39025.63	4
448.1271	22308.84	0.018	854	666	yeni sınıflandırma		?95	540**	22308.82	4	0	4
448.5640	22287.11	0.031	7	7			?90	5	61449.15	4	39162.07	4
448.9696	22266.98	0.045	32	20			-175	0.556*	31036.61		8769.68	2
450.3604	22198.21	0.077	7	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?95		59067.28	4	36868.99	3
450.5533	22188.71	0.003	14	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?115		57961.53	6	35772.82	5
451.0864	22162.48	0.024	5	9	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90		60745.41	4	38582.95	3
451.0999	22161.82	0.036	3	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90		60255.39	5	38093.53	4
451.1033	22161.66	0.025	2	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90		53002.4	4	30840.77	4
451.5169	22141.36	0.003	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?120		51116.29	8	28974.93	7
451.9440	22120.43	0.010	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?118		54710.56	6	32590.14	7
452.2567	22105.14	0.036	349	243			?100		42570.92	8	20465.82	9
452.9396	22071.81	0.059	135	109	yeni sınıflandırma		?90	180**	22308.82	4	236.95	3
454.6652	21988.04	0.029	17	17	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?110		53733.5	3	31745.49	3
455.5228	21946.65	0.017	5	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?115		53673.03	4	31726.4	5
455.5276	21946.41	0.008	14	8	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+160		43998.81	6	22052.39	7
455.6676	21939.67	0.010	8	4	yeni sınıflandırma		-145	40**	48195.94	6	26256.26	7
455.7903	21933.77	0.034	6	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?77		62439.68	3	40505.88	2
455.9031	21928.34	0.012	5	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?120		44237.17	4	22308.82	4
456.0845	21919.62	0.011	6	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?135		49174.05	3	27254.42	4
456.1856	21914.76	0.008	8	5			-160	0.288*	30684.43	3	8769.68	2
456.7010	21890.03	0.002	5	2	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?170		39514.68	2	17624.65	2
456.7119	21889.51	0.005	16	13			?180	0.923*	39863.81	5	17974.3	4
456.9260	21879.25	0.012	8	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?95		49174.05	3	27294.79	2
459.7204	21746.26	0.049	17	14	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+185		53673.03	4	31926.82	5
460.7894	21695.81	0.011	6	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100		52056.86	6	30361.06	6
461.3204	21670.84	0.042	6	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-175		47927.14	6	26256.26	7
461.4468	21664.90	0.010	34	20	yeni sınıflandırma		?95	40**	43717.3	7	22052.39	7
461.5939	21658.00	0.006	336	227			?95	10.8*	38225.46	6	16567.47	5
461.7765	21649.43	0.073	8	8	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+150		52026.52	5	30377.16	4
461.9058	21643.37	0.005	20	11	yeni sınıflandırma		-175	35**	43998.81	6	22355.43	6
462.6271	21609.63	0.009	8	8	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?75		57741.72	4	36132.08	3
462.6323	21609.38	0.005	82	55	yeni sınıflandırma		?85	80**	43217.64	4	21608.26	3

Tablo 4.2 (devam): Görünür bölgede Tm II olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı		W (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	J_{alt}
462.6560	21608.28	0.019	95	60	yeni sınıflandırma		+260	95**	21608.26	3	0	4
463.2304	21581.49	0.016	10	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?108		43295.21	4	21713.74	3
463.4249	21572.43	0.010	104	76			?95	4.41*	39863.81	5	18291.37	4
464.2953	21531.99	0.013	16	10	yeni sınıflandırma		+180	40**	43840.82	5	22308.82	4
464.3688	21528.58	0.021	14	14	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?105		54710.56	6	33182	7
465.3023	21485.39	0.001	12	8	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?115		43840.82	5	22355.43	6
465.7098	21466.59	0.029	21	21	yeni sınıflandırma		?100	2	61295.19	2	39828.63	2
467.1995	21398.14	0.028	6	3	yeni sınıflandırma		-128	35**	47654.43	8	26256.26	7
467.7860	21371.31	0.004	61	42	yeni sınıflandırma	karışık	?85	40**	57919.15	3	36547.84	4
467.7862	21371.31	0.005	61	42	yeni sınıflandırma	karışık	?85	40	21608.26	3	236.95	3
469.2080	21306.55	0.016	8	8	yeni sınıflandırma		-140	3	60503.23	3	39196.7	2
470.5415	21246.17	0.043	78	78	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?105		59607.45	5	38361.24	4
471.1731	21217.69	0.024	26	26	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?125		47927.14	6	26709.43	6
471.8841	21185.72	0.033	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?155		52026.52	5	30840.77	4
472.6051	21153.40	0.057	5	2	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-135		57547.98	3	36394.64	2
474.7933	21055.91	0.017	4	4	yeni sınıflandırma		+135	2	45987.89	5	24932	4
475.0756	21043.39	0.026	10	6			?110	4.16*	47299.68	7	26256.26	7
478.1304	20908.95	0.040	13	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+155		38533.56	1	17624.65	2
478.7985	20879.78	0.005	7	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90		49147.65	4	28267.88	3
478.9925	20871.32	0.010	34	21	yeni sınıflandırma		?145	27**	49147.65	4	28276.32	5
479.7650	20837.71	0.013	6	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?95		43295.21	4	22457.51	4
480.1414	20821.38	0.002	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?82		53738.88	7	32917.5	6
481.8431	20747.85	0.045	10	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?155		56714.21	4	35966.41	4
482.6982	20711.09	0.001	39	24	yeni sınıflandırma		?85	27**	48807.26	5	28096.17	6
483.1199	20693.01	0.003	185	119	yeni sınıflandırma		?115	80**	43717.3	7	23024.29	8
483.1916	20689.94	0.015	54	54	yeni sınıflandırma		?95	20	60658.68	6	39968.72	5
484.7304	20624.26	0.028	3	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	????		61790.65	4	41166.36	4
485.1896	20604.74	0.009	10	5	yeni sınıflandırma		?75		47614.14	5	27009.39	4
486.3414	20555.95	0.027	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?60		43115.42	4.5	22559.502	5.5
486.9337	20530.94	0.001	10	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?115		48807.26	5	28276.32	5
487.2283	20518.53	0.001	20	15			?120	1.55*	42570.92	8	22052.39	7
487.6417	20501.13	0.036	4	2	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?105		41634.85	5	21133.68	6

Tablo 4.2 (devam): Görünür bölgede Tm II olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı		W (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm ⁻¹)	J_{alt}
488.0997	20481.90	0.033	20	20	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+185		58742.98	3	38261.05	3
490.3628	20387.37	0.008	6	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?120		53304.88	7	32917.5	6
490.4084	20385.48	0.104	15	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?95		56351.99	4	35966.41	4
491.0289	20359.72	0.005	4	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100		47614.14	5	27254.42	4
491.3659	20345.75	0.016	11	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+140		48048.19	4	27702.42	3
491.4570	20341.98	0.030	6	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100		53733.5	3	33391.55	4
492.4486	20301.02	0.030	3	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100		59815.73	3	39514.68	2
492.4707	20300.11	0.012	10	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100		52026.52	5	31726.4	5
493.8885	20241.83	0.006	6	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+150		50926.27	3	30684.43	3
493.9143	20240.78	0.059	17	17	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?145		51081.49	5	30840.77	4
494.1771	20230.02	0.045	47	35	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-165		43998.81	6	23768.84	5
494.4228	20219.96	0.001	21	10	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-135		52056.86	6	31836.9	7
495.4879	20176.50	0.005	11	8			?105	2.4*	45191.25	5	25014.75	5
495.7289	20166.69	0.088	8	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?95		52003.5	8	31836.9	7
495.8521	20161.68	0.003	6	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-150		60004.92	4	39843.24	4
496.5611	20132.89	0.000	12	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?200		41846.63	3	21713.74	3
497.0867	20111.60	0.013	70	44			?90	2.32*	39638.41	7	19526.82	6
497.3274	20101.87	0.062	10	10	yeni sınıflandırma		?85	2	57253.02	3	37151.09	2
497.3813	20099.69	0.009	5	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100		52026.52	5	31926.82	5
497.5128	20094.38	0.001	97	55	yeni sınıflandırma		?80	40**	43998.81	6	23904.43	6
497.8512	20080.72	0.000	6	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+160		45338.24	3	25257.52	3
498.9241	20037.54	0.001	10	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?130		43840.82	5	23803.28	4
498.9321	20037.22	0.007	144	82	yeni sınıflandırma		?90	55**	43998.81	6	23961.6	7
499.3800	20019.25	0.084	22	14			?80	1.47*	39638.41	7	19619.08	7
499.4716	20015.57	0.003	18	11	yeni sınıflandırma		-165	19**	47614.14	5	27598.57	6
499.9642	19995.85	0.016	7	7			?110	3	59889.74	4	39893.87	3
500.0943	19990.65	0.013	7	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?120		58351.88	4	38361.24	4
500.7554	19964.26	0.001	16	10	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90		49147.65	4	29183.39	
500.9767	19955.44	0.004	250	154			?100	10.8*	39638.41	7	19682.97	8
501.0958	19950.70	0.080	10	7			?80	0.803*	39477.6	6	19526.82	6
501.4554	19936.39	0.003	57	40	yeni sınıflandırma		+160	35**	43840.82	5	23904.43	6
501.7872	19923.21	0.009	86	45	yeni sınıflandırma		?90	27**	48898.13	6	28974.93	7
501.8305	19921.49	0.069	3	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?70		56066.86	5	36145.3	6
501.8439	19920.96	0.061	15	15	yeni sınıflandırma		?110	5	59889.74	4	39968.72	5
503.4220	19858.51	0.007	282	189			?100	13.4*	39477.6	6	19619.08	7

Tablo 4.2 (devam): Görünür bölgede Tm II olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı		W (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	J_{alt}
503.4671	19856.73	0.006	9	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?110		51583.14	4	31726.4	5
503.7189	19846.81	0.007	3	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?80		53411.92	2	33565.12	3
503.7657	19844.96	0.064	5	11	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-160		61356.54	5	41511.64	5
503.9052	19839.47	0.002	19	12	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90		45338.24	3	25498.77	2
504.1007	19831.78	0.024	22	14	yeni sınıflandırma		+175	27w**	53013.8	6	33182.00	7
504.3129	19823.43	0.067	11	13	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?110		44838.25	4	25014.75	5
504.9244	19799.42	0.004	6	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90		45987.89	5	26188.47	5
504.9628	19797.92	0.011	9	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?80		46807.32	5	27009.39	4
505.1510	19790.54	0.003	11	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100		50926.27	3	31135.73	4
505.4618	19778.37	0.004	15	15	yeni sınıflandırma		?110	3	55758.31	7	35979.94	6
505.7365	19767.63	0.010	13	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?120		52056.86	6	32289.22	6
506.0418	19755.71	0.005	55	43	yeni sınıflandırma		-125	27**	43717.3	7	23961.6	7
506.3856	19742.29	0.071	7	9	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-135		58742.98	3	39000.76	2
506.5145	19737.27	0.030	20	11	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90		52026.52	5	32289.22	6
507.4451	19701.07	0.037	3	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?60		47299.68	7	27598.57	6
508.2746	19668.92	0.011	5	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+105		45648.93	4	25980.02	3
508.5518	19658.20	0.020	6	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-145		43717.3	7	24059.08	8
511.2904	19552.91	0.008	7	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?95		46807.32	5	27254.42	4
511.4550	19546.61	0.015	45	32			-150	4.46*	42570.92	8	23024.29	8
512.6367	19501.56	0.048	16	8	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?70		62796.72	4	43295.21	4
512.8080	19495.04	0.004	12	8			?145	2.78*	45191.25	5	25696.21	4
514.0271	19448.81	0.008	35	25	yeni sınıflandırma		?100	22**	43217.64	4	23768.84	5
514.9391	19414.36	0.003	58	44	yeni sınıflandırma		?100	40**	43217.64	4	23803.28	4
516.6811	19348.91	0.018	16	8	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100		52499.37	5	33150.48	6
518.5691	19278.46	0.004	8	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100		45987.89	5	26709.43	6
519.4767	19244.78	0.022	5	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+150		39863.81	5	20619.05	5
520.4521	19208.72	0.035	18	9	yeni sınıflandırma		-170	14**	46807.32	5	27598.57	6
523.1964	19107.96	0.028	5	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?105		49792.42	4	30684.43	3
524.1204	19074.28	0.006	10	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?75		45648.93	4	26574.66	4
526.0922	19002.79	0.006	14	10			?80	2.81*	45191.25	5	26188.47	5

Tablo 4.2 (devam): Görünür bölgede Tm II olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı		W (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	J_{alt}
526.6111	18984.06	0.001	8	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?80		43998.81	6	25014.75	5
526.7338	18979.64	0.011	44	26	yeni sınıflandırma		?95	24**	44237.17	4	25257.52	3
526.9440	18972.07	0.002	7	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?70		53738.88	7	34766.81	8
530.3822	18849.08	0.027	4	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?160		58742.98	3	39893.87	3
530.5451	18843.30	0.004	3	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?75		53150.82	3	34307.52	4
530.5867	18841.82	0.011	135	102			?90	5.52*	39863.81	5	21021.98	5
532.2994	18781.19	0.035	44	29	yeni sınıflandırma		+195	16**	45648.93	4	26867.70	5
532.6029	18770.49	0.003	11	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-140		49147.65	4	30377.16	4
532.7989	18763.59	0.007	8	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	140		45338.24	3	26574.66	4
532.9163	18759.45	0.016	5	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?110		45338.24	3	26578.77	3
533.4973	18739.02	0.005	6	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90		47614.14	5	28875.12	5
533.9473	18723.23	0.008	13	13	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100		60911.2	5	42187.96	5
534.2412	18712.93	0.038	10	8			-135	3.54*	45191.25	5	26478.28	6
534.2923	18711.14	0.008	4	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100		46807.32	5	28096.17	6
534.5728	18701.32	0.004	4	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?75		53896.44	6	35195.12	7
534.6491	18698.66	0.015	172	119			?100	6.3*	38225.46	6	19526.82	6
534.7263	18695.96	0.004	5	2	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?95		52361.95	3	33665.99	4
535.8518	18656.69	0.003	5	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-105		49792.42	4	31135.73	4
536.1008	18648.02	0.058	13	12	yeni sınıflandırma		+142	4	59607.45	5	40959.37	4
537.2977	18606.48	0.102	31	22			-245	27**	38225.46	6	19619.08	7
537.3026	18606.31	0.067	35	24			?83	2.01*	38225.46	6	19619.08	7
537.8698	18586.69	0.069	8	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-175		51176.9	7	32590.14	7
539.1962	18540.97	0.009	39	24	yeni sınıflandırma		?100	14**	44237.17	4	25696.21	4
539.2802	18538.08	0.011	4	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90		53304.88	7	34766.81	8
539.3093	18537.08	0.010	5	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-140		48898.13	6	30361.06	6
540.0447	18511.84	0.001	21	17			-205	2.25*	42570.92	8	24059.08	8
540.3352	18501.89	0.026	6	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?95		40959.37	4	22457.51	4
540.9220	18481.82	0.005	16	12			?95	2.99*	45191.25	5	26709.43	6
541.6898	18455.62	0.001	10	5			?90	0.401*	39477.6	6	21021.98	5
544.1789	18371.20	0.007	5	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+130		53494.12	3	35122.91	4
544.3970	18363.84	0.077	7	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+150		40505.88	2	22141.96	1
544.4942	18360.57	0.035	4	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?95		52026.52	5	33665.99	4
545.0540	18341.71	0.022	5	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-140		52499.37	5	34157.64	5
546.5544	18291.36	0.013	38	22	yeni sınıflandırma		+215	14**	18291.37	4	0	4
547.5788	18257.14	0.012	7	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?110		44237.17	4	25980.02	3
549.0131	18209.44	0.018	11	8	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?125		62108.6	4	43899.14	5

Tablo 4.2 (devam): Görünür bölgede Tm II olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm ⁻¹)	J_{alt}
552.6823	18088.55	0.007	5	3	yeni sınıflandırma	?125	14**	53002.4	4	34913.84	3
553.7276	18054.41	0.014	11	7	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-160	18291.37	4	236.95	3
553.9024	18048.71	0.009	27	16	yeni sınıflandırma	?90	14**	44237.17	4	26188.47	5
556.2787	17971.61	0.000	15		yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?95	38200.36	5	20228.75	5
557.4360	17934.30	0.009	7	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?75	51116.29	8	33182	7
557.5010	17932.21	0.008	11	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?125	46807.32	5	28875.12	5
558.0568	17914.35	0.012	10	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100	40056.32	2	22141.96	1
558.6626	17894.92	0.073	17	15	yeni sınıflandırma	?140	14**	52661.66	7	34766.81	8
560.0451	17850.75	0.009	15	9	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?135	48048.19	4	30197.45	5
563.5391	17740.07	0.017	12	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?115	37968.84	6	20228.75	5
565.6092	17675.15	0.044	5	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?80	52255.94	4	34580.75	5
565.7395	17671.08	0.045	5	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+170	48048.19	4	30377.16	4
568.4755	17586.03	0.008	129	86	yeni sınıflandırma	?100	4.97*	39638.41	7	22052.39	7
569.1207	17566.09	0.011	8	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?75	47927.14	6	30361.06	6
569.2626	17561.71	0.018	6	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?100	51227.72	4	33665.99	4
569.4265	17556.66	0.053	5	4	yeni sınıflandırma	?105	1	55138.18	3	37581.47	4
569.6423	17550.01	0.004	9	6	yeni sınıflandırma	?85	14**	61449.15	4	43899.14	5
570.1015	17535.87	0.039	56	48	yeni sınıflandırma	?80	7	39514.68	2	21978.77	2
570.6034	17520.45	0.084	8	8	yeni sınıflandırma	+130	2	43998.81	6	26478.28	6
570.9968	17508.38	0.005	89	69		?90	4.42*	39863.81	5	22355.43	6
572.3465	17467.09	0.009	22	13	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+130	50617.56	6	33150.48	6
573.3814	17435.56	0.002	10	5	yeni sınıflandırma	?90	14**	50617.56	6	33182	7
573.7225	17425.20	0.014	10	5		???	0.73*	39477.60	6	22052.39	7
574.0031	17416.68	0.013	7	5	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-135	47614.14	5	30197.45	5
574.4824	17402.15	0.014	31	23	yeni sınıflandırma	?80	20	49147.65	4	31745.49	3
577.8819	17299.78	0.004	4	3	yeni sınıflandırma	?90	5	47808.54	5	30508.76	4
578.2289	17289.39	0.014	7	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+135	43998.81	6	26709.43	6
578.2364	17289.17	0.020	25	15		?115	0.575*	34913.84	3	17624.65	2
578.4403	17283.08	0.096	6	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?60	39638.41	7	22355.43	6
579.6258	17247.73	0.077	31	28	yeni sınıflandırma	?105	10	49147.65	4	31900	4
579.9497	17238.09	0.005	4	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?77	50274.65	5	33036.56	5
579.9845	17237.06	0.080	77	69	yeni sınıflandırma	yeni çizgi karışık	?100	47614.14	5	30377.16	4
579.9970	17236.69	0.001	4	2	yeni sınıflandırma	?100	11	52003.5	8	34766.81	8

Tablo 4.2 (devam): Görünür bölgede Tm II olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı		W (mK)	I	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$J_{\text{üst}}$	E_{alt} (cm^{-1})	J_{alt}
583.8762	17122.17	0.001	82	57			?85	3.5*	39477.6	6	22355.43	6
587.3406	17021.18	0.018	4	2	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?90		40545.25	3	23524.09	4
588.4525	16989.02	0.044	10	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	+115		58500.7	6	41511.64	5
589.0038	16973.12	0.005	5	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?115		43840.82	5	26867.7	5
591.1159	16912.47	0.009	5	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?110		48048.19	4	31135.73	4
601.8858	16609.85	0.023	7	3	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-150		46807.32	5	30197.45	5
615.4451	16243.91	0.073	4	8	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?80		37957.72	3	21713.74	3
616.2170	16223.56	0.030	3	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?115		54317.06	5	38093.53	4
618.1405	16173.08	0.006	56	38			?75	1.7**	38225.46	6	22052.39	7
619.1717	16146.14	0.079	16	17	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?95		55138.18	3	38991.96	3
672.0527	14875.68	0.031	3	4	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	-145		56042.07	3	41166.36	4
678.1295	14742.38	0.007	7	6	yeni sınıflandırma	yeni çizgi	?70		43717.3	7	28974.93	7
682.9125	14639.12	0.016	6	4	yeni sınıflandırma		?65	14**	35772.82	5	21133.68	6

Açıklamalar: havadaki dalga boyu, cm^{-1} biriminde vakumdaki dalga sayısı, $\Delta\sigma = \sigma_{\text{vakum}} - |E_{\text{üst}} - E_{\text{alt}}|$, Ar ile alınan spektrumda S/N oranı, Ne ile alınan spektrumda S/N oranı, çizgi tanımı, çizgiye ait yorumlar, spektral çizginin mK biriminde genişlik değeri ($1\text{mK} = 0.001 \text{ cm}^{-1}$) - burada eğer çizgi simetrik değil de şiddet ile frekans azalan yönde dağılıma sahip ise “-” sembolü, artan yönde bir dağılıma sahip ise “+” sembolü, eğer net azalış artış olmayan simetrik bir yapı varsa “?” sembolü kullanılmıştır- literatürden alınan çizgi şiddet değeri [9, *: 20], üst enerji seviyesinin cm^{-1} cinsinden NIST veritabanından elde edilen değeri [31], üst seviyenin J kuantum sayısı, alt enerji seviyesinin cm^{-1} cinsinden NIST veritabanından elde edilen değeri, alt seviyenin J kuantum sayısı.

Tablo 4.3’de “Tm I veya Tm II” olarak isimlendirilen çizgilerin listesi verildi. Daha öncede belirtildiği gibi bu çizgiler, metal çizgisi olduğu kesinlik kazanan ancak sınıflandırılmayan çizgilerdir.

Tablo 4.3’te sınıflandırması yapılmaksızın şiddetleri bulunan ve referans [9]’da Tm I geçişi olarak verilen spektral geçişlerin yapılan çizgi analizi sonucunda Tm I önerisine uymadığı belirlendi. Bu nedenle bu çizgiler Tablo 4.3’e dahil edildi.

Tablo 4.3: Görünür bölgede Tm I ve Tm II olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	I
400.4715	24963.51	3	4		?120	4h
400.6619	24951.64	4	4	yeni çizgi	?105	
400.6746	24950.85	5	4	yeni çizgi	?120	
401.1800	24919.42	13	13		?105	20
401.5223	24898.18	11	6	yeni çizgi	?115	
401.9596	24871.09	34	30	yeni çizgi	?105	
401.9907	24869.17	49	44	yeni çizgi	-140	
402.0325	24866.58	3	3		+130	4h
402.3549	24846.66	5	5		-160	
402.4733	24839.35	4	3		?80	5
402.7280	24823.64	5	5	yeni çizgi	?105	
402.9416	24810.48	12	14	yeni çizgi	?85	
403.3188	24787.28	4	4		?100	4
403.7073	24763.42	4	4		?105	
403.9455	24748.82	5	4	yeni çizgi	?110	
403.9967	24745.69	266	182		-185	80
404.3353	24724.97	4	4	yeni çizgi	+135	
404.5810	24709.95	5	3	yeni çizgi	?85	
405.7165	24640.79	10	7		-150	4
406.2716	24607.13	27	25	yeni çizgi	?135	
406.4310	24597.47	6	4	yeni çizgi	?85	
406.9912	24563.62	4	4	yeni çizgi	?130	
407.1111	24556.38	3	3	yeni çizgi	?95	
407.7324	24518.97	6	5	yeni çizgi	?135	
407.7360	24518.75	7	8	yeni çizgi	?115	
408.4834	24473.89	3	3		?120	4
408.1409	24494.42	53	53		?108	40h
408.5358	24470.36	9	7		?125	10
408.6430	24464.33	66	30	yeni çizgi	?150	
408.8073	24454.50	13	13	yeni çizgi	?120	
409.2364	24428.86	7	6		-160	5
410.0166	24382.37	14	14		?125	10
410.1470	24374.62	5	5		-160	10h
410.2368	24369.29	10	12	yeni çizgi	?110	
411.4132	24299.61	45	43		+190	100h
411.4430	24297.85	6	4	yeni çizgi	+200	
411.5854	24289.44	11	10	yeni çizgi	+180	
412.4661	24237.58	7	6		+170	10h
412.8298	24216.23	8	10	yeni çizgi	?100	
412.9077	24211.66	3	3	yeni çizgi	-185	
412.9527	24209.02	11	7		+165	20
413.5468	24174.24	5	3		?120	6h
413.6204	24169.94	19	20		+220	30h
413.6370	24168.97	10	9		?110	9h
413.8018	24159.34	46	43		+155	100h
413.8046	24159.18	5	4	yeni çizgi	?105	
414.1093	24141.40	4	4		?90	3
414.2834	24131.26	5	6	yeni çizgi	?105	

Tablo 4.3 (devam): Görünür bölgede Tm I ve Tm II olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	I
414.4895	24119.26	3	3	yeni çizgi	?75	
414.7174	24106.01	6	4		?150	10
414.8226	24099.89	7	7		?140	10h
414.8897	24096.00	7	9		?105	5h
414.9133	24094.63	6	5		?100	
415.1116	24083.12	5	4		?80	2
415.4155	24065.50	84	84		?110	300h
416.2651	24016.38	5	5	yeni çizgi	?130	
416.4331	24006.69	4	4	yeni çizgi	?120	
417.1066	23967.93	9	9	yeni çizgi	?125	
417.9596	23919.02	4	3	yeni çizgi	?150	
418.6537	23879.36	3	3	yeni çizgi	?185	
418.6639	23878.78	3	3	yeni çizgi	?75	
418.7313	23874.93	5	5	yeni çizgi	?270	
419.5620	23827.66	6	4	yeni çizgi	?165	
419.6232	23824.19	4	4	yeni çizgi	-145	
419.8984	23808.58	3	3	yeni çizgi	?90	
420.6551	23765.75	6	6	yeni çizgi	?95	
420.7297	23761.53	7	7	yeni çizgi	?80	
421.2586	23731.70	4	4		?80	10
421.5629	23714.57	14	10		?90	10h
421.6025	23712.34	11	6	yeni çizgi	?110	
422.5636	23658.41	8	8		?90	10
423.3880	23612.35	74	40	yeni çizgi	?165	
423.7237	23593.64	330	7		?145	10h
424.2036	23566.95	12	11	yeni çizgi	?125	
424.3324	23559.80	23	17		-165	10
424.5931	23545.33	7	7	yeni çizgi	?80	
425.3625	23502.74	4	4	yeni çizgi	?105	
425.4334	23498.83	3	3		?80	6
425.5282	23493.59	16	15		?105	15
425.9187	23742.05	3	3	yeni çizgi	?105	
426.6802	23430.16	3	3	yeni çizgi	?75	
426.7728	23425.08	7	3	yeni çizgi	?145	
427.0194	23411.55	7	3		?85	2h
427.1770	23402.91	10	10	yeni çizgi	?125	
427.7865	23369.57	5	3	yeni çizgi	?170	
428.0254	23356.53	5	5	yeni çizgi	?140	
428.4471	23333.54	3	3	yeni çizgi	?125	
428.6899	23320.32	16	16	yeni çizgi	?150	
428.7243	23318.45	5	5	yeni çizgi	?95	
428.8648	23310.81	16	11		?105	20
429.0126	23302.78	14	14		?140	20h
429.3042	23286.95	3	3	yeni çizgi	?65	
429.6059	23270.60	4	4		?130	4h
429.9473	23252.12	5	5		?100	4
430.2020	23238.36	3	3		?85	3
430.2367	23236.48	4	3	yeni çizgi	?190	
430.6784	23212.65	4	3		?110	10

Tablo 4.3 (devam): Görünür bölgede Tm I ve Tm II olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	I
430.8434	23203.76	23	23	yeni çizgi	?130	
431.2897	23179.75	3	3	yeni çizgi	?80	
431.8434	23150.03	13	13	yeni çizgi	?135	
432.0953	23136.54	3	3	yeni çizgi	?100	
432.4107	23119.66	10	7		?125	10
432.5680	23111.25	3	3		?100	6h
432.6866	23104.92	3	3	yeni çizgi	+135	
432.8185	23097.88	7	4		?145	20
433.5518	23058.81	3	3	yeni çizgi	?110	
433.8059	23045.30	54	42	yeni çizgi	?200	
434.1393	23027.61	5	5	yeni çizgi	?120	
434.2319	23022.70	20	20	yeni çizgi	-165	
434.3609	23015.86	3	3	yeni çizgi	?85	
434.7204	22996.83	4	4	yeni çizgi	+140	
434.7280	22996.42	15	15	yeni çizgi	+190	
435.1439	22974.44	4	3	yeni çizgi	?100	
435.4918	22956.09	20	18		?115	30
435.8291	22938.33	3	3	yeni çizgi	?55	
436.3903	22908.83	4	4	yeni çizgi	+160	
436.4903	22903.58	17	17		?95	10h
436.5689	22899.46	12	12	yeni çizgi	?105	
436.8833	22882.98	6	6	yeni çizgi	?100	
437.2748	22862.49	3	3	yeni çizgi	?120	
437.2832	22862.05	15	15	yeni çizgi	-180	
437.3048	22860.92	11	7		?105	10
437.5007	22850.68	6	3	yeni çizgi	?210	
438.0246	22823.35	6	6	yeni çizgi	?100	
438.0362	22822.75	15	10		-145	5
438.0949	22819.69	3	3	yeni çizgi	?100	
438.2404	22812.12	3	3	yeni çizgi	?60	
438.3544	22806.18	5	3	yeni çizgi	?120	
438.5652	22795.22	4	4	yeni çizgi	?130	
438.6785	22789.33	13	3	yeni çizgi	?170	
438.7352	22786.39	7	6		?100	5
438.9539	22775.04	35	23		-170	100
439.0311	22771.03	7	7	yeni çizgi	?110	
439.1315	22765.83	3	3	yeni çizgi	?95	
439.4166	22751.05	6	4	yeni çizgi	?100	
439.5384	22744.75	10	10	yeni çizgi	?90	
439.5657	22743.34	4	4	yeni çizgi	?70	
439.7715	22732.69	3	3	yeni çizgi	?90	
440.1263	22714.37	3	3	yeni çizgi	?135	
440.3317	22703.77	7	8	yeni çizgi	?125	
440.4278	22698.82	6	6	yeni çizgi	?125	
440.4479	22697.78	5	3		?90	1
440.7568	22681.88	4	4		-100	3h
441.0847	22665.02	12	8		?90	5
441.3516	22651.31	9	6		+165	10

Tablo 4.3 (devam): Görünür bölgede Tm I ve Tm II olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	I
441.3872	22649.48	3	3	yeni çizgi	?70	
441.6232	22637.38	7	6		?90	2
441.6575	22635.62	17	17	yeni çizgi	?110	
441.9780	22619.21	7	6		?115	2
442.1670	22609.54	3	3		?120	2h
442.3245	22601.49	7	5		???	10
442.5163	22591.69	5	4		?95	2
442.6258	22586.10	8	5	yeni çizgi	-160	
442.6934	22582.66	3	3	yeni çizgi	?100	
442.8248	22575.95	4	4	yeni çizgi	+120	
442.8527	22574.53	6	8		?65	1
442.9743	22568.34	28	28		+155	50h
443.1808	22557.82	7	8		?120	2
443.3189	22550.79	4	4	yeni çizgi	?75	
443.4850	22542.35	5	5	yeni çizgi	?80	
443.5070	22541.23	5	5		?95	2
443.5430	22539.40	10	11	yeni çizgi	?160	
443.5904	22536.99	5	3	yeni çizgi	-140	
444.0668	22512.81	3	3		?130	2
444.4515	22493.33	50	50		?100	50
444.6380	22483.89	16	16	yeni çizgi	?150	
444.7821	22476.61	6	6		-120	2
444.7891	22476.26	12	12	yeni çizgi	?90	
444.8007	22475.67	8	8		?100	2h
444.9768	22466.77	20	18		?105	10
445.3306	22448.93	9	9	yeni çizgi	?90	
445.4772	22441.54	3	3	yeni çizgi	?130	
445.7378	22428.42	4	4	yeni çizgi	?90	
445.9261	22418.95	6	6		?105	3
445.9984	22415.31	130	110		?155	100
446.0066	22414.90	6	6	yeni çizgi	?90	
446.1308	22408.66	7	7		?80	3h
446.2440	22402.98	5	5	yeni çizgi	?120	
446.5533	22387.46	5	4		+170	2
446.7164	22379.29	6	5	yeni çizgi	?120	
447.0425	22362.96	7	5		?85	4
447.0973	22360.22	7	9		?100	2
447.2808	22351.05	46	48		+160	60
447.2990	22350.14	3	3	yeni çizgi	?110	
447.3397	22348.10	3	3		?80	1
447.4033	22344.93	3	3	yeni çizgi	?75	
447.4414	22343.02	7	7	yeni çizgi	?85	
447.5641	22336.90	8	8	yeni çizgi	?110	
447.5698	22336.62	11	11	yeni çizgi	-145	
447.7839	22325.94	4	4	yeni çizgi	?220	
447.9525	22317.53	5	5	yeni çizgi	?105	
448.0960	22310.39	4	4	yeni çizgi	?70	
448.2468	22302.88	9	8		+135	10h

Tablo 4.3 (devam): Görünür bölgede Tm I ve Tm II olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	I
448.4795	22291.31	3	3		?95	2h
448.6588	22282.40	4	5	yeni çizgi	?100	
448.7650	22277.13	4	4		?75	2
449.1698	22257.05	4	4	yeni çizgi	+150	
449.6018	22235.67	8	8		?80	3h
449.6782	22231.89	6	5		?60	2
449.7133	22230.15	4	4		?110	2
450.0981	22211.15	5	5		?110	2
450.1094	22210.59	4	4	yeni çizgi	?80	
450.3639	22198.04	3	3	yeni çizgi	?75	
450.3938	22196.57	4	4		?100	2
450.4855	22192.05	117	102		?100	60
450.5274	22189.98	5	5		?100	2
450.8781	22172.72	4	4	yeni çizgi	?80	
450.9804	22167.69	3	3	yeni çizgi	?160	
451.0912	22162.25	4	7	yeni çizgi	?60	
451.0960	22162.01	3	5	yeni çizgi	?80	
451.1088	22161.38	3	3	yeni çizgi	??	
451.1466	22159.53	5	8	yeni çizgi	?190	
451.2687	22153.53	6	6	yeni çizgi	?100	
451.2875	22152.61	3	3	yeni çizgi	?85	
451.4230	22145.96	6	4		?80	2
451.7205	22131.38	5	7		?130	1
451.7367	22130.58	3	3	yeni çizgi	?110	
452.7702	22080.07	12	6	yeni çizgi	?145	
452.8759	22074.91	7	4	yeni çizgi	?105	
452.9243	22072.55	15	15	yeni çizgi	?120	
452.9356	22072.00	103	82	yeni çizgi	?80	
453.0038	22068.68	3	3	yeni çizgi	?115	
453.0765	22065.14	3	6	yeni çizgi	?80	
453.0815	22064.90	6	3	yeni çizgi	-200	
453.1018	22063.91	4	4	yeni çizgi	?75	
453.1126	22063.38	8	8		?85	2
453.6326	22038.09	3	3	yeni çizgi	?110	
453.6493	22037.28	19	19	yeni çizgi	?110	
453.6850	22035.55	5	5	yeni çizgi	?90	
453.7437	22032.70	16	14		?95	2
453.7865	22030.62	3	3	yeni çizgi	?110	
453.7973	22030.09	3	3	yeni çizgi	?70	
453.8640	22026.86	8	8		?90	2
453.9817	22021.14	4	4	yeni çizgi	?130	
454.5780	21992.26	4	4		-175	2
454.8927	21977.04	5	5	yeni çizgi	?95	
455.3672	21954.14	84	68		?95	30
455.8653	21930.16	4	4	yeni çizgi	?100	
455.9484	21926.16	3	3	yeni çizgi	?100	

Tablo 4.3 (devam): Görünür bölgede Tm I ve Tm II olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	I
455.9555	21925.82	6	6	yeni çizgi	-175	
456.1512	21916.41	4	4		?115	2
456.3860	21905.14	5	5	yeni çizgi	?75	
456.5041	21899.47	4	4		+175	2
456.5690	21896.36	4	3	yeni çizgi	?90	
456.5841	21895.63	4	7	yeni çizgi	?120	
456.9765	21876.83	7	7	yeni çizgi	?95	
457.0027	21875.58	3	3	yeni çizgi	?190	
457.1222	21869.86	39	30		?120	30
457.1594	21868.08	11	6	yeni çizgi	?140	
457.2127	21865.53	5	5	yeni çizgi	?95	
457.2437	21864.05	9	7	yeni çizgi	?75	
457.3176	21860.51	4	4	yeni çizgi	?85	
457.3469	21859.11	5	3	yeni çizgi	?130	
457.4312	21855.09	18	39	yeni çizgi	-225	
457.8789	21833.72	15	21	yeni çizgi	+150	
458.8631	21786.89	3	3	yeni çizgi	?125	
459.1575	21772.92	5	4	yeni çizgi	-130	
459.2676	21767.70	8	6		?80	2
459.6514	21749.52	16	13	yeni çizgi	-160	
460.1322	21726.80	27	21		-150	
460.5652	21706.37	6	6		+115	3
460.7012	21699.96	11	11		?90	4
460.7438	21697.96	5	5		?100	2
460.7970	21695.45	9	6		-135	1
460.8798	21691.55	3	3		?105	1
461.2096	21676.04	5	3		?80	1
461.4522	21664.65	7	7	yeni çizgi	?110	
461.5986	21657.78	21	15	yeni çizgi	?80	
461.6005	21657.69	25	17	yeni çizgi	?90	
461.7873	21648.93	11	8	yeni çizgi	?220	
462.0936	21634.58	8	9	yeni çizgi	?90	
462.1590	21631.52	3	3	yeni çizgi	?120	
462.2229	21628.53	6	7	yeni çizgi	?125	
462.3118	21624.37	3	3	yeni çizgi	?75	
462.4398	21618.38	50	45		?90	30
462.9332	21595.34	4	4	yeni çizgi	?130	
463.1103	21587.08	4	3		?90	1
463.1308	21586.13	3	3	yeni çizgi	-155	
463.3562	21575.63	7	8	yeni çizgi	?90	
463.5793	21565.24	11	11		-155	5h
463.8927	21550.67	3	3		+105	3
464.0137	21545.05	4	4	yeni çizgi	?90	
464.0605	21542.88	3	4	yeni çizgi	?120	
464.1205	21540.10	12	9		+130	5
464.1735	21537.64	7	7		?135	2
464.2124	21535.83	3	3	yeni çizgi	-130	

Tablo 4.3 (devam): Görünür bölgede Tm I ve Tm II olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	I
464.2434	21534.39	11	11		?100	3
464.2839	21532.52	10	10		?110	10
464.3252	21530.60	10	10	yeni çizgi	-160	
464.3427	21529.79	4	4	yeni çizgi	-180	
464.5127	21521.91	6	5		-140	1
464.6066	21517.56	33	33		?105	9
464.6674	21514.74	9	8		+165	4
464.8492	21506.33	5	5		+160	2
465.1632	21491.81	4	4	yeni çizgi	?115	
465.3656	21482.47	3	5	yeni çizgi	?110	
465.4827	21477.06	3	3	yeni çizgi	?145	
465.5168	21475.49	9	10	yeni çizgi	?90	
465.7005	21467.02	4	4	yeni çizgi	-155	
465.7215	21466.05	3	3	yeni çizgi	?115	
465.8875	21458.40	9	11	yeni çizgi	?90	
466.0847	21449.32	8	8	yeni çizgi	?110	
466.2484	21441.79	31	31		?105	10h
466.4761	21431.33	7	7	yeni çizgi	?100	
466.5895	21426.12	9	9	yeni çizgi	?145	
466.6055	21425.38	3	3	yeni çizgi	?90	
466.9910	21407.70	4	4	yeni çizgi	-120	
467.3849	21389.65	5	5	yeni çizgi	-200	
467.4848	21385.08	18	18	yeni çizgi	?110	
467.5098	21383.94	384	320		?95	300
467.8830	21366.88	13	17		?130	5
468.1031	21356.84	8	7		+150	3
468.3931	21343.61	3	3	yeni çizgi	?60	
468.6101	21333.73	5	4		?115	1
468.9834	21316.75	4	4	yeni çizgi	?150	
469.0809	21312.32	58	58		?85	20
469.3399	21300.56	5	4		?100	1
469.4580	21295.20	30	22		?110	10
469.4620	21295.02	16	16	yeni çizgi	?105	
469.8177	21278.90	42	37		?95	10
469.9055	21274.92	7	7		?100	2
469.9581	21272.54	4	4		?100	1
471.0198	21224.59	185	156		?100	50
471.4743	21204.13	10	10		?90	3
471.4993	21203.01	5	5		?100	2
471.7457	21191.93	9	11		?95	2
471.7902	21189.93	8	8	yeni çizgi	?100	
472.3603	21164.36	22	20		?80	10
472.5931	21153.93	11	9	yeni çizgi	+135	
473.2229	21125.78	16	16		?95	3
473.4484	21115.72	11	11		?110	2
473.7644	21101.63	6	5	yeni çizgi	?75	
473.7895	21100.52	20	20		?100	10
473.9099	21095.16	3	3		?80	1
473.9306	21094.23	8	6	yeni çizgi	?75	

Tablo 4.3 (devam): Görünür bölgede Tm I ve Tm II olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	I
474.1181	21085.89	5	3	yeni çizgi	-135	
474.4410	21071.54	5	5	yeni çizgi	?100	
474.5995	21064.51	8	4	yeni çizgi	+205	
474.6856	21060.68	4	4	yeni çizgi	?75	
475.0175	21045.97	8	7	yeni çizgi	?95	
475.2594	21035.26	4	3		-130	2
475.5711	21021.47	4	4	yeni çizgi	?105	
475.6473	21018.10	10	17	yeni çizgi	???	
475.7291	21014.49	7	6		?100	1
476.0458	21000.51	9	9		+130	3
476.3250	20988.20	6	8	yeni çizgi	?95	
476.7323	20970.27	28	21		?90	10
477.0328	20957.06	3	3	yeni çizgi	?90	
478.0938	20910.55	3	6	yeni çizgi	-110	
478.3726	20898.36	8	9	yeni çizgi	?100	
478.3756	20898.23	11	11	yeni çizgi	?85	
478.5320	20891.40	12	14		?80	2
478.6324	20887.02	10	10	yeni çizgi	?90	
478.7424	20882.22	8	7		?105	5
478.9787	20871.92	13	17	yeni çizgi	?105	
479.1904	20862.70	3	3		?140	2
479.2386	20860.60	122	112		?105	60
479.2793	20858.83	8	8	yeni çizgi	?100	
479.9484	20829.75	29	29	yeni çizgi	?100	
479.9507	20829.65	35	35		?80	30
480.1254	20822.07	31	40		?90	10
480.6624	20798.81	10	13	yeni çizgi	?100	
480.8950	20788.75	4	4	yeni çizgi	?135	
481.0648	20781.41	7	7	yeni çizgi	?85	
481.1570	20777.43	4	4	yeni çizgi	?70	
481.2755	20772.31	27	54	yeni çizgi	-240	
481.6576	20755.84	6	4	yeni çizgi	?70	
481.7828	20750.44	31	26		+140	10
481.8789	20746.30	4	3	yeni çizgi	?140	
481.9927	20741.41	7	7	yeni çizgi	?110	
482.1551	20734.42	5	5	yeni çizgi	?95	
482.5421	20717.79	4	4	yeni çizgi	+175	
482.6908	20711.41	3	3	yeni çizgi	?120	
482.8786	20703.35	47	40		+125	15
483.1259	20692.76	14	14	yeni çizgi	?180	
483.1650	20691.08	6	6	yeni çizgi	?80	
483.3886	20681.51	5	3	yeni çizgi	?85	
484.0845	20651.78	3	3	yeni çizgi	?100	
484.2414	20645.09	6	6	yeni çizgi	?60	
484.6079	20629.48	7	7	yeni çizgi	?135	
484.7920	20621.64	158	158		?100	70
485.0407	20611.07	15	12		?100	3
485.2172	20603.57	9	9	yeni çizgi	-210	

Tablo 4.3 (devam): Görünür bölgede Tm I ve Tm II olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	I
485.6336	20585.90	13	13		+155	10
485.9198	20573.78	10	10	yeni çizgi	?135	
485.9289	20573.36	9	9		+200	4
486.3560	20555.33	7	7		?130	2d
486.9832	20528.85	155	134		?90	50
487.2094	20519.32	4	4	yeni çizgi	?85	
487.2408	20518.00	8	8	yeni çizgi	?125	
487.3815	20512.08	7	6		?85	2
487.4421	20509.53	28	21		-145	3
487.5120	20506.59	9	13	yeni çizgi	?150	
488.0265	20484.97	7	7	yeni çizgi	+175	
488.3652	20470.76	90	90	yeni çizgi	?95	
488.5293	20463.89	12	12	yeni çizgi	?100	
488.5404	20463.42	8	3	yeni çizgi	?150	
488.7131	20456.19	22	19		?100	3
488.7953	20452.75	20	5	yeni çizgi	?155	
488.9434	20446.55	32	24		-155	20
489.1624	20437.40	17	16		?110	8
489.4224	20426.54	6	5		+190	3
489.4564	20425.12	6	6	yeni çizgi	?115	
489.5572	20420.92	21	21	yeni çizgi	?105	
490.1864	20394.71	4	4		?110	2
490.4278	20384.67	5	3	yeni çizgi	?125	
490.6207	20376.65	5	4	yeni çizgi	?130	
490.7688	20370.51	3	5	yeni çizgi	?85	
490.7750	20370.25	3	4	yeni çizgi	???	
491.3280	20347.32	15	15	yeni çizgi	?105	
491.3389	20346.87	12	5	yeni çizgi	?95	
491.5508	20338.10	3	3	yeni çizgi	?105	
491.6639	20333.42	7	4	yeni çizgi	?100	
491.9743	20320.59	6	6	yeni çizgi	?95	
491.9774	20320.46	7	7	yeni çizgi	?90	
492.0093	20319.15	21	18	yeni çizgi	?70	
492.0975	20315.50	3	3	yeni çizgi	-160	
492.1278	20314.25	4	4	yeni çizgi	?95	
492.3156	20306.50	3	3	yeni çizgi	?70	
492.3185	20306.38	4	4	yeni çizgi	?85	
492.5085	20298.55	6	6	yeni çizgi	?100	
492.7927	20286.84	6	5	yeni çizgi	?75	
492.9723	20279.45	33	31		?115	10
493.2390	20268.49	15	11		?100	2
493.9211	20240.50	9	9	yeni çizgi	?115	
494.2200	20228.26	3	3	yeni çizgi	-135	
494.3298	20223.76	5	5		?135	2
494.5295	20215.60	8	8		?100	2
494.7490	20206.63	54	54		?120	30
494.8670	20201.81	42	33		?105	7
494.9767	20197.33	10	10	yeni çizgi	?115	
495.2265	20187.15	5	3		?100	2
495.3826	20180.78	4	4		?130	2

Tablo 4.3 (devam): Görünür bölgede Tm I ve Tm II olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	I
495.4505	20178.02	11	9		?95	3
496.1559	20149.33	25	26		?115	10
496.4023	20139.33	3	3	yeni çizgi	?75	
496.7254	20126.23	8	8	yeni çizgi	?140	
496.9330	20117.82	5	3	yeni çizgi	+175	
497.5031	20094.77	12	12		?125	5
497.6304	20089.63	3	3	yeni çizgi	?155	
498.5051	20054.38	7	8	yeni çizgi	?100	
498.5622	20052.08	5	5		?100	1
499.0100	20034.09	7	3	yeni çizgi	?75	
499.3752	20019.44	21	12	yeni çizgi	?85	
499.4875	20014.94	8	8	yeni çizgi	?80	
500.3430	19980.72	5	5	yeni çizgi	?75	
501.6077	19930.34	3	3	yeni çizgi	+140	
502.3687	19900.15	17	12		-135	4
503.2179	19866.57	8	10		?85	2
504.0547	19833.59	9	9	yeni çizgi	?70	
504.0746	19832.80	73	57		-170	20
504.6178	19811.45	15	13		?100	2
504.9376	19798.91	5	3	yeni çizgi	?60	
504.9397	19798.82	11	6	yeni çizgi	?65	
504.9425	19798.71	8	4	yeni çizgi	?85	
505.5302	19775.70	3	3	yeni çizgi	?145	
505.6189	19772.23	128	109		-135	60
505.9099	19760.86	6	7	yeni çizgi	?95	
506.6354	19732.56	4	6	yeni çizgi	?95	
506.9828	19719.04	15	12		-155	3
507.1828	19719.04	9	13		?95	1
507.5231	19698.04	3	3	yeni çizgi	?65	
507.6474	19693.22	62	62		?95	10
507.6507	19693.09	4	4	yeni çizgi	?85	
507.6888	19691.62	107	88		-145	20
507.9683	19680.78	16	16		-125	6
508.1656	19673.14	23	23		+180	3
508.3159	19667.32	13	3	yeni çizgi	?105	
508.3914	19664.40	16	14		+150	5
509.0220	19640.04	6	7	yeni çizgi	+135	
509.4641	19623.00	12	9		+150	2
511.2476	19554.54	75	63		?85	20
511.5023	19544.81	5	7	yeni çizgi	?100	
511.6206	19540.29	16	16	yeni çizgi	+185	
512.5594	19504.50	10	10		?80	2
512.9120	19491.09	141	113		?80	15
512.9504	19489.63	12	17		?85	4
513.3411	19474.80	5	5	yeni çizgi	?75	

Tablo 4.3 (devam): Görünür bölgede Tm I ve Tm II olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	I
513.4230	19471.69	4	7	yeni çizgi	?80	
513.6478	19463.24	9	26	yeni çizgi	-230	
514.1144	19445.51	7	7	yeni çizgi	?75	
514.3688	19435.89	3	7	yeni çizgi	?125	
514.4408	19433.17	8	8	yeni çizgi	?85	
514.7166	19422.76	9	11		+130	4
514.8886	19416.27	5	5	yeni çizgi	?100	
515.0189	19411.35	7	7	yeni çizgi	?80	
515.3547	19398.71	10	10		?75	2
515.4483	19395.18	24	21		?105	3
515.8681	19379.40	3	3	yeni çizgi	?195	
515.9327	19376.97	4	4	yeni çizgi	?65	
516.6397	19350.46	12	13		+120	3
517.1309	19332.08	44	38		?100	10
517.1406	19331.72	9	9	yeni çizgi	?75	
517.1838	19330.10	19	12		-135	5
517.4567	19319.91	107	84		?90	10
517.5746	19315.51	27	20		?80	4
517.6362	19313.21	5	7	yeni çizgi	?75	
517.7658	19308.37	30	30	yeni çizgi	?90	
519.0631	19260.12	42	35		-105	10
519.3908	19247.96	4	7	yeni çizgi	?70	
521.1993	19181.18	3	3	yeni çizgi	?100	
521.2732	19178.46	10	21	yeni çizgi	+190	
522.4126	19136.63	28	22		?90	5
522.8229	19121.61	19	12		?100	220bl**
523.8997	19082.31	20	20	yeni çizgi	?85	
524.0629	19076.37	3	3	yeni çizgi	-115	
524.9008	19045.92	14	14		?100	3
525.2269	19034.09	8	9		+155	4
525.3451	19029.81	3	4	yeni çizgi	?140	
525.4910	19024.53	8	4	yeni çizgi	?85	
526.6654	18982.10	4	4	yeni çizgi	+145	
526.9216	18972.87	8	6	yeni çizgi	?110	
528.6417	18911.14	5	5	yeni çizgi	?80	
528.8302	18904.40	9	9		?85	3
529.7071	18873.11	4	4	yeni çizgi	-150	
530.5572	18842.87	5	5	yeni çizgi	?105	
531.6620	18803.71	3	5	yeni çizgi	+115	
532.4388	18776.28	7	6	yeni çizgi	?85	
532.7579	18765.03	6	4	yeni çizgi	-165	
532.7730	18764.50	4	4	yeni çizgi	?85	
532.8386	18762.19	6	12	yeni çizgi	-205	
532.8479	18761.86	19	19	yeni çizgi	?85	
533.4269	18741.50	3	3	yeni çizgi	?90	
534.9088	18689.58	4	4	yeni çizgi	?130	
535.0377	18685.07	4	3	yeni çizgi	?75	

Tablo 4.3 (devam): Görünür bölgede Tm I ve Tm II olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	I
535.1414	18681.45	7	3	yeni çizgi	?165	
535.5540	18667.06	14	10	yeni çizgi	+155	
536.1773	18645.36	4	4	yeni çizgi	?115	
536.7464	18625.59	5	4	yeni çizgi	?115	
536.9955	18616.95	5	5	yeni çizgi	-125	
537.6618	18593.88	7	7	yeni çizgi	?135	
538.2620	18573.15	5	5	yeni çizgi	?85	
538.3440	18570.32	10	9	yeni çizgi	?95	
538.9808	18548.38	32	32		?95	5
540.2236	18505.71	986	805		-140	200
540.5979	18492.90	13	8		?85	14
540.8317	18484.90	6	3	yeni çizgi	?135	
543.1793	18405.01	5	5	yeni çizgi	?90	
543.3337	18399.78	27	35		?100	5
544.2607	18368.44	5	5	yeni çizgi	?130	
544.7796	18350.95	4	5	yeni çizgi	?120	
545.0940	18340.33	6	6	yeni çizgi	+185	
545.5161	18326.17	7	6	yeni çizgi	-210	
545.8401	18315.29	5	5	yeni çizgi	-145	
546.1955	18303.38	12	6		?80	14
546.5356	18291.99	26	26		?105	3
546.6460	18288.29	5	5	yeni çizgi	?105	
546.7763	18283.93	5	5	yeni çizgi	?125	
546.8306	18282.12	43	36		?105	10
547.0927	18273.36	62	44		-150	10
547.9704	18244.09	9	7		?85	3
550.1338	18172.35	22	36		?135	20
550.5999	18156.96	4	4		?100	1
550.7309	18152.64	54	43		?85	10
550.7531	18151.91	3	3	yeni çizgi	?115	
551.8622	18115.43	3	3	yeni çizgi	?70	
552.6614	18089.24	6	6		?120	2
553.5520	18060.13	7	5		-125	3
554.1947	18039.19	22	26		-105	15
554.4962	18029.38	16	14		+145	8
555.1646	18007.67	7	6		-145	5
555.1999	18006.53	3	3	yeni çizgi	?80	
556.8717	17952.47	22	17		?115	5
557.4471	17933.94	9	6		?145	3
558.6252	17896.12	3	3		?120	1
558.6600	17895.01	21	16	yeni çizgi	?80	
558.8272	17889.65	7	7	yeni çizgi	-220	
558.9942	17884.31	10	6		?90	14
559.0114	17883.76	3	3	yeni çizgi	?165	
559.6627	17862.95	5	4	yeni çizgi	?70	
559.7601	17859.84	6	4		-135	3
560.3516	17840.98	7	7	yeni çizgi	-155	

Tablo 4.3 (devam): Görünür bölgede Tm I ve Tm II olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	I
560.4633	17837.43	28	29		+125	20
561.3686	17808.66	78	78		?85	40
561.4000	17807.67	13	12		?80	2
562.2049	17782.17	6	3		?130	1
562.6305	17768.72	20	20		?75	3
563.1806	17751.37	13	13	yeni çizgi	?105	
563.9077	17728.48	4	4	yeni çizgi	-135	
563.9451	17727.30	6	5		-150	1
565.0884	17691.44	7	5		?60	1
565.2607	17686.04	50	39		?120	8
565.3598	17682.94	16	16		+170	5
565.7046	17672.17	59	44		?70	3
566.4889	17647.70	11	23	yeni çizgi	-175	
568.0249	17599.98	10	7		?95	1
569.5928	17551.53	19	15		?85	2
570.5813	17521.12	6	4	yeni çizgi	?90	
570.5903	17520.85	41	32		?100	4
570.9761	17509.01	362	336		-145	100
571.1904	17502.44	21	23		+160	9
572.2762	17469.23	37	31		?80	3
572.5532	17460.78	48	45		?115	20
573.5427	17430.66	5	5	yeni çizgi	?70	
573.5841	17429.40	76	58		?90	7
573.7916	17423.10	6	5		?110	1
573.8939	17419.99	22	20		?135	14w
573.9960	17416.89	4	4	yeni çizgi	+95	
576.5560	17339.56	34	30		?80	8
577.1551	17321.56	8	6		?90	6
577.4330	17313.22	6	4		?150	1
578.4486	17282.83	12	10	yeni çizgi	?150	
579.2981	17257.48	7	7	yeni çizgi	?55	
579.6793	17246.14	12	8		?105	1
579.8606	17240.74	8	6	yeni çizgi	?90	
580.2216	17230.02	15	15		?105	3
580.5842	17219.26	16	15		-165	7
580.6228	17218.11	3	3		?120	1
581.0592	17205.18	9	9		-130	3
582.1306	17173.51	33	25		?75	4
582.9527	17149.30	23	17		?105	3
584.3220	17109.11	6	4	yeni çizgi	?130	
585.0857	17086.78	9	7	yeni çizgi	?80	
586.2321	17053.36	5	3	yeni çizgi	?85	
586.2922	17051.61	12	8		?70	1
586.6732	17040.54	4	4	yeni çizgi	-130	
587.6926	17010.98	17	12		-125	20
588.9953	16973.36	47	17	yeni çizgi	?165	
591.8421	16891.72	3	3	yeni çizgi	?80	
592.1994	16881.53	4	4		?115	2
592.2164	16881.04	8	8	yeni çizgi	?95	

Tablo 4.3 (devam): Görünür bölgede Tm I ve Tm II olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	I
593.0610	16857.00	5	4	yeni çizgi	?195	
593.0683	16856.79	6	4	yeni çizgi	?180	
593.4260	16846.63	16	11		?110	1
593.8851	16833.61	51	41		?80	5
593.9733	16831.11	4	9		?80	20
593.9817	16830.87	3	4		-155	10
594.6642	16811.56	4	3		?60	1
594.8375	16806.66	5	4		?120	1
595.2531	16794.92	7	5		+135	1
595.3194	16793.05	35	29		?60	4
595.4302	16789.93	21	16		-130	3
595.4401	16789.65	17	12		-165	1
596.0761	16771.73	3	3	yeni çizgi	?65	
597.1927	16740.38	14	5	yeni çizgi	?165	
598.4315	16705.72	4	3		?95	1
598.4868	16704.18	117	107		?105	40
600.5986	16645.44	9	4	yeni çizgi	?115	
600.8256	16639.16	16	16		?85	5
601.2113	16628.48	4	4	yeni çizgi	?100	
602.0037	16606.59	19	13		?80	2
602.3404	16597.31	4	4	yeni çizgi	?95	
603.6974	16560.00	27	30		?100	10
603.9778	16552.32	47	33		?85	40
605.5657	16508.91	22	20		?80	2
606.7782	16475.92	5	3		?120	11
607.0361	16468.92	4	3	yeni çizgi	?100	
607.5213	16455.77	9	9		?120	1
607.5549	16454.86	17	12		?70	4
609.1873	16410.77	4	4		?80	1
609.2759	16408.38	4	4		?85	1
611.7027	16343.29	10	8		?80	2
611.8099	16340.42	4	5	yeni çizgi	?100	
612.9666	16309.59	8	8		?120	1
614.4752	16269.55	18	16		-145	3
618.0157	16176.34	22	25		?100	10
618.0557	16175.30	3	3	yeni çizgi	?75	
632.8313	15797.63	13	4	yeni çizgi	?125	
632.8901	15796.16	19	15	yeni çizgi	?140	
650.7293	15363.13	16	16		+140	20
650.7654	15362.28	26	32		?70	300
651.5096	15344.73	4	4		?70	3
653.4215	15299.83	9	11		?95	10
653.4408	15299.38	19	23		??	100
653.9817	15286.72	15	11		?110	40
655.1614	15259.20	7	7		?60	5
655.5380	15250.43	3	3		?85	2
657.3510	15208.37	6	6		?75	2

Tablo 4.3 (devam): Görünür bölgede Tm I ve Tm II olarak belirlenen çizgilerin listesi.

λ_{hava} (nm)	σ (cm ⁻¹)	S/N (Ar)	S/N (Ne)	Çizgi tanımı	W (mK)	I
657.4787	15205.42	6	12	yeni çizgi	?80	
657.5528	15203.70	122	104		+125	100
657.8520	15203.70	3	3	yeni çizgi	?200	
658.0051	15193.25	3	3		+110	1
660.0510	15146.16	15	15		125	5
661.3514	15116.38	5	5		+125	2
663.0462	15077.74	3	3		-115	2
664.5205	15044.29	44	42		-115	40
665.3688	15025.11	30	28		?75	10
665.3854	15024.73	4	4	yeni çizgi	?65	
668.4670	14955.47	5	6	yeni çizgi	?80	
668.7564	14949.00	5	6	yeni çizgi	?95	
669.7929	14925.87	9	7	yeni çizgi	?70	
670.9469	14900.20	10	11	yeni çizgi	?135	
671.8509	14880.15	5	5	yeni çizgi	?85	
672.8181	14858.76	9	9	yeni çizgi	?100	
673.2313	14849.64	5	5	yeni çizgi	?75	
673.9225	14834.41	150	134		?80	50
674.0854	14830.82	10	10		?80	3
674.2411	14827.40	15	12	yeni çizgi	?80	
675.3048	14804.04	15	15	yeni çizgi	?150	
679.3702	14715.45	4	7	yeni çizgi	?70	
682.3520	14651.15	8	6	yeni çizgi	+105	
683.6484	14623.37	18	15	yeni çizgi	?105	
689.8551	14491.80	60	54		+110	80
692.7330	14431.59	3	6	yeni çizgi	-180	
693.3300	14419.17	21	18		?75	9
696.6616	14350.21	5	4	yeni çizgi	+145	
696.9763	14343.73	12	10		?85	7
698.9118	14304.01	42	37		+65	40

4.2. TULYUM ELEMENTİNİN AŞIRI İNCE YAPI ANALİZİ SONUÇLARI

İncelenen tulum elementinin çekirdek spininin $I = 1/2$ olması, manyetik dipol momentinin çok küçük olması ve ayrıca FTS yönteminde Doppler genişlemesinin mevcut olması nedenlerine bağlı olarak spektral çizgiler ayrışamayarak genelde tek, daha düşük oranda ise maksimum çift pikten, birkaç durumda da 4 ya da 3 pikten oluştukları gözlemlendi. İyi ayrışma göstermeyen bir spektral çizginin, alt ve üst ince yapı enerji seviyelerinin bilinmeyen aşırı ince yapı sabitlerini düşük hata sınırları içinde aynı anda belirlemek mümkün değildir. Bu çalışmada A sabitlerini belirlemek için iki ayrı yöntem kullanıldı. Bunlar:

- Fitter programı [4] kullanılarak,

- Tm I olarak tanımlanan tüm çizgilerin hesaba dahil edildiği lineer denklem sistemi metodu kullanılarak.

4.2.1. Fitter Programı Kullanılarak A Sabitlerinin Elde Edilmesi

FITTER programı [4] yardımı ile manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri ilk defa belirlenecek spektral çizgiler seçilirken üç kriter belirlendi. Öncelikle iki ya da daha fazla pike sahip spektral çizgiler listelendi. Daha sonra belirlenen spektral çizgilerin alt veya üst ince yapı enerji seviyesinden birine ait manyetik dipol aşırı ince yapı sabitinin literatürden bilinmesine dikkat edildi. Son olarak en az iki farklı çizginin analizi sonucunda A değerlerinin belirlenebileceği çizgiler gözönüne alındı.

Origin programı kullanılarak fit edilecek spektral çizginin deney verileri FT-spektrumundan alındı. Deney verileri fit işlemi için kullanılacak FITTER programına [4] hazır hale getirildi. Literatürden belirlenen hfs sabiti değerleri fit işlemi süresince sabit tutuldu. Bu sabit tutulan değerler Tablo 4.4 - Tablo 4.22 arasındaki tablolarda verildi.

Spektral çizginin aşırı ince yapı geçişlerinde $\Delta F = 0, \pm 1$ kuralı geçerlidir. Fit işleminde spektral çizginin küçük şiddete sahip ve ayrışmamış hfs-bileşenleri, en şiddetli bileşenin teorik değerine bağlandı. Bunun sebebi FTS metodunda, şiddeti düşük olan hfs çizgilerinin saturasyona uğramayıp teorik değerlerinde gerçekleşmeleridir. Tüm fit işlemlerinde çizgilerin yarı genişliklerini tanımlamak için Voigt profil fonksiyonu kullanıldı. Voigt profilinde, Gaussian ve Lorentz fonksiyonlarının belirlenen oranlarda karışımı mevcuttur. Gaussian / Lorentz oranı 0-1 aralığında değerler alabilir. Fit işlemi süresince bu oranın değeri serbest bırakılabilir veya uygunluğu belirlenen bir değerde sabit tutulabilir.

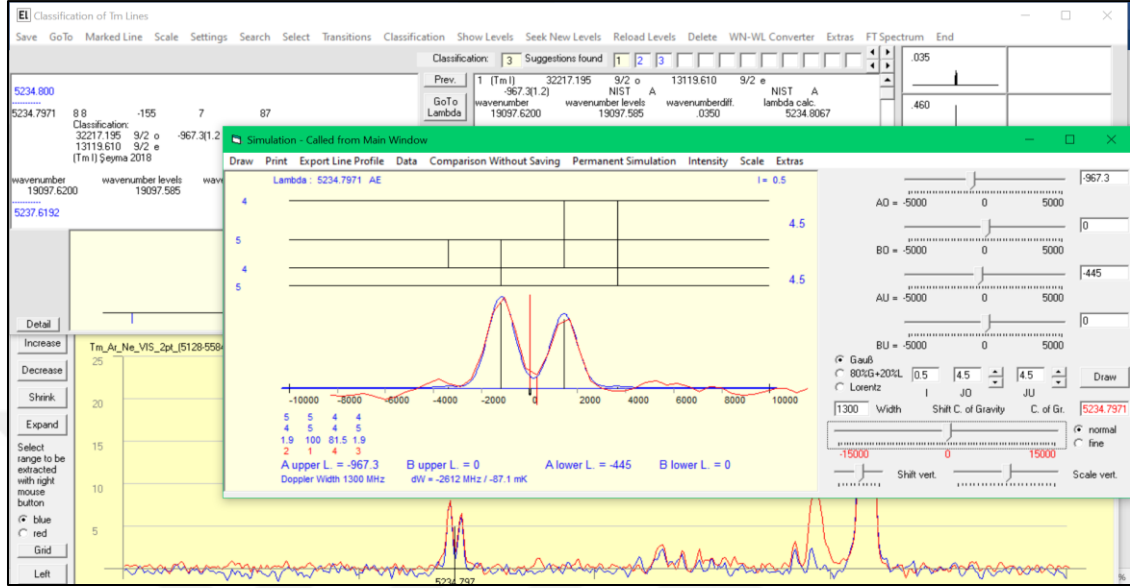
Bu tez çalışması kapsamında 19 tane ince yapı enerji seviyesinin manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri ilk defa bu çalışmada belirlendi.

13119.61 cm⁻¹ ($J = 9/2$) enerji seviyesine ait fit analizi

13119.61 cm⁻¹ ince yapı enerji seviyesinin manyetik dipol hfs sabiti dört farklı geçişten yararlanılarak ilk defa bu çalışmada belirlendi.

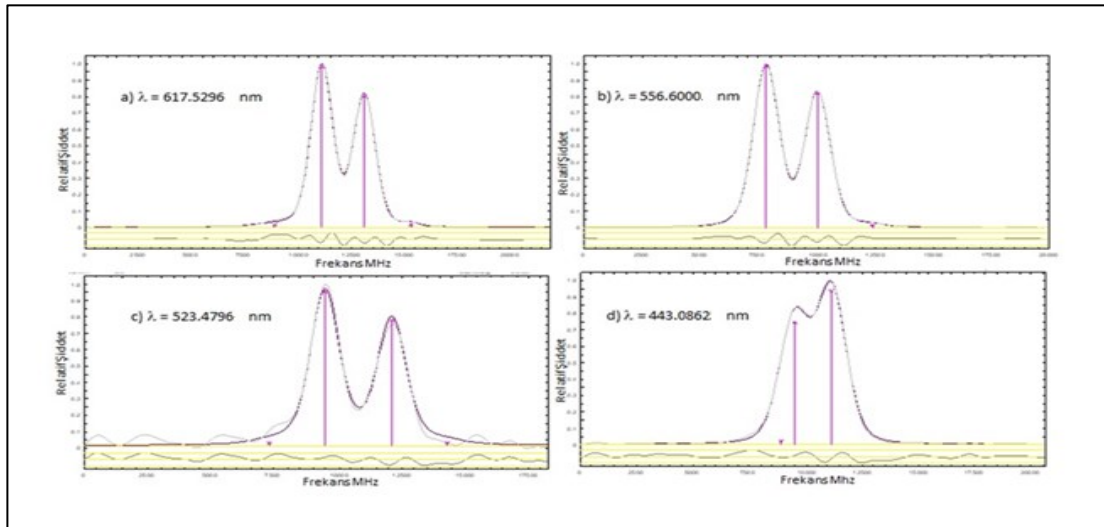
- Şekil 4.4a'da 29308.69 cm⁻¹ ($J = 9/2$) → 13119.61 cm⁻¹ ($J = 9/2$) geçişine ait en iyi fit spektrumu verildi. $\Delta J = 0$ olduğundan dört tane aşırı ince yapı geçişi mevcuttur. Deneysel ve teorik spektrumlar arasındaki fark, sarı renk ile spektrumun alt kısmında verilmekte olup spektrumdaki pembe çizgiler ile tam olarak hfs geçişlerinin yeri gösterildi. Literatürden alınan üst enerji seviyesine ait hfs sabiti fit işlemi süresince sabit tutuldu. Fit işlemi sonucu çizginin ağırlık merkezi 16189.0790 cm⁻¹ olarak bulundu.
- $\Delta J = 1$ olması durumunda ise hfs geçiş sayısı üçtür ve Şekil 4.4b'de verilen $\lambda = 556.60008$ nm dalgaboyuna ait 31080.846 cm⁻¹ ($J = 11/2$) → 13119.61 cm⁻¹ ($J = 9/2$) geçişi bu duruma örnektir. Üst enerji seviyesine ait hfs sabiti Kröger'in doktora tezinde [29] $A = -762.8$ (1.1)'' olarak belirlenmiştir. Tezde, bu değer çok hassas olmasının beklenmediği çünkü en şiddetli bileşenin ayrışmadığı ve bu çizgiyi içeren geçiş için sınıflandırmadan tam emin olunmadığı belirtilmiştir. Bu nedenle genel olarak fit işleminde belirlenen, bilinen hfs sabiti değerinin fit işlemi süresince sabit tutulması işlemi burada uygulanmadı. Burada bulunan değer deneysel ortalama A değerinin belirlenmesinde hesaba katılmadı. Fit işleminde çizginin ağırlık merkezi 17961.237 cm⁻¹ olarak belirlendi.
- Şekil 4.4c'de verilen 32217.195 cm⁻¹ ($J = 9/2$) → 13119.61 cm⁻¹ ($J = 9/2$) geçişinde üst seviyeye ait aşırı ince yapı sabitleri literatürden alınarak fit işlemi süresince sabit tutuldu. İncelenen çizginin ağırlık merkezi 19097.624 cm⁻¹ olarak bulundu. Şekil 4.4c'de verilen $\lambda = 523.47968$ nm geçişine ait Ne asal gazı ile çekilen spektrumdan alınan en iyi fit spektrumunda özellikle spektrumun kanatlarında spektrumun istenildiği gibi uygun fit olmadığı görüldü. Bu durumun nedeninin anlaşılabilmesi için sınıflandırma programından bu geçişe ait FT spektrumu Şekil 4.3'de verildi. FT spektrumunda görüldüğü gibi S/N oranı yüksek olmayan bu geçişin hem Ar hem de Ne asal gazı ile çekilen spektrumlarının özellikle kanat kısımlarında ve her ikin pik tepe noktalarında düzensizlik görülmektedir. Fit sonucu belirlenen hfs sabitinin hata

değerinin diğer hata değerlerinden daha yüksek olması ve ayrıca kalite değerinin diğer geçiş değerlerinden daha düşük olmasının nedeni budur.



Şekil 4.3: $\lambda = 523.47968$ nm geçişine ait FT spektrumu.

- $\Delta J = -1$ olması durumuna örnek olarak Şekil 4.4'de verilen $35682.251 \text{ cm}^{-1} (J = 7/2) \rightarrow 13119.61 \text{ cm}^{-1} (J = 9/2)$ geçişinde üst seviyeye ait aşırı ince yapı sabitleri literatürden alınarak fit işlemi süresince sabit tutuldu. Çizginin ağırlık merkezi fit işlemi sonucu $22562.637 \text{ cm}^{-1}$ olarak belirlendi.



Şekil 4.4: (a) $\lambda = 617.5296$ nm, (b) $\lambda = 556.6000$ nm, (c) $\lambda = 523.4796$ nm, (d) $\lambda = 443.0862$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.

Tablo 4.4’de ise dört geçiş için fit sonuçları verildi. Her bir geçişte belirlenen Voigt, Gauss ve Lorentz yarı genişlikleri MHz cinsinden sırası ile ayrı kolonlarda verildi. Bu bilgilere ek olarak referansları ile birlikte literatürden alınan MHz cinsinden manyetik dipol hfs sabitleri, bu çalışmada ilk defa bulunan manyetik dipol hfs sabiti ve fit işleminin güvenilirliğini gösteren kalite değeri verildi. Sonuç olarak incelenen bu dört çizginin analizi sonucunda 13119.61 cm^{-1} ($J = 9/2$) enerji seviyesine ait A değeri $-445.5 (3.2) \text{ MHz}$ olarak bulundu.

Tablo 4.4: $\lambda = 617.5296 \text{ nm}$, $\lambda = 556.6000 \text{ nm}$, $\lambda = 523.4796 \text{ nm}$, $\lambda = 443.0862 \text{ nm}$ geçişleri için en iyi fit spektrumları.

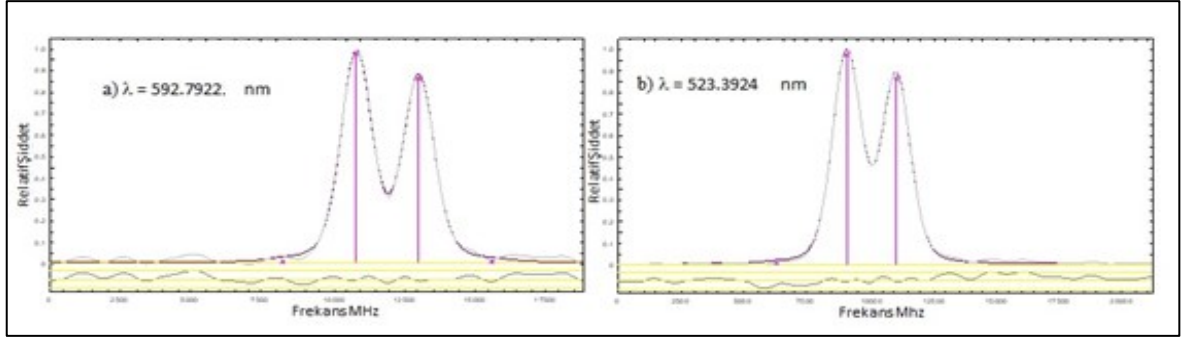
Parametre	$\lambda = 617.5296 \text{ nm}$	$\lambda = 556.6000 \text{ nm}$	$\lambda = 523.4796 \text{ nm}$	$\lambda = 443.0862 \text{ nm}$
Yarı Genişlik (Voigt)	1227.82 MHz	1310.68 MHz	1365.60 MHz	1564.47 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	1059.98 MHz	1121.13 MHz	984.96 MHz	1350.54 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	298.28 MHz	335.62 MHz	631.95 MHz	380.17 MHz
Gauss/Voigt	0.863	0.855	0.721	0.863
$A_{\text{üst}}$	$-842.9(1.2) \text{ MHz}$ [21]	$-762.8(1.1) \text{ MHz}$ [29]	$-967.3(1.2) \text{ MHz}$ [21]	$-152.00(20) \text{ MHz}$ [18]
A_{alt}	$-441.85(0.65) \text{ MHz}$	$-444.5 (0.5) \text{ MHz}$	$-438.59(5.65) \text{ MHz}$	$-450.7(1.33) \text{ MHz}$
Kalite	71.55	96.91	10.19	48.96

35557.7 cm^{-1} ($J = 15/2$) enerji seviyesine ait fit analizi

İki farklı geçiş kullanılarak 35557.7 cm^{-1} ince yapı enerji seviyesinin manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti ilk defa bu çalışmada belirlendi. Daha önceki çalışmalardan belirlenen diğer seviyenin hfs sabiti ise fit işlemi süresince sabit tutuldu.

- Bu seviyeyi içeren ilk geçiş 35557.7 cm^{-1} ($J = 15/2$) $\rightarrow 18693.074 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 15/2$) olup geçişe ait en iyi fit Şekil 4.5a’da verildi. Sınıflandırılması [9] tarafından yapılan bu geçişe ait spektrumda her iki kanatta dalgalanma olduğu görüldü. Bu dalgalanma etkisi fit kalitesi değeriinde kendisini göstermektedir. Çizginin ağırlık merkezi fit işlemi sonucu $16864.648 \text{ cm}^{-1}$ olarak belirlendi.

- Sınıflandırılması [9] tarafından yapılan $\lambda = 523.3924$ nm dalgaboyuna sahip ikinci geçiş $35557.7 \text{ cm}^{-1} (J = 15/2) \rightarrow 16456.913 \text{ cm}^{-1} (J = 17/2)$ olup geçişin en iyi fit spektrumu Şekil 4.5b’de verildi. Çizginin ağırlık merkezi $19100.811 \text{ cm}^{-1}$ olarak bulundu.



Şekil 4.5: (a) $\lambda = 592.9722$ nm, (b) $\lambda = 523.3924$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.

Her iki geçişe ait fit sonuçları Tablo 4.5’de verildi. Bu iki çizginin analizi sonucunda $35557.7 \text{ cm}^{-1} (J = 15/2)$ enerji seviyesine ait A değeri $-595.1(2.7)$ MHz olarak bulundu.

Tablo 4.5: $\lambda = 592.9722$ nm, $\lambda = 523.3924$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.

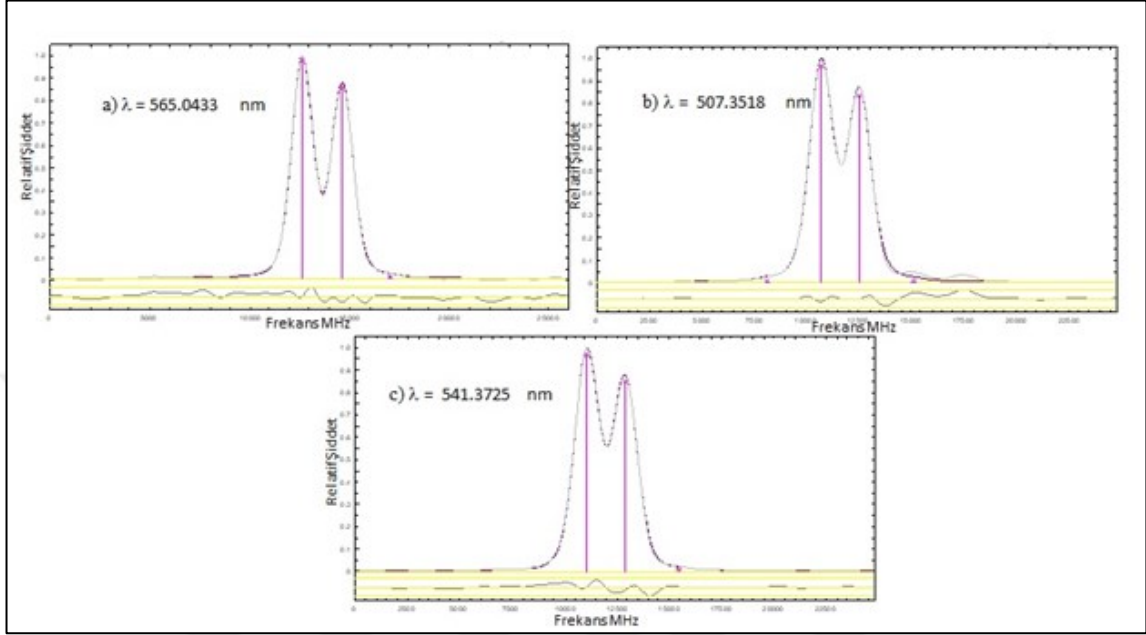
Parametre	$\lambda = 592.9722$ nm	$\lambda = 523.3924$ nm
Yarı Genişlik (Voigt)	1307.48 MHz	1353.20 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	1052.56 MHz	1163.55 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	440.85 MHz	336.50 MHz
Gauss/Voigt	0.805	0.860
$A_{\text{üst}}$	-599.85 (1.53) MHz	-593.58 (0.71) MHz
A_{alt}	-323.88(30) MHz [14]	-308.89(17) MHz [14,15]
Kalite	20.94	42.29

37159.51 $\text{cm}^{-1} (J = 15/2)$ enerji seviyesine ait fit analizi

37159.51 cm^{-1} ince yapı enerji seviyesinin manyetik dipol hfs sabiti üç farklı geçiş kullanılarak ilk defa bu çalışmada belirlendi. Her üç geçişte de literatürden alınan alt ince yapı enerji seviyesine ait hfs sabiti fit işlemi süresince sabit tutuldu.

- Şekil 4.6a’da verilen $37159.51 \text{ cm}^{-1} (J = 15/2) \rightarrow 19466.663 \text{ cm}^{-1} (J = 13/2)$ geçişine ait fit işlemi sonucu bulunan ağırlık merkezi $17692.850 \text{ cm}^{-1}$ dir.
- $37159.51 \text{ cm}^{-1} (J = 15/2) \rightarrow 17454.818 \text{ cm}^{-1} (J = 13/2)$ geçişine ait en iyi fit sonucu Şekil 4.6b’de verildi. Çizginin ağırlık merkezi fit işlemi sonucu $19704.692 \text{ cm}^{-1}$ olarak belirlendi.

- $37159.51 \text{ cm}^{-1} (J = 15/2) \rightarrow 18693.074 \text{ cm}^{-1} (J = 15/2)$ geçişi için en iyi fit sonuçları Şekil 4.6c’de verildi. Fit işlemi sonucu elde edilen ağırlık merkezi ise $18466.444 \text{ cm}^{-1}$ dir.



Şekil 4.6: (a) $\lambda = 565.0433 \text{ nm}$, (b) $\lambda = 507.3518 \text{ nm}$, (c) $\lambda = 541.3725 \text{ nm}$ geçişleri için en iyi fit spektrumları.

Üç geçişe ait fit sonuçları Tablo 4.6’da listelendi. Sonuç olarak incelenen bu üç çizginin analizi sonucunda $37159.51 \text{ cm}^{-1} (J = 15/2)$ enerji seviyesine ait A değeri -551.3 (1.0) MHz olarak bulundu.

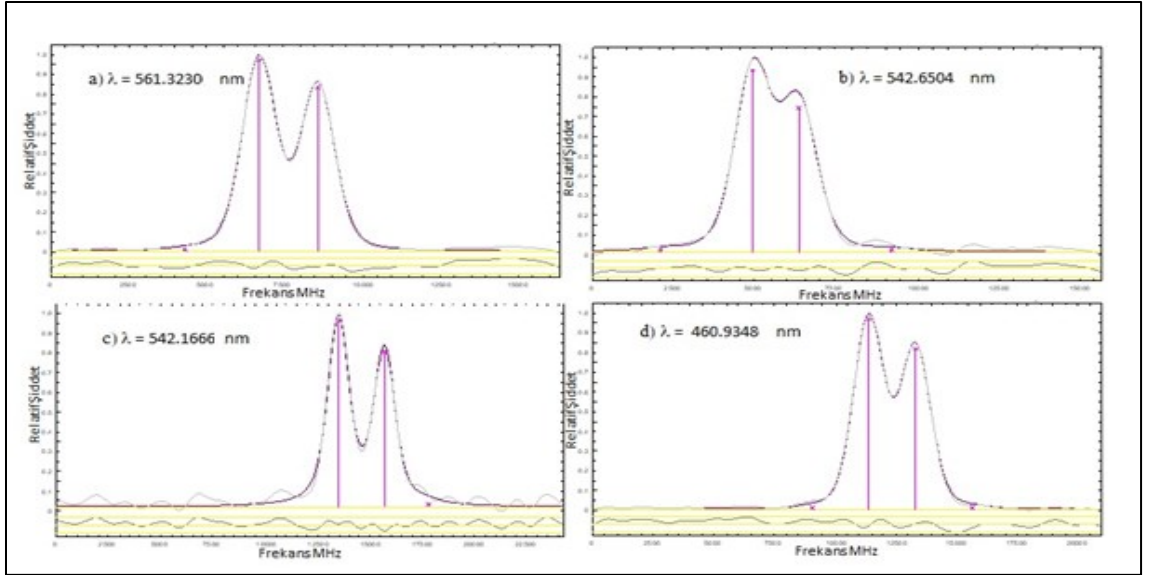
Tablo 4.6: $\lambda = 565.0433 \text{ nm}$, $\lambda = 507.3518 \text{ nm}$, $\lambda = 541.3725 \text{ nm}$ geçişleri için en iyi fit sonuçları.

Parametre	$\lambda = 565.0433 \text{ nm}$	$\lambda = 507.3518 \text{ nm}$	$\lambda = 541.3725 \text{ nm}$
Yarı Genişlik (Voigt)	1285.69 MHz	1387.67 MHz	1338.51 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	1108.52 MHz	1223.53 MHz	1095.81 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	314.70 MHz	294.18 MHz	422.46 MHz
Gauss/Voigt	0.862	0.882	0.819
$A_{\text{üst}}$	-550.38 (0.52) MHz	-549.55 (0.35) MHz	-553.09 (0.86) MHz
A_{alt}	-342.84(28) MHz [14,15]	-365.91(55) MHz [15]	-323.88(30) MHz [15]
Kalite	49.06	80.50	33.30

37276.778 cm⁻¹ ($J = 11/2$) enerji seviyesine ait fit analizi

Bu ince yapı enerji seviyesine ait manyetik dipol hfs sabiti dört farklı geçişe ait çizginin fit edilmesi ile ilk defa bu çalışmada belirlendi. Tüm geçişlerde alt ince yapı enerji seviyesine ait hfs sabiti daha önceki yapılan çalışmalardan belirlendi ve fit işlemi süresince sabit tutuldu.

- Üç hfs bileşenine sahip olan 37276.778 cm⁻¹ ($J = 11/2$) → 19466.663 cm⁻¹ ($J = 13/2$) geçişinin fit edilmiş hali Şekil 4.7a'da verildi. Çizginin ağırlık merkezi 17810.113 cm⁻¹ olarak bulundu.
- Dört hfs bileşenli 37276.778 cm⁻¹ ($J = 11/2$) → 18853.823 cm⁻¹ ($J = 11/2$) geçişine ait en iyi fit spektrumu Şekil 4.7b'de verildi. 18422.951 cm⁻¹ çizginin ağırlık merkezi olarak belirlendi.
- Diğer bir üç hfs bileşenli 37276.778 cm⁻¹ ($J = 11/2$) → 18837.385 cm⁻¹ ($J = 9/2$) geçişi için yapılan fit işlemi sonucunda çizginin ağırlık merkezi 18439.392 cm⁻¹ bulundu ve en iyi fit sonucu Şekil 4.7c'de verildi.
- Son olarak 37276.778 cm⁻¹ ($J = 11/2$) → 15587.811 cm⁻¹ ($J = 11/2$) geçişine ait spektrum fit edildi. Çizgi ağırlık merkezi 21688.967 cm⁻¹ olarak belirlendi ve en iyi fit spektrumu Şekil 4.7d'de verildi.



Şekil 4.7: (a) $\lambda = 561.3230$ nm, (b) $\lambda = 542.6504$ nm, (c) $\lambda = 542.1666$ nm, (d) $\lambda = 460.9348$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.

Fit işlemi sonunda elde edilen veriler Tablo 4.7’de verildi. İncelenen bu dört çizginin analizi neticesinde $37276.778 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 11/2$) enerji seviyesine ait A değeri -716.5 (1.8) MHz olarak bulundu.

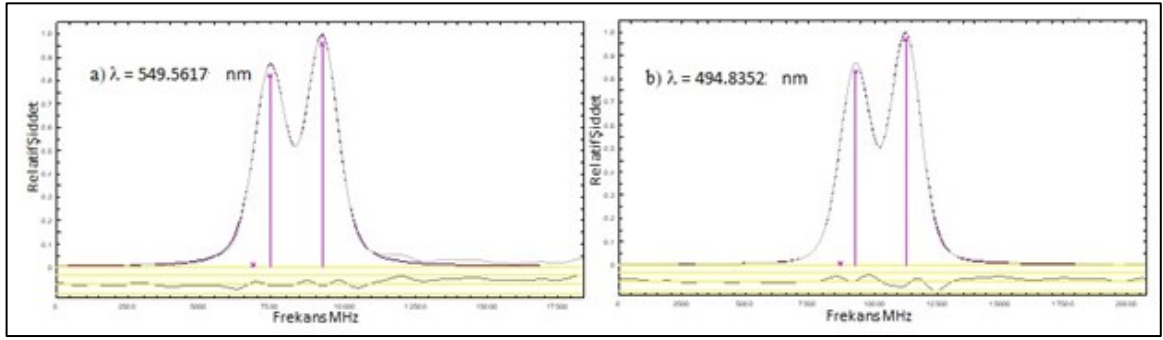
Tablo 4.7: $\lambda = 561.3230 \text{ nm}$, $\lambda = 542.6504 \text{ nm}$, $\lambda = 542.1666 \text{ nm}$, $\lambda = 460.9348 \text{ nm}$ geçişleri için en iyi fit sonuçları.

Parametre	$\lambda = 561.3230 \text{ nm}$	$\lambda = 542.6504 \text{ nm}$	$\lambda = 542.1666 \text{ nm}$	$\lambda = 460.9348 \text{ nm}$
Yarı Genişlik (Voigt)	1310.70 MHz	1343.20 MHz	1228.73 MHz	1496.04 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	1104.56 MHz	1114.69 MHz	805.82 MHz	1334.82 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	362.86 MHz	399.85 MHz	678.94 MHz	290.35 MHz
Gauss/Voigt	0.843	0.830	0.656	0.892
$A_{\text{üst}}$	-714.47 (1.32) MHz	-711.79 (2.22) MHz	-719.33 (3.88) MHz	-713.77 (1.15) MHz
A_{alt}	-342.84(28) MHz [15]	-476.51(27) MHz [15]	-422.4(9) MHz [8]	-390.46(28) MHz [15]
Kalite	34.08	24.79	9.77	39.58

37657.928 cm^{-1} ($J = 11/2$) enerji seviyesine ait fit analizi

$37657.928 \text{ cm}^{-1}$ değerindeki ince yapı enerji seviyesinin manyetik dipol hfs sabiti, iki farklı geçişe ait çizgiyi fit ederek ile ilk defa bu çalışmada elde edildi. Her iki fit işleminde alt ince yapı enerji seviyesine ait hfs sabiti daha önceki yapılan çalışmalardan belirlenen değerinde fit işlemi süresince sabit tutuldu.

- $37657.928 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 11/2$) $\rightarrow$ $19466.663 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 13/2$) geçişine ait çizginin fit işlemi sonucu elde edilen çizgi ağırlık merkezi değeri $18191.268 \text{ cm}^{-1}$ olarak belirlendi. Çizgiye ait en iyi fit spektrumu ise Şekil 4.8a’da verildi.
- $37657.928 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 11/2$) $\rightarrow$ $17454.818 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 13/2$) geçişi için ağırlık merkezi $20203.113 \text{ cm}^{-1}$ olarak belirlendi. En iyi fit sonucu elde edilen spektrum Şekil 4.8b’de verildi.



Şekil 4.8: (a) $\lambda = 549.5617$ nm, (b) $\lambda = 494.8352$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.

Fit işlemlerinin sonuçları Tablo 4.8’de verildi. Sonuç olarak; incelenen bu iki çizginin analizi ile $37657.928 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 11/2$) enerji seviyesine ait A değeri -95.2 (0.6) MHz olarak bulundu.

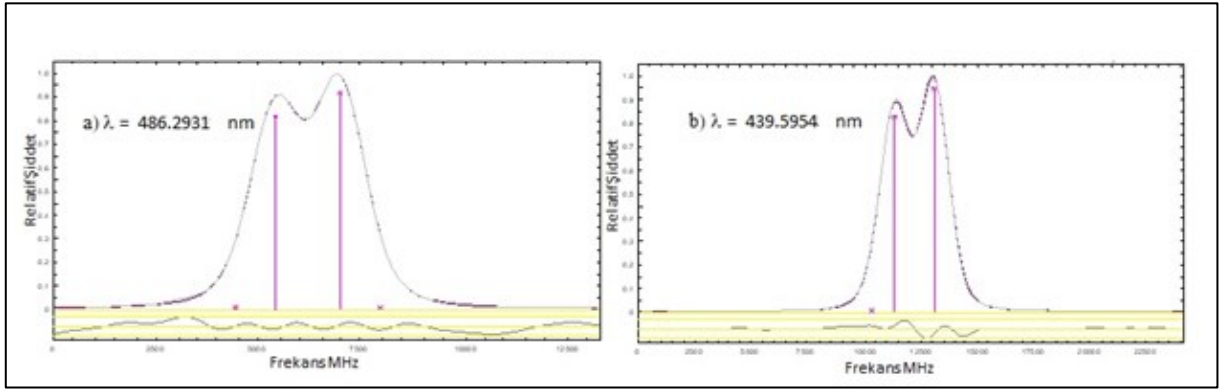
Tablo 4.8: $\lambda = 549.5617$ nm, $\lambda = 494.8352$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.

Parametre	$\lambda = 549.5617$ nm	$\lambda = 494.8352$ nm
Yarı Genişlik (Voigt)	1319.05 MHz	1434.06 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	999.37 MHz	1217.42 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	540.38 MHz	382.45 MHz
Gauss/Voigt	0.758	0.849
$A_{\text{üst}}$	-94.89 (1.83) MHz	-96.34 (0.55) MHz
A_{alt}	-342.84(28) MHz [15]	-365.91(55) MHz [15]
Kalite	24.57	79.51

38012.795 cm^{-1} ($J = 13/2$) enerji seviyesine ait fit analizi

Bu seviyeye ait manyetik dipol hfs sabiti iki geçişe ait çizgiler fit edilerek bulundu ve en iyi fit spektrumları Şekil 4.9a ve Şekil 4.9b’de verildi.

- $38012.795 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 13/2$) $\rightarrow$ $17454.818 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 13/2$) geçişinde elde edilen çizgi ağırlık merkezi değeri $20557.987 \text{ cm}^{-1}$ dir.
- $38012.795 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 13/2$) $\rightarrow$ $15271.002 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 15/2$) geçişine sahip olan ikinci fit edilen çizgi için bulunan ağırlık merkezi değeri $22741.801 \text{ cm}^{-1}$ dir.



Şekil 4.9: (a) $\lambda = 486.2931$ nm, (b) $\lambda = 439.5954$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.

Fit işlemlerine ait sonuçlar Tablo 4.9’da verildi. Sonuç olarak incelenen iki spektral çizginin analizi ile $38012.795 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 13/2$) enerji seviyesine ait A değeri -143.1 (1.0) MHz olarak bulundu.

Tablo 4.9: $\lambda = 486.2931$ nm, $\lambda = 439.5954$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.

Parametre	$\lambda = 486.2931$ nm	$\lambda = 439.5954$ nm
Yarı Genişlik (Voigt)	1489.80 MHz	1565.00 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	1212.64 MHz	1365.48 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	481.35 MHz	356.08 MHz
Gauss/Voigt	0.814	0.873
$A_{\text{üst}}$	-140.74 (0.5) MHz	-143.5 (0.55) MHz
A_{alt}	-365.91(55) MHz [15]	-345.18(23) MHz [15]
Kalite	110.32	72.76

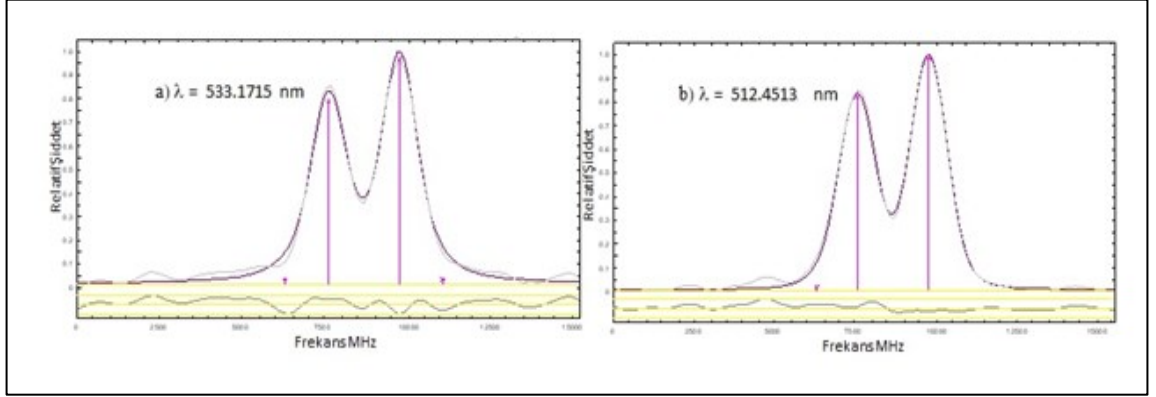
38499.016 cm^{-1} ($J = 9/2$) enerji seviyesine ait fit analizi

İki farklı geçişe ait çizgi fit edilerek $38499.016 \text{ cm}^{-1}$ ince yapı enerji seviyesinin manyetik dipol hfs sabiti ilk defa bu çalışmada belirlendi. Alt enerji seviyesinin hfs bilgileri Kröger 97’den [21] alındı ve fit işlemi süresince sabit tutuldu.

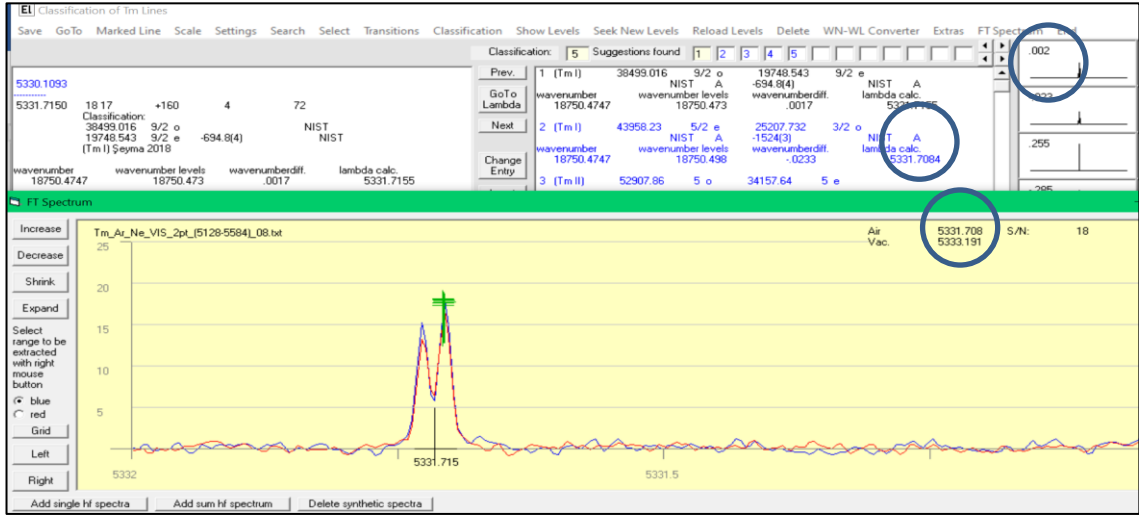
- Şekil 4.10a’da verilen $38499.016 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 9/2$) $\rightarrow 19748.543 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 9/2$) geçişi için elde edilen en iyi fit spektrumu incelendiğinde kanatlarda ve iki pik arasındaki minimuma iniş bölgesinde istenilen düzeyde uyum olmadığı görüldü. Bunun nedenini anlayabilmek için Şekil 4.11’de verilen sınıflandırma programı verilerini incelemek gerekir. Burada verilen geçişe ait toplam 5 adet sınıflandırma önerisi mevcuttur. Bu

önerilerden son üç tanesinin $\Delta\sigma$ değeri sınıflandırma kriterimiz olan 0.1 değerinden büyüktür. Oysa ilk iki tanesi sınıflandırma kriterini sağlamaktadır ve bu çizgiye ait sınıflandırma Sugar tarafından [9] yapılmıştır. O nedenle $\Delta\sigma$ değeri küçük olan ilk seçenek bu geçişe ait sınıflandırma olarak belirlendi. Fakat ikinci geçiş olasılığında verilen dalgaboyu spektrum üzerinde işaretlendiğinde (yeşil artı işareti) sağdaki pikin üzerinde bir bölgede olduğu görülmektedir. Bu durum bize ikinci öneride verilen geçişin de bu bölgede var olup bu çizgi ile karışık olduğunu ve bu nedenle fit işleminin sonucunu etkilediğini gösterir. Fit işlemi sonucu belirlenen çizgi ağırlık merkezi değeri ise $18750.479 \text{ cm}^{-1}$ dir.

- $38499.016 \text{ cm}^{-1} (J = 9/2) \rightarrow 18990.406 \text{ cm}^{-1} (J = 11/2)$ geçişinin en iyi fit spektrumu Şekil 4.10b’de verildi ve çizgi ağırlık merkezi ise $19508.614 \text{ cm}^{-1}$ bulundu.



Şekil 4.10: (a) $\lambda = 533.1715 \text{ nm}$, (b) $\lambda = 512.4513 \text{ nm}$ geçişleri için en iyi fit spektrumları.



Şekil 4.11: 38499.016 cm⁻¹ ($J = 9/2$) → 19748.543 cm⁻¹ ($J = 9/2$) geçişi için sınıflandırma programı önerileri.

Fit işlemi sonucu elde edilen tüm veriler Tablo 4.10'da verildi. Sonuç olarak; bu iki spektral çizginin analizi ile 38499.016 cm⁻¹ ($J=9/2$) enerji seviyesi için A değeri -254.5(5.1) MHz olarak belirlendi.

Tablo 4.10: $\lambda = 533.1715$ nm, $\lambda = 512.4513$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.

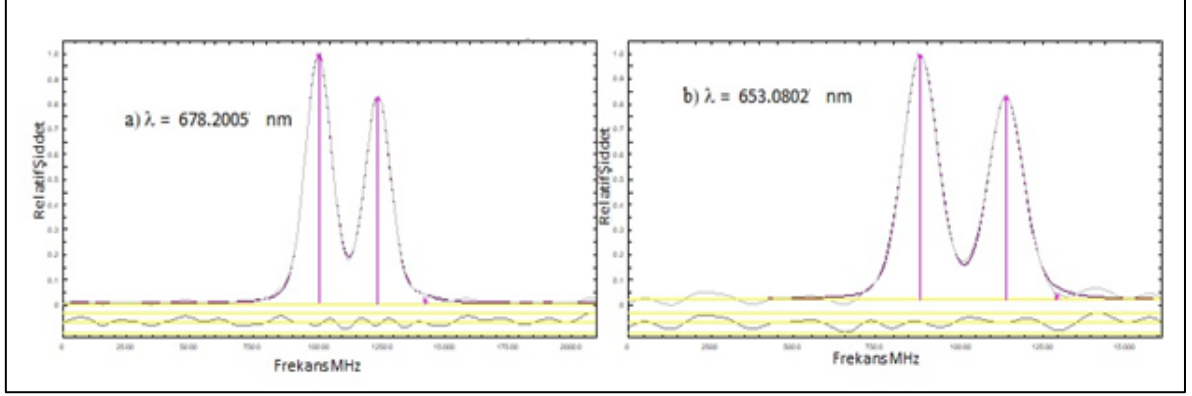
Parametre	$\lambda = 533.1715$ nm	$\lambda = 512.4513$ nm
Yarı Genişlik (Voigt)	1314.01 MHz	1369.29 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	906.11 MHz	1218.60 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	666.41 MHz	271.10 MHz
Gauss/Voigt	0.690	0.890
$A_{\text{üst}}$	-263.6 (3.7) MHz	-251.69 (2.53) MHz
A_{alt}	-694.8(4) MHz [21]	-581.4(1.3) MHz [21]
Kalite	16.48	22.55

39089.533 cm⁻¹ ($J = 11/2$) enerji seviyesine ait fit analizi

39089.533 cm⁻¹ ince yapı enerji seviyesine ait manyetik dipol hfs sabiti iki farklı geçişten yararlanılarak ilk defa bu çalışmada belirlenirken fit işlemi yapılırken alt enerji seviyesinin hfs sabitleri literatürdeki değerlerinde sabit tutuldu.

- 39089.533 cm⁻¹ ($J = 11/2$) → 24348.692 cm⁻¹ ($J = 9/2$) geçişinde çizgi ağırlık merkezi 14740.953 cm⁻¹ olarak belirlendi ve en iyi fite ait spektrum Şekil 4.12a'da

görülmektedir. Şekil 4.12b’de $39089.533 \text{ cm}^{-1} (J = 11/2) \rightarrow 23781.698 \text{ cm}^{-1} (J = 9/2)$ için en iyi fit spektrumu verildi. Burada çizgi ağırlık merkezi $15307.830 \text{ cm}^{-1}$ dir.



Şekil 4.12: (a) $\lambda = 678.2005 \text{ nm}$, (b) $\lambda = 653.0802 \text{ nm}$ geçişleri için en iyi fit spektrumları.

İki çizginin analizi sonucunda $39089.533 \text{ cm}^{-1} (J = 11/2)$ enerji seviyesinin A değeri $-700.4(1.9) \text{ MHz}$ olarak bulundu. Her iki geçişe ait fit sonuçları Tablo 4.11’de listelendi.

Tablo 4.11: (a) $\lambda = 678.2005 \text{ nm}$, (b) $\lambda = 653.0802 \text{ nm}$ geçişleri için en iyi fit sonuçları.

Parametre	$\lambda = 678.2005 \text{ nm}$	$\lambda = 653.0802 \text{ nm}$
Yarı Genişlik (Voigt)	1204.31 MHz	1251.22 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	1045.64 MHz	1119.24 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	282.62 MHz	237.93 MHz
Gauss/Voigt	0.868	0.895
$A_{\text{üst}}$	-700.7 (0.94) MHz	-687.94 (2.22) MHz
A_{alt}	-371.7(1.5) MHz [29]	-306(18) MHz [31]
Kalite	39.55	19.98

39244.584 $\text{cm}^{-1} (J = 9/2)$ enerji seviyesine ait fit analizi

Bu seviye için belirlenen üç farklı geçiş ve geçişe ait en iyi fit sonuçları sırası ile Şekil 4.13a, Şekil 4.13b ile Şekil 4.13c’de verildi.

Fit işlemi yapılırken alt enerji seviyesinin hfs sabitleri literatürdeki değerlerinde sabit tutuldu. Her bir geçiş ve çizgiye ait ağırlık merkezleri (σ_{cam}) belirlendi.

- 39244.584 $\text{cm}^{-1} (J = 9/2) \rightarrow 19748.543 \text{ cm}^{-1} (J = 9/2)$ geçişi için;

$$\sigma_{\text{cam}} = 19496.013 \text{ cm}^{-1}$$

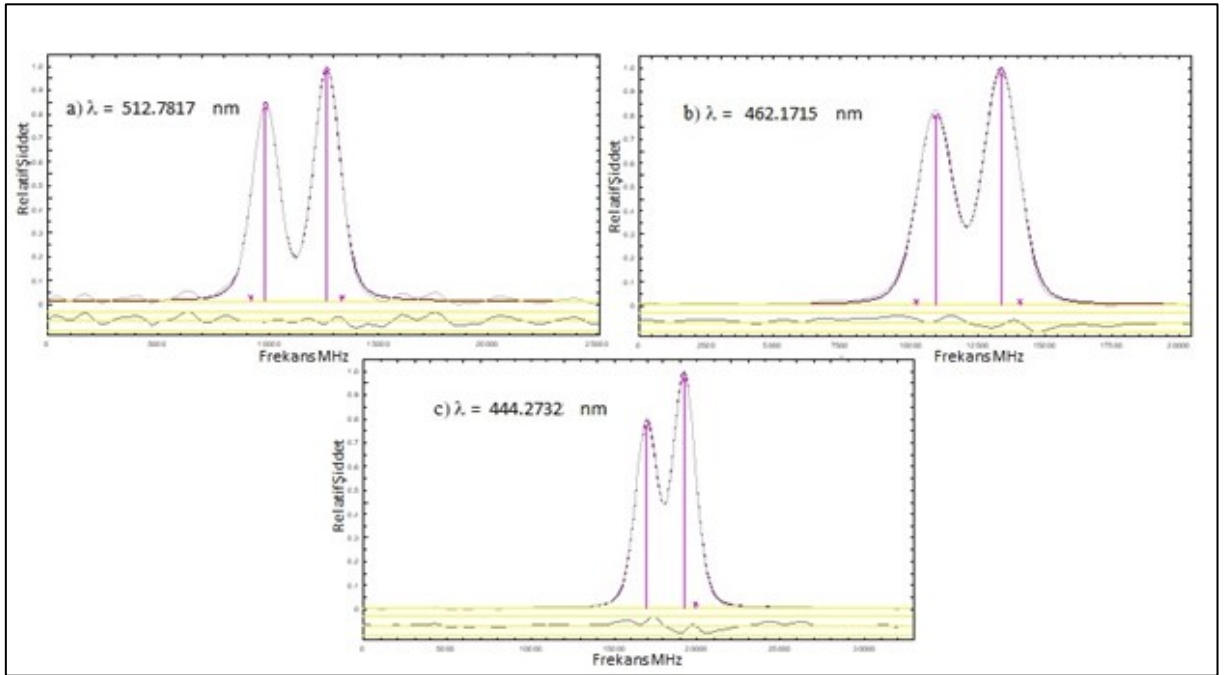
- $39244.584 \text{ cm}^{-1} (J = 9/2) \rightarrow 17613.659 \text{ cm}^{-1} (J = 9/2)$ geçişi için;

$$\sigma_{\text{cam}} = 21630.935 \text{ cm}^{-1}$$

- $39244.584 \text{ cm}^{-1} (J = 9/2) \rightarrow 16742.237 \text{ cm}^{-1} (J = 7/2)$ geçişi için;

$$\sigma_{\text{cam}} = 22502.361 \text{ cm}^{-1}$$

Sonuç olarak; incelenen üç spektral çizgi analizi ile $39244.584 \text{ cm}^{-1} (J = 9/2)$ seviyesi için A sabiti $-140.1(0.3) \text{ MHz}$ olarak belirlendi.



Şekil 4.13: (a) $\lambda = 512.7817 \text{ nm}$, (b) $\lambda = 462.1715 \text{ nm}$, (c) $\lambda = 444.2733 \text{ nm}$ geçişleri için en iyi fit spektrumları.

İncelenen üç spektral geçişe ait fit sonuçları Tablo 4.12’de listelendi.

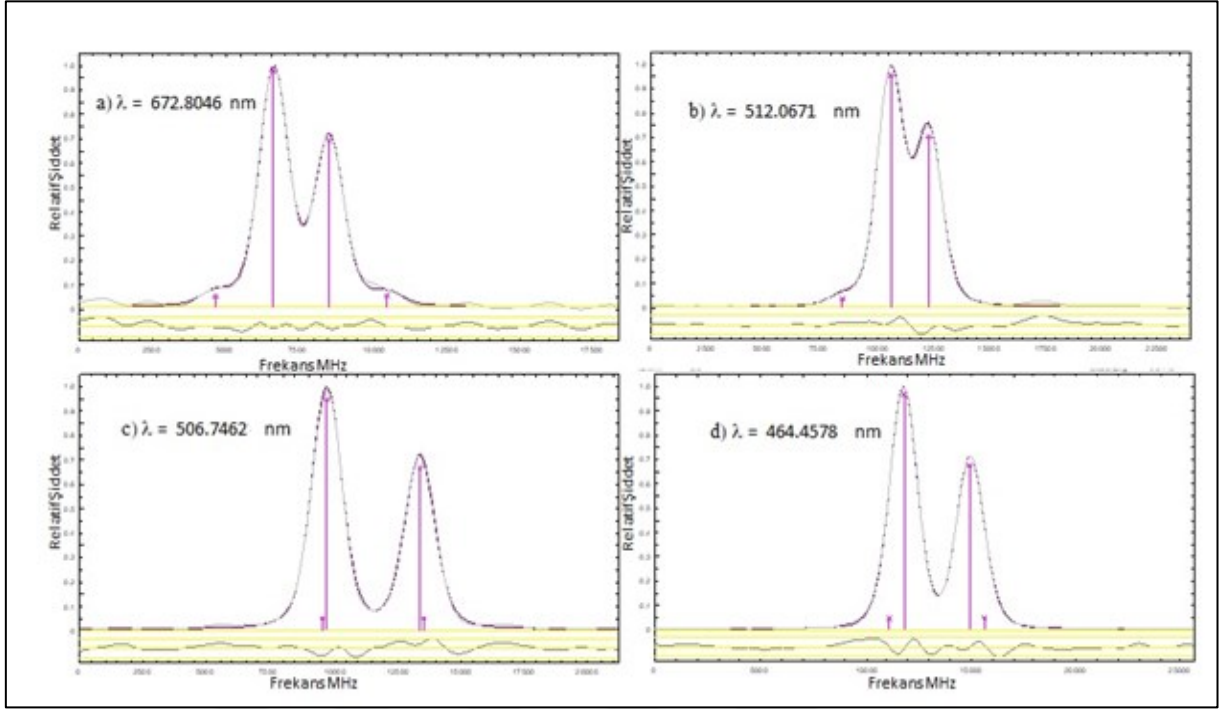
Tablo 4.12: $\lambda = 512.7817$ nm, $\lambda = 462.1715$ nm, $\lambda = 444.2733$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.

Parametre	$\lambda = 512.7817$ nm	$\lambda = 462.1715$ nm	$\lambda = 444.2732$ nm
Yarı Genişlik (Voigt)	1408.10 MHz	1514.16 MHz	1560.29 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	1181.56 MHz	1321.22 MHz	1357.10 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	398.10 MHz	344.36 MHz	362.17 MHz
Gauss/Voigt	0.839	0.873	0.870
$A_{\text{üst}}$	-138.53 (2.42) MHz	-140.46 (1.62) MHz	-140.22 (0.86) MHz
A_{alt}	-694.8(4) MHz [21]	-629.25(8) MHz [10]	-736.6(1.0) MHz [13]
Kalite	20.45	35.21	53.41

39277.087 cm⁻¹ ($J = 5/2$) enerji seviyesine ait fit analizi

39277.087 cm⁻¹ seviyesi için belirlenen dört farklı geçiş ve geçişe ait en iyi fit sonuçları sırası ile Şekil 4.14a, Şekil 4.14b, Şekil 4.14c ve Şekil 4.14d’de verildi. Fit işlemi süresince alt enerji seviyesinin hfs sabitleri literatürdeki değerlerinde sabit tutuldu. Her bir geçişin yanında çizgiye ait ağırlık merkezleri (σ_{cam}) belirtildi.

- 39277.087 cm⁻¹ ($J = 5/2$) $\rightarrow$ 24418.018 cm⁻¹ ($J = 5/2$) $\sigma_{\text{cam}} = 14859.061$ cm⁻¹
- 39277.087 cm⁻¹ ($J = 5/2$) $\rightarrow$ 19753.83 cm⁻¹ ($J = 7/2$) $\sigma_{\text{cam}} = 19523.252$ cm⁻¹
- 39277.087 cm⁻¹ ($J = 5/2$) $\rightarrow$ 19548.834 cm⁻¹ ($J = 5/2$) $\sigma_{\text{cam}} = 19728.245$ cm⁻¹
- 39277.087 cm⁻¹ ($J = 5/2$) $\rightarrow$ 17752.634 cm⁻¹ ($J = 5/2$) $\sigma_{\text{cam}} = 21524.454$ cm⁻¹



Şekil 4.14: (a) $\lambda = 672.8046$ nm, (b) $\lambda = 512.0671$ nm, (c) $\lambda = 506.7462$ nm , (d) $\lambda = 464.4578$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.

Fit işlemlerinin sonuçları Tablo 4.13’de listelendi. Sonuç olarak; dört spektral çizgi analiz edildi ve $39277.087 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 5/2$) enerji seviyesinin A değeri $-1279.5(2.8)$ MHz olarak belirlendi.

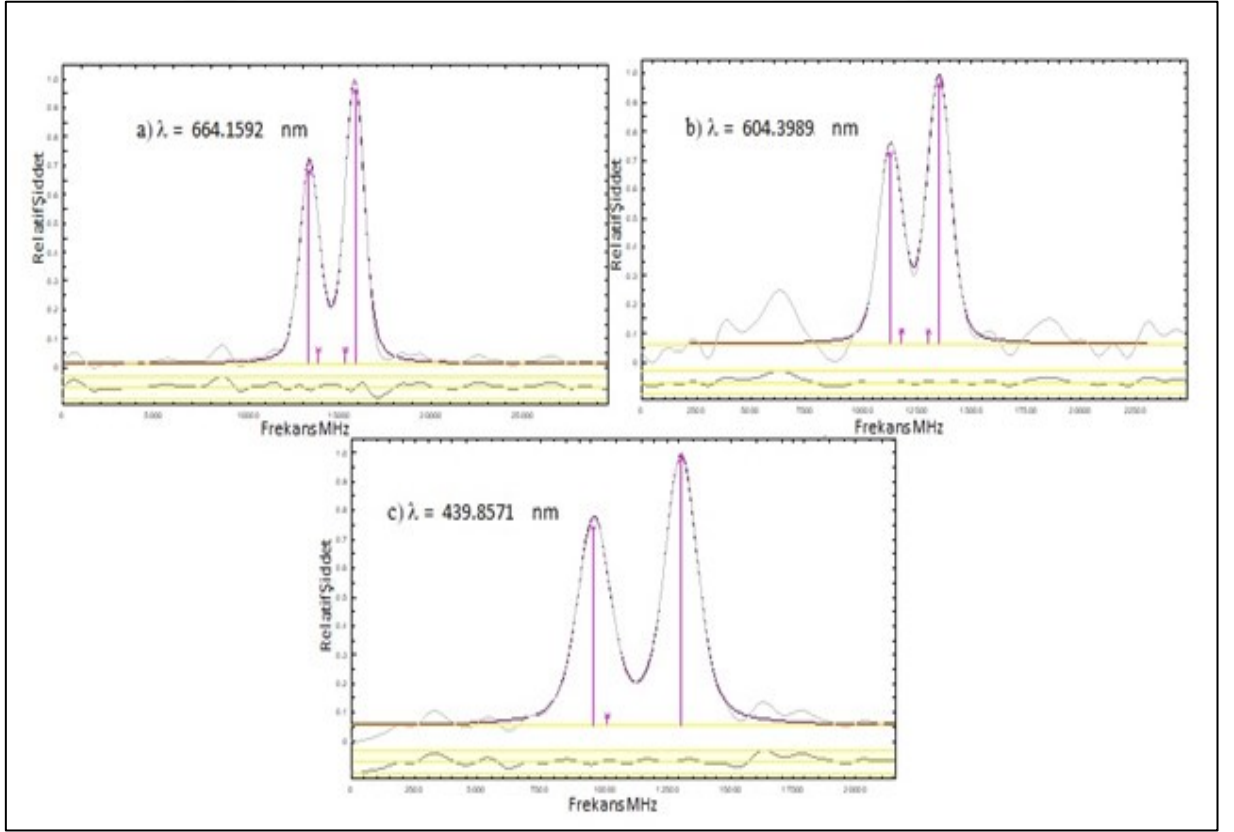
Tablo 4.13: $\lambda = 672.8046$ nm, $\lambda = 512.0671$ nm, $\lambda = 506.7462$ nm , $\lambda = 464.4578$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.

Parametre	$\lambda = 672.8046$ nm	$\lambda = 512.0671$ nm	$\lambda = 506.7462$ nm	$\lambda = 464.4578$ nm
Yarı Genişlik (Voigt)	1191.11 MHz	1419.44 MHz	1418.32 MHz	1522.82 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	947.12 MHz	1202.81 MHz	1175.15 MHz	1321.99 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	419.97 MHz	382.17 MHz	425.23 MHz	357.70 MHz
Gauss/Voigt	0.795	0.847	0.829	0.868
$A_{\text{üst}}$	-1290.83(3.34) MHz	-1281.99(2.29) MHz	-1272.72(2.77) MHz	-1278.91(1.35) MHz
A_{alt}	-659(2)MHz [10]	-536.6(9) MHz [10]	-57(2) MHz [10]	-235.5(1.0)MHz [13]
Kalite	25.26	38.54	33.26	67.87

39470.489 cm⁻¹ ($J = 5/2$) enerji seviyesine ait fit analizi

Bu seviye için üç tane iki pike sahip geçiş mevcuttur. Geçişlere ait en iyi fit sonuçları sırası ile Şekil 4.15a, Şekil 4.15b, ve Şekil 4.15c’de verildi. Fit işlemi süresince alt enerji seviyesinin hfs sabitleri literatürdeki değerlerinde sabit tutuldu. Her bir geçişin yanında çizgiye ait ağırlık merkezleri (σ_{cam}) belirtildi.

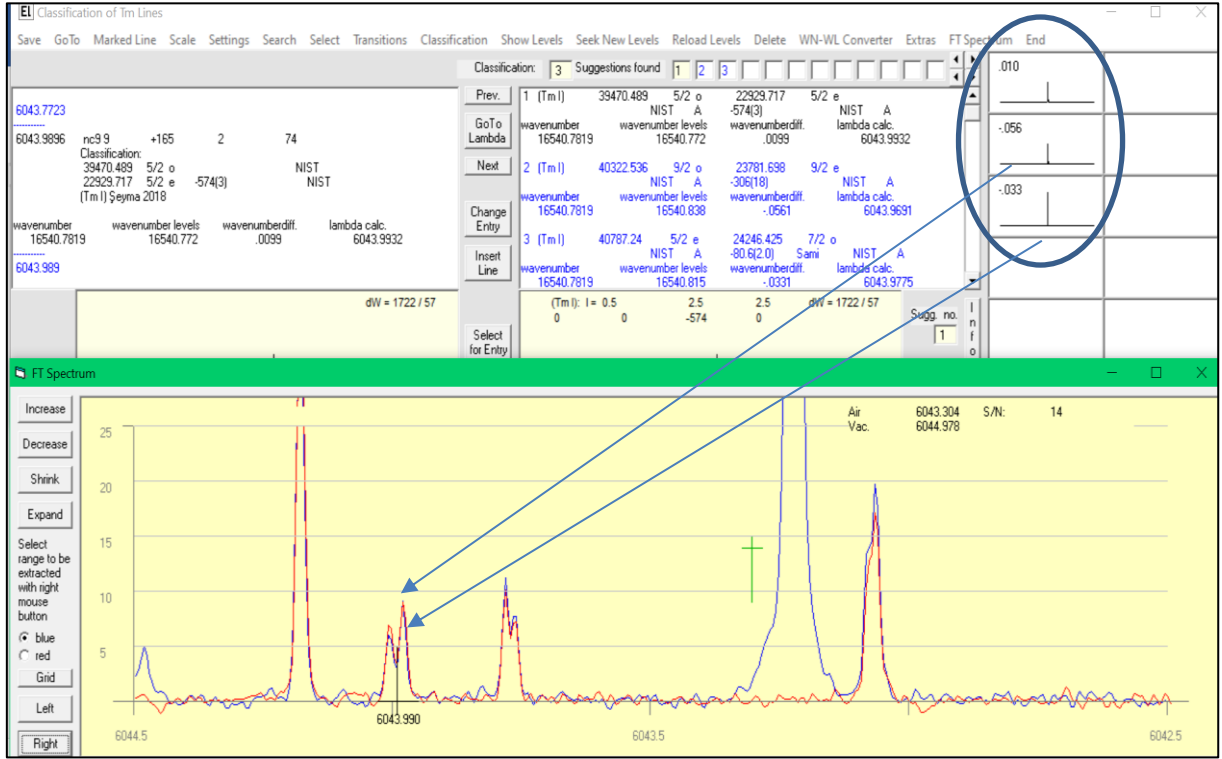
- 39470.489 cm⁻¹ ($J = 5/2$) → 24418.018 cm⁻¹ ($J = 5/2$) $\sigma_{\text{cam}} = 15052.478$ cm⁻¹
- 39470.489 cm⁻¹ ($J = 5/2$) → 22929.717 cm⁻¹ ($J = 5/2$) $\sigma_{\text{cam}} = 16540.787$ cm⁻¹
- 39470.489 cm⁻¹ ($J = 5/2$) → 16742.237 cm⁻¹ ($J = 7/2$) $\sigma_{\text{cam}} = 22728.271$ cm⁻¹



Şekil 4.15: (a) $\lambda = 664.1592$ nm, (b) $\lambda = 604.3989$ nm, (c) $\lambda = 439.8571$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.

Şekil 4.15b’de verilen en iyi fit spektrumu incelendiğinde özellikle spektrumun sağ kanat kısmında ve iki pik arasındaki minimuma iniş bölgesinde istenilen düzeyde uyum sağlanamadığı görüldü. Bunun nedenini açıklayabilmek için Şekil 4.16’de verilen sınıflandırma programı verileri incelendi. Verilen geçiş için toplam 3 tane sınıflandırma önerisi mevcuttur. Bu önerilerden hepsi $\Delta\sigma$ değeri sınıflandırma kriterimiz olan 0.1 değerinden küçüktür ve

birbirlerine oldukça yakındırlar. İkinci ve üçüncü geçiş olasılığında verilen dalgaboyu spektrum üzerinde sağdaki pikin üzerinde bir bölgede oklarla gösterildi. Bu durum bize öneride verilen geçişlerin de bu bölgede var olup bu çizgi ile karışık olduğunu ve bu nedenle fit işleminin sonucunu etkilediğini gösterir. Üç spektral çizgi analizi ile $39470.489 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 5/2$) enerji seviyesinin A değeri $175.5(1.7) \text{ MHz}$ olarak belirlendi.



Şekil 4.16: $39470.489 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 5/2$) $\rightarrow$ $22929.717 \text{ cm}^{-1}$ ($J = 5/2$) geçişi için sınıflandırma programı önerileri

Fit işlemlerinin sonuçları Tablo 4.14’de listelendi.

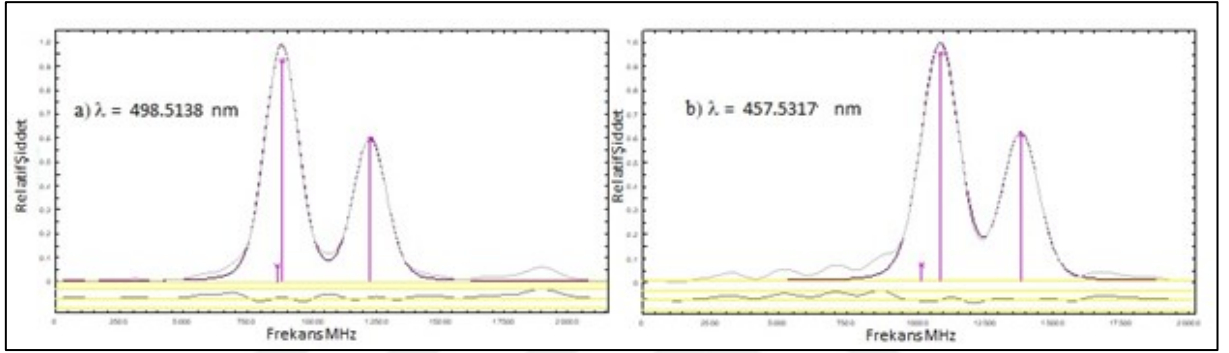
Tablo 4.14: $\lambda = 664.1592 \text{ nm}$, $\lambda = 604.3989 \text{ nm}$, $\lambda = 439.8571 \text{ nm}$ geçişleri için en iyi fit sonuçları.

Parametre	$\lambda = 664.1592 \text{ nm}$	$\lambda = 604.3989 \text{ nm}$	$\lambda = 439.8571 \text{ nm}$
Yarı Genişlik (Voigt)	1224.29 MHz	1257.5 MHz	1541.56 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	995.17 MHz	1064.1 MHz	1147.26 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	397.71 MHz	340.99 MHz	662.14 MHz
Gauss/Voigt	0.813	0.846	0.744
$A_{\text{üst}}$	173.59 (5.64) MHz	175.35 (18.49) MHz	178.66 (8.12) MHz
A_{alt}	-659(2) MHz [10]	-574(3) MHz [8]	-736.6(1.0) MHz [13]
Kalite	13.03	4.44	12.78

39602.902 cm⁻¹ ($J = 3/2$) enerji seviyesine ait fit analizi

Bu seviye için iki tane geçiş mevcuttur. Bu geçişlerin en iyi fit sonuçları sırası ile Şekil 4.17a, ve Şekil 4.17b’de verildi. Fit işlemi yapılırken alt enerji seviyesinin hfs sabitleri literatürdeki değerlerinde sabit tutuldu. Geçişlerin yanında çizgilerin ağırlık merkezleri (σ_{cam}) belirtildi.

- 39602.902 cm⁻¹ ($J = 3/2$) → 19548.834 cm⁻¹ ($J = 5/2$) $\sigma_{\text{cam}} = 20054.074$ cm⁻¹
- 39602.902 cm⁻¹ ($J = 3/2$) → 17752.634 cm⁻¹ ($J = 5/2$) $\sigma_{\text{cam}} = 21850.284$ cm⁻¹



Şekil 4.17: (a) $\lambda = 498.5138$ nm, (b) $\lambda = 457.5317$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.

Şekil 4.17a’da verilen en iyi fit spektrumu incelendiğinde özellikle spektrumun sol kanat kısmında ve iki pik arasındaki minimuma iniş bölgesinde istenilen düzeyde uyum sağlanamamıştır. Bu durumu açıklayabilmek için Şekil 4.18’de verilen FT spektrumu ve sınıflandırma programı verileri incelendi. Geçişin sınıflandırılması literatürde üç farklı kaynakta mevcuttur [9, 20,31]. Bu geçiş için toplam 3 tane sınıflandırma önerisi mevcuttur. Üçüncü öneri Ar ile ilgili olduğu için geçerli değildir. Çünkü her iki asal gaz ile alınan spktrumda da aynı yapı aynı S/N oranında mevcuttur. Diğer iki öneri de $\Delta\sigma$ değeri sınıflandırma kriterimiz olan 0.1 değerinden küçüktür İkinci öneride verilen dalgaboyu spektrumda soldaki pikin üzerinde bir bölgededir ve bir ok ile gösterilmiştir. Bu durum bize öneride verilen geçişin de bu bölgede var olup bu çizgi ile karışık olduğunu ve bu nedenle fit işleminin sonucunu etkilediğini gösterir.

Şekil 4.17b’de ise spektrumun kanatlarında fit işlemine etkileyecek bir gürültü mevcuttur.



Şekil 4.18: $39602.902 \text{ cm}^{-1} (J = 3/2) \rightarrow 19548.834 \text{ cm}^{-1} (J = 5/2)$ geçişi için sınıflandırma programı önerileri.

Fit işlemlerine ait sonuçlar ise Tablo 4.15’de listelendi. Sonuç olarak; $39602.902 \text{ cm}^{-1} (J = 3/2)$ enerji seviyesinin A değeri $-1811.6(1.4) \text{ MHz}$ olarak belirlendi.

Tablo 4.15: $\lambda = 498.5138 \text{ nm}$, $\lambda = 457.5317 \text{ nm}$ geçişleri için en iyi fit sonuçları.

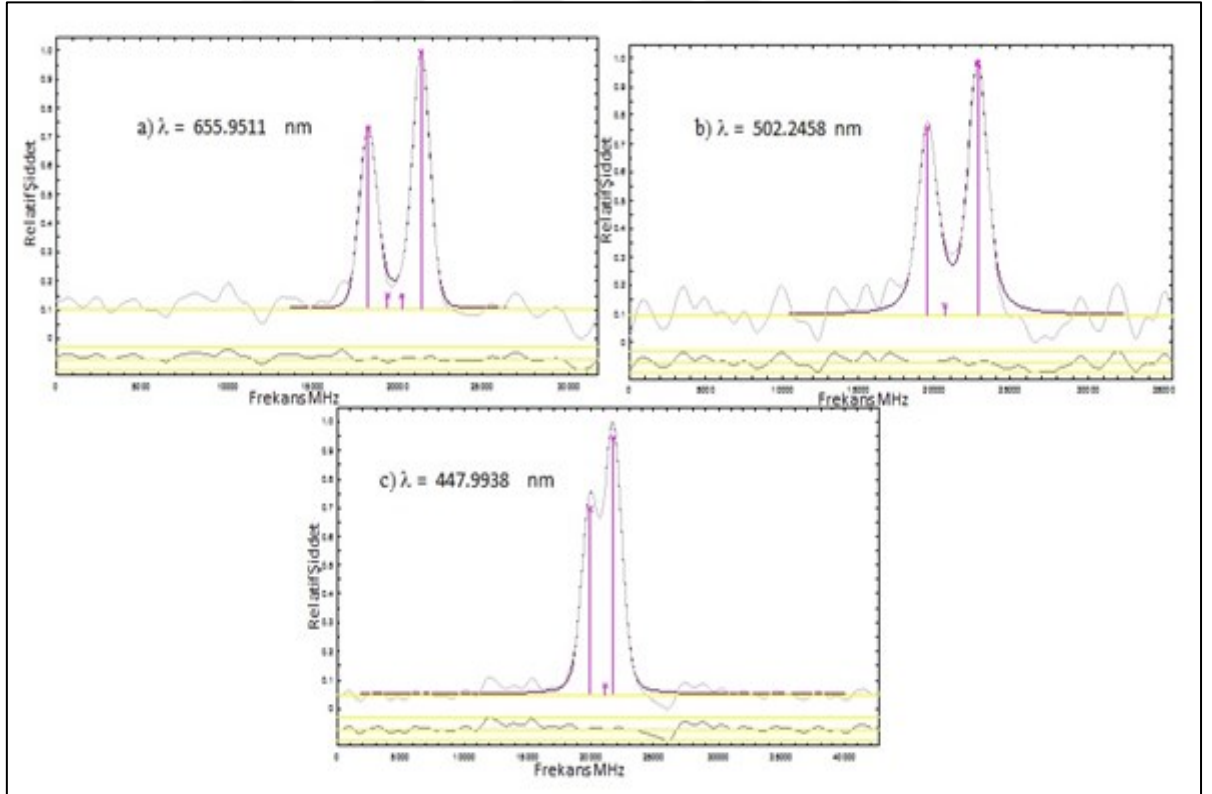
Parametre	$\lambda = 498.5138 \text{ nm}$	$\lambda = 457.5317 \text{ nm}$
Yarı Genişlik (Voigt)	1539.39 MHz	1586.66 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	1379.09 MHz	1426.59 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	289.17 MHz	289.17 MHz
Gauss/Voigt	0.896	0.899
$A_{\text{üst}}$	$-1810.48 (10.51) \text{ MHz}$	$-1813.43 (13.94) \text{ MHz}$
A_{alt}	$-57(2) \text{ MHz} [10]$	$-235.5(1.0) \text{ MHz} [13]$
Kalite	14.69	11.71

39658.852 cm⁻¹ ($J = 5/2$) enerji seviyesine ait fit analizi

39658.852 cm⁻¹ ince yapı seviyesi için manyetik dipol hfs sabiti üç geçiş yardımı ile belirlendi ve bu geçişlerin en iyi fit sonuçları Şekil 4.19a, Şekil 4.19b ve Şekil 4.19c’de verildi. Fit işlemi süresince alt enerji seviyesine ait hfs sabitleri literatürdeki değerlerinde sabit tutuldu. Geçişlerin yanında çizgilerin ağırlık merkezleri (σ_{cam}) verildi. Şekil 4.19a, ve Şekil 4.19b’de verilen spektrumlarda özellikle kanatlarda dalgalanmalar olduğu görüldü. Bu durumun nedeni FT spektrumlarındaki gürültüdür.

- 39658.852 cm⁻¹ ($J = 5/2$) → 24418.018 cm⁻¹ ($J = 5/2$) $\sigma_{\text{cam}} = 15012.055$ cm⁻¹
- 39658.852 cm⁻¹ ($J = 5/2$) → 19753.83 cm⁻¹ ($J = 7/2$) $\sigma_{\text{cam}} = 19905.022$ cm⁻¹
- 39658.852 cm⁻¹ ($J = 5/2$) → 17343.374 cm⁻¹ ($J = 7/2$) $\sigma_{\text{cam}} = 22315.478$ cm⁻¹

Üç çizginin analizi ile 39658.852 cm⁻¹ ($J = 5/2$) enerji seviyesinin A değeri 386.5(5.2) MHz olarak bulundu.



Şekil 4.19: (a) $\lambda = 655.9511$ nm, (b) $\lambda = 502.2458$ nm, (c) $\lambda = 447.9938$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.

Fit işlemlerine ait diğer sonuçlar Tablo 4.16’da listelendi.

Tablo 4.16: $\lambda = 655.9511$ nm, $\lambda = 502.2458$ nm, $\lambda = 447.9938$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.

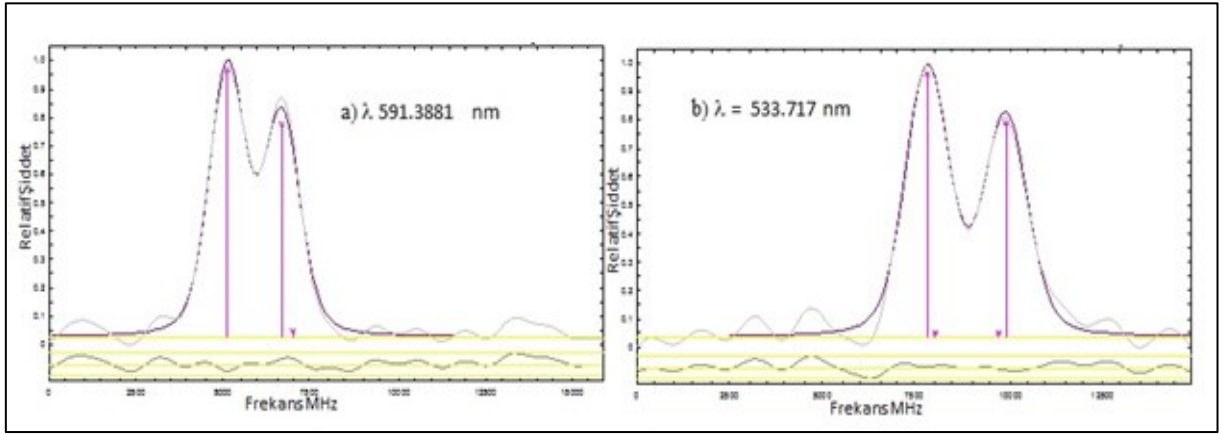
Parametre	$\lambda = 655.9511$ nm	$\lambda = 502.2458$ nm	$\lambda = 447.9938$ nm
Yarı Genişlik (Voigt)	1208.38 MHz	1491.03 MHz	1565.43 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	1148.2 MHz	1056.64 MHz	1360.75 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	111.35 MHz	716.62 MHz	364.75 MHz
Gauss/Voigt	0.95	0.709	0.869
$A_{\text{üst}}$	377.79 (11.19) MHz	386.16 (19.1) MHz	393.53 (6.91) MHz
A_{alt}	-659(2) MHz [10]	-536.6(9) MHz [10]	-166.24(8) MHz [13]
Kalite	5.64	4.16	10.86

41151.1 cm^{-1} ($J = 9/2$) enerji seviyesine ait fit analizi

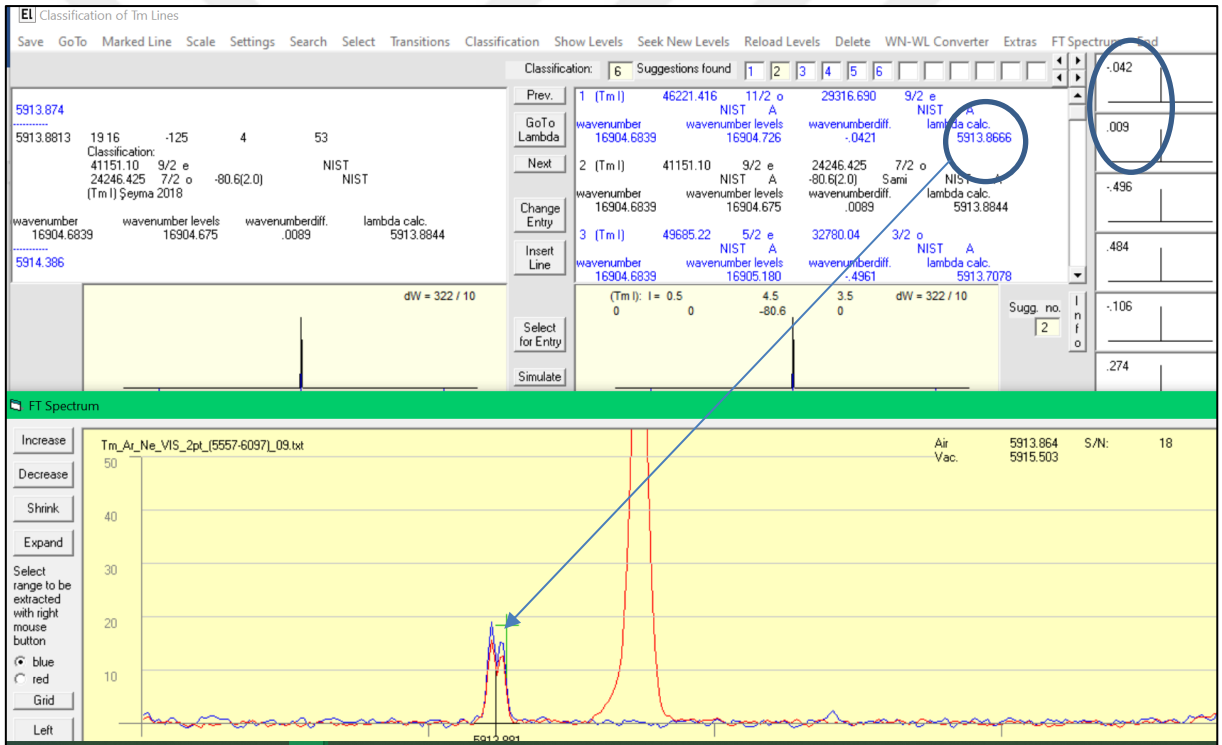
Bu ince yapı seviyesi için manyetik dipol hfs sabiti iki geçişin fit sonuçlarından belirlendi. İki geçişe ait en iyi fit sonuçları Şekil 4.20a ve Şekil 4.20b’de verildi. Sert [30] tarafından belirlenen alt enerji seviyelerine ait hfs sabitleri fit işlemi süresince sabit tutuldu. Her iki çizginin geçiş bilgisi yanında çizgilerin ağırlık merkezi değerleri (σ_{cam}) verildi.

- 41151.1 cm^{-1} ($J = 9/2$) $\rightarrow$ 24246.425 cm^{-1} ($J = 7/2$) $\sigma_{\text{cam}} = 16904.688 \text{ cm}^{-1}$
- 41151.1 cm^{-1} ($J = 9/2$) $\rightarrow$ 22419.764 cm^{-1} ($J = 9/2$) $\sigma_{\text{cam}} = 18731.342 \text{ cm}^{-1}$

Şekil 4.20a’da verilen en iyi fit spektrumu incelendiğinde özellikle spektrumun sağdaki pik tepe noktasında ve kanat kısmında iyi uyum sağlanamamıştır. Bu durumu anlayabilmek için Şekil 4.21’de verilen FT spektrumu ve sınıflandırma programı verileri incelendi. Bu geçiş için toplam 6 adet sınıflandırma önerisi mevcut olup sadece ilk iki öneride $\Delta\sigma$ değeri sınıflandırma kriterimiz olan 0.1 değerinden küçüktür. İlk öneride verilen dalgaboyu spektrumunda sağ pikin üzerinde bir bölgededir (yeşil artı) ve bir ok ile yeri işaretlendi. Bu öneride verilen geçiş de bu bölgede vardır ve incelenen çizgi ile karışmıştır. Bu nedenle fit işleminde özellikle sağ pik kısmı etkilenmiştir. 41151.1 cm^{-1} ($J = 9/2$) enerji seviyesinin A değeri -379.1(2.8) MHz olarak iki çizginin analizi sonucu belirlendi.



Şekil 4.20: (a) $\lambda = 591.3881$ nm, (b) $\lambda = 533.717$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.



Şekil 4.21: $41151.1 \text{ cm}^{-1} (J = 9/2) \rightarrow 24246.425 \text{ cm}^{-1} (J = 7/2)$ geçişi için sınıflandırma programı önerileri.

Fit işlemlerine ait diğer sonuçlar Tablo 4.17’de listelendi.

Tablo 4.17: $\lambda = 591.3881$ nm, $\lambda = 533.717$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.

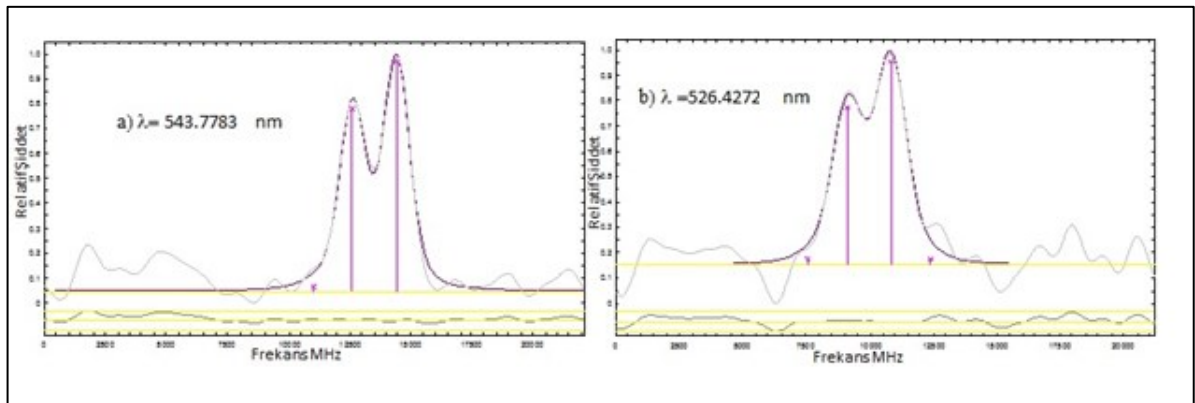
Parametre	$\lambda = 591.3881$ nm	$\lambda = 533.717$ nm
Yarı Genişlik (Voigt)	1230.93 MHz	1395.97 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	1032.91 MHz	1201.18 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	348.01 MHz	345.72 MHz
Gauss/Voigt	0.839	0.86
$A_{\text{üst}}$	-376.88 (4.54) MHz	-382.71 (6.14) MHz
A_{alt}	-80.6(2.0) MHz [30]	40.7(1.6) MHz [30]
Kalite	11.91	9.93

42325.81 cm^{-1} ($J = 7/2$) enerji seviyesine ait fit analizi

42325.81 cm^{-1} seviyesi için manyetik dipol hfs sabiti aşağıda verilen iki geçişin fit sonuçlarından belirlendi. Geçişlerin en iyi fit spektrumları Şekil 4.22a ve Şekil 4.22b’de verildi. Başar [24] tarafından belirlenen alt enerji seviyesi hfs sabitleri fit işlemi boyunca sabit tutuldu. Her iki çizgiye ait geçiş bilgisi ve çizgilerin ağırlık merkezi değerleri (σ_{cam}) aşağıda verildi.

- 42325.81 cm^{-1} ($J = 7/2$) $\rightarrow$ 23941.071 cm^{-1} ($J = 9/2$) $\sigma_{\text{cam}} = 18384.743 \text{ cm}^{-1}$
- 42325.81 cm^{-1} ($J = 7/2$) $\rightarrow$ 23335.111 cm^{-1} ($J = 7/2$) $\sigma_{\text{cam}} = 18990.699 \text{ cm}^{-1}$

Sonuç olarak; 42325.81 cm^{-1} ($J = 7/2$) enerji seviyesi için A değeri iki spektral çizgi analizi sonucu -395.8(2.8) MHz olarak bulundu. Fit işlemlerine ait diğer sonuçlar Tablo 4.18’de verildi.

**Şekil 4.22:** (a) $\lambda = 543.7783$ nm, (b) $\lambda = 526.4272$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.

Tablo 4.18: $\lambda = 543.7783$ nm, $\lambda = 526.4272$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.

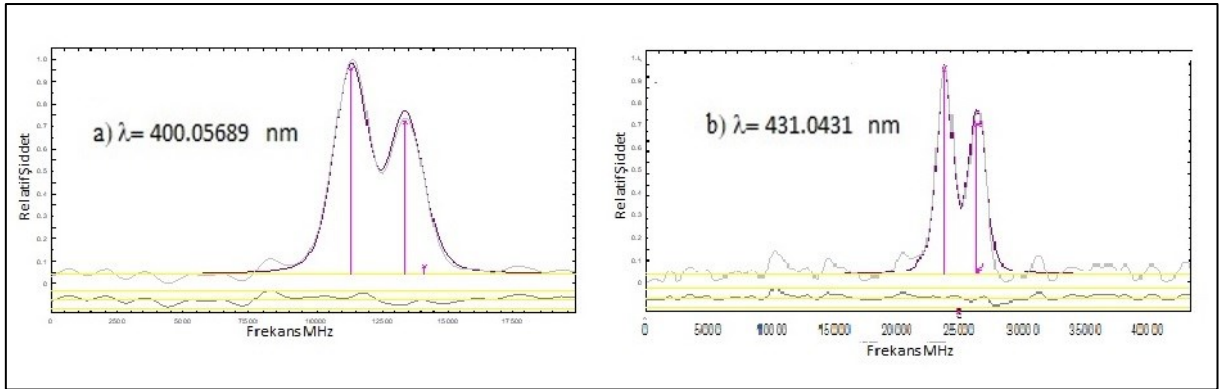
Parametre	$\lambda = 543.7783$ nm	$\lambda = 526.4272$ nm
Yarı Genişlik (Voigt)	1299.47 MHz	1489.15 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	1027.31 MHz	1264.98 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	467.44 MHz	395.84 MHz
Gauss/Voigt	0.791	0.849
$A_{\text{üst}}$	-398.26 (14.44) MHz	-392.67 (17.7) MHz
A_{alt}	-678.7(3) MHz [24]	-819.3(1.1) MHz [24]
Kalite	4.28	4.24

42742.008 cm^{-1} ($J = 7/2$) enerji seviyesine ait fit analizi

Şekil 4.23a ve Şekil 4.23b’de iki geçişe ait en iyi fit sonuçları verildi. Literatürden alınan alt ince yapı enerji seviyesinin hfs sabitleri fit işlemi boyunca sabit tutuldu. Her iki çizgiye ait geçiş bilgisi ile birlikte çizgilerin ağırlık merkezi değerleri (σ_{cam}) aşağıda verildi.

- 42742.008 cm^{-1} ($J = 7/2$) $\rightarrow$ 17752.63 cm^{-1} ($J = 5/2$) $\sigma_{\text{cam}} = 24989.38 \text{ cm}^{-1}$
- 42742.008 cm^{-1} ($J = 7/2$) $\rightarrow$ 19548.83 cm^{-1} ($J = 5/2$) $\sigma_{\text{cam}} = 23193.17 \text{ cm}^{-1}$

İki spektral çizginin analizi sonucunda 42742.008 cm^{-1} ($J = 7/2$) enerji seviyesinin A değeri -696.0(0.7) MHz olarak bulundu. Tablo 4.19’da fit işlemi sonucu belirlenen diğer fit sonuçları listelendi.

**Şekil 4.23:** (a) $\lambda = 400.0568$ nm, (b) $\lambda = 431.0431$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.

Tablo 4.19: $\lambda = 400.0568$ nm, $\lambda = 431.0431$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.

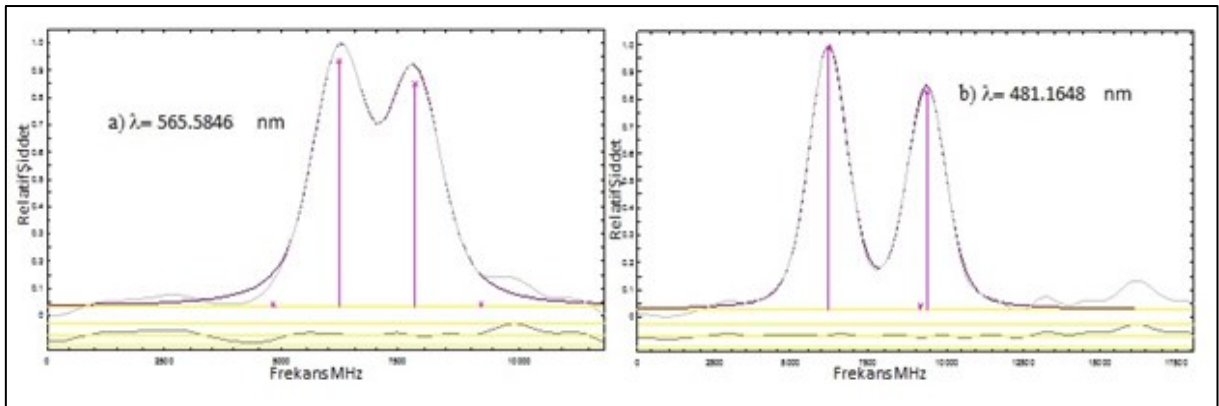
Parametre	$\lambda = 400.0568$ nm	$\lambda = 431.0431$ nm
Yarı Genişlik (Voigt)	1530.64 MHz	1547.81 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	1294.44 MHz	1152.08 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	416.36 MHz	664.57 MHz
Gauss/Voigt	0.846	0.744
$A_{\text{üst}}$	-695.62 (5.14) MHz	-697.34 MHz
A_{alt}	-235.5(1.0) MHz [13]	-57.00 MHz [10]
Kalite	14.65	5.57

43196.848 cm⁻¹ ($J = 11/2$) enerji seviyesine ait fit analizi

Şekil 4.24a ve Şekil 4.24b’de iki geçişe ait en iyi fit sonuçları verildi. Literatürden alınan alt ince yapı enerji seviyesinin hfs sabitleri fit işlemi boyunca sabit tutuldu. Her iki çizgiye ait geçiş bilgisi ile birlikte çizgilerin ağırlık merkezi değerleri (σ_{cam}) aşağıda verildi.

- 43196.848 cm⁻¹ ($J = 11/2$) $\rightarrow$ 25520.987 cm⁻¹ ($J = 11/2$) $\sigma_{\text{cam}} = 17675.914$ cm⁻¹
- 43196.848 cm⁻¹ ($J = 11/2$) $\rightarrow$ 22419.764 cm⁻¹ ($J = 9/2$) $\sigma_{\text{cam}} = 20777.144$ cm⁻¹

Sonuç olarak; iki çizginin analizi ile 43196.848 cm⁻¹ ($J = 11/2$) enerji seviyesinin A değeri -500.4(1.3) MHz olarak bulundu. Tablo 4.20’de fit işleminden belirlenen sonuçlar verildi.

**Şekil 4.24:** (a) $\lambda = 565.5846$ nm, (b) $\lambda = 481.1648$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.

Tablo 4.20: $\lambda = 565.5846$ nm, $\lambda = 481.1648$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.

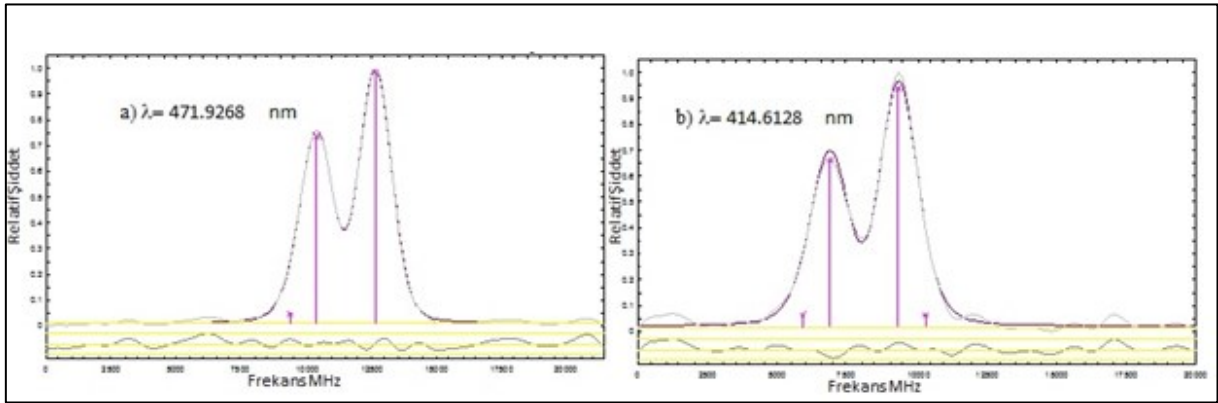
Parametre	$\lambda = 565.5846$ nm	$\lambda = 481.1648$ nm
Yarı Genişlik (Voigt)	1355.55	1486.05
Yarı Genişlik (Gauss)	1018.17	1200.14
Yarı Genişlik (Lorentz)	568.48	495.05
Gauss/Voigt	0.751	0.808
$A_{\text{üst}}$	-502.15 (3.41)	-499.45 (4.68)
A_{alt}	-234.8(8) [24]	40.7(1.6) [30]
Kalite	17.92	10.89

44518.91 cm^{-1} ($J = 5/2$) enerji seviyesine ait fit analizi

Şekil 4.25a ve Şekil 4.25b’de sırası ile $\lambda = 471.9268$ nm ve $\lambda = 414.6128$ nm geçişlerinin en iyi fit sonuçları verildi. Literatürden alınan alt ince yapı enerji seviyesinin hfs sabitleri fit işlemi boyunca sabit tutuldu. Her iki çizgiye ait geçiş bilgisi ile birlikte çizgilerin ağırlık merkezi değerleri (σ_{cam}) aşağıda verildi.

- 44518.91 cm^{-1} ($J = 5/2$) $\rightarrow$ 23335.111 cm^{-1} ($J = 7/2$) $\sigma_{\text{cam}} = 21183.801 \text{ cm}^{-1}$
- 44518.91 cm^{-1} ($J = 5/2$) $\rightarrow$ 20406.84 cm^{-1} ($J = 5/2$) $\sigma_{\text{cam}} = 24112.089 \text{ cm}^{-1}$

Sonuçta, 44518.91 cm^{-1} ($J = 5/2$) enerji seviyesine ait A değeri -338.0(5.4) MHz olarak iki çizginin analizi ile bulundu. Tablo 4.21’de fit işleminden elde edilen sonuçlar listelendi.

**Şekil 4.25:** (a) $\lambda = 471.9268$ nm, (b) $\lambda = 414.6128$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.

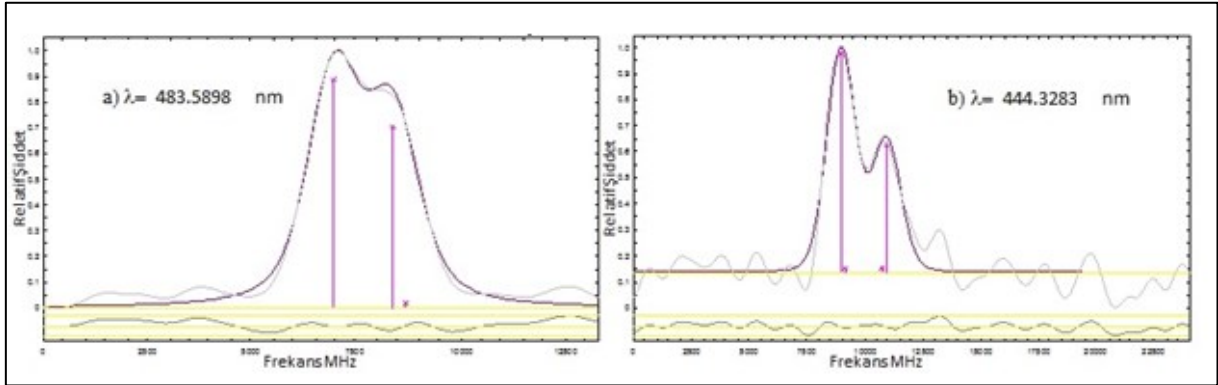
Tablo 4.21: $\lambda = 471.9268$ nm, $\lambda = 414.6128$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.

Parametre	$\lambda = 471.9268$ nm	$\lambda = 414.6128$ nm
Yarı Genişlik (Voigt)	1485.54 MHz	1574.45 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	1347.32 MHz	1357.62 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	250.6 MHz	385.16 MHz
Gauss/Voigt	0.907	0.862
$A_{\text{üst}}$	-339.84 (2.5) MHz	-322.53 (6.41) MHz
A_{alt}	-819.3(1.1) MHz [24]	-1139.1(4.8) MHz [32]
Kalite	36.36	16.76

44919.302 cm^{-1} ($J = 9/2$) enerji seviyesine ait fit analizi

Şekil 4.26a ve Şekil 4.26b’de sırası ile $\lambda = 483.5898$ nm ve $\lambda = 444.3283$ nm geçişlerinin en iyi fit spektrumları verildi. Alt ince yapı enerji seviyesinin literatürden alınan hfs sabitleri fit işlemi boyunca sabit tutuldu. Çizgi geçiş bilgisi ile birlikte çizgilerin ağırlık merkezi değerleri (σ_{cam}) aşağıda verildi.

- 44919.302 cm^{-1} ($J = 9/2$) $\rightarrow$ 24246.425 cm^{-1} ($J = 7/2$) $\sigma_{\text{cam}} = 20672.908 \text{ cm}^{-1}$
- 44919.302 cm^{-1} ($J = 9/2$) $\rightarrow$ 22419.764 cm^{-1} ($J = 9/2$) $\sigma_{\text{cam}} = 22500.298 \text{ cm}^{-1}$

**Şekil 4.26:** (a) $\lambda = 483.5898$ nm, (b) $\lambda = 444.3283$ nm geçişleri için en iyi fit spektrumları.

Tablo 4.22’de fit işleminden elde edilen sonuçlar verildi. Sonuç olarak; iki çizgi analizi ile 44919.302 cm^{-1} ($J = 9/2$) enerji seviyesinin A değeri-348.0(2.8) MHz olarak belirlendi.

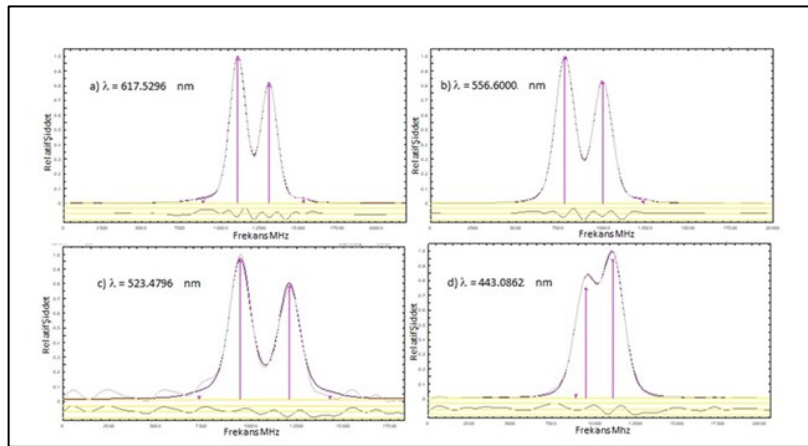
Tablo 4.22 : $\lambda = 483.5898$ nm, $\lambda = 444.3283$ nm geçişleri için en iyi fit sonuçları.

Parametre	$\lambda = 483.5898$ nm	$\lambda = 444.3283$ nm
Yarı Genişlik (Voigt)	1489.91 MHz	1466.07 MHz
Yarı Genişlik (Gauss)	1042.39 MHz	1379.19 MHz
Yarı Genişlik (Lorentz)	734.92 MHz	160 MHz
Gauss/Voigt	0.7	0.941
$A_{\text{üst}}$	-346.51 (6.88) MHz	-353.3 (14.28) MHz
A_{alt}	-80.6(2.0) MHz [30]	40.7(1.6) MHz [30]
Kalite	12.86	4.05

4.3. LİNEER DENKLEM SİSTEMİ İLE AŞIRI İNCE YAPILARIN BELİRLENMESİ

Alt ve üst seviyelerinin aşırı ince yapı sabitleri daha önceki çalışmalardan bilinmeyen çizgilerin, manyetik dipol hfs sabitinin bulunması için GNU Octave bilgisayar dili kullanıldı. GNU Octave, doğrusal ve doğrusal olmayan problemlerin sayısal çözümü için tasarlanmış, bilimsel hesaplamalar için kullanılan bir dildir. Matlab ile büyük ölçüde uyumludur ve böylece çoğu program tarafından kolayca kullanılabilir.

Daha önceden de belirtildiği gibi tulyum elementinin çekirdek spininin $I = 1/2$ olması nedeni ile her ince yapı enerji seviyesi iki aşırı ince yapı seviyesine ayrılır. Ve bu enerji seviyeleri arasında eğer $\Delta J = 0$ ise 4 aşırı ince yapı geçişi, $\Delta J = \pm 1$ ise 3 aşırı ince yapı geçişi gerçekleşir. $\Delta J = 0$ durumuna örnek olarak bu çalışmada incelenen çizgilerden $\lambda = 617.5296$ nm, $\lambda = 523.4796$ nm (Şekil: 4.27 a, Şekil: 4.27 c) ve $\Delta J = \pm 1$ durumuna ise $\lambda = 556.6000$ nm ve $\lambda = 443.0862$ nm (Şekil: 4.27 b ve Şekil: 4.27 d) çizgileri verilebilir.

**Şekil 4.27:** $\Delta J = 0$, $\Delta J = \pm 1$ durumlarına ait örnek spektrumlar.

Her üç ΔJ durumunda da bu meydana gelen geçişlerden sadece iki tanesinin şiddeti diğerlerine göre oldukça fazladır. Yapı çok basit olmasına karşılık FT spektroskopisi gibi Doppler genişlemesine sahip spektroskopik tekniklerde pek çok çizginin ayrılmış olarak ölçülmesi mümkün değildir. Bununla birlikte çizgilerin analizinden, çok fazla çizginin gözlenen iki şiddetli aşırı ince yapı geçişlerinin arasındaki frekans farkı, ΔE_{hfs} , değerleri bulunabilir. Spektrumda incelenen çizgiler için bu ΔE değerleri kullanılarak lineer denklem sistemi ile bu çizgilerin alt ve üst enerji seviyelerinin aşırı ince yapı A sabitleri tahmin edilebilir.

ΔE_{hfs} değerleri her bir çizgi için, Casimir katsayıları denklem 3.27 ve denklem 3.28 kullanılarak hesaplandığında aşağıdaki formülde verildiği şekilde çok basite indirgenir,

$$\Delta E_{\text{hfs}} = (J_{\text{üst}} + 1/2)A_{\text{üst}} - (J_{\text{alt}} + 1/2)A_{\text{alt}} \quad (4.1)$$

Bu denklem sisteminde üst ya da alt enerji seviyesi aynı olan birden fazla çizgi olduğu gibi, birinin üst seviyesi diğerinin alt seviyesi ya da tersi olan çizgiler bulunmaktadır. Bu nedenle her bir enerji seviyesi en az iki olmak üzere çok fazla çizgiden elde edilebilmektedir. Bu durum sistemin kendi içinde, elde edilen A sabitlerinin doğruluk derecesini artırmaktadır. Bulunacak A değerlerinin güvenilirliğini daha da artırmak için lineer denklem sisteminin oluşturulmasında aşağıdaki adımlar izlendi:

- Bazı enerji seviyelerinin aşırı ince yapı sabitleri literatürde yüksek çözünürlüğe sahip laser spektroskopik metodlardan elde edilmiş olup hataları çok düşüktür. Bu nedenle literatürden alınan bu A değerleri denklem sisteminde sabit olarak tanımlandı. Bunu da matriste bu enerjilerin bulunduğu yerlere “0” yazılarak, daha sonra da bunların yerine literatürdeki A değerleri girilerek yapıldı. Bu şekilde sabit tutulan A değerleri Tablo 4.23’de verildi.

Tablo 4.23: Denklem sistemine katılmayan ve sabit tutulan A değerleri.

Enerji (cm ⁻¹)	J	Konfigürasyon	A (MHz)	Referans
0.000	7/2	$4f^{13}(^2F_{5/2})6s^2$	-374.137661(3)	[7,22]
8771.243	5/2	$4f^{13}(^2F_{5/2})6s^2$	-704.8(1.0)	[13]
16957.006	7/2	$4f^{13}(^3H_6)5d_{5/2}6s^2$	-491.1(1.0)	[13]
16742.237	7/2	$4f^{13}(^2F_{7/2})6s6p(^3P_0)$	-736.6(1.0)	[13]
17343.374	7/2	$4f^{13}(^2F_{7/2})6s6p(^3P_1)$	-166.0(0.7)	[13,22]
17613.659	9/2	$4f^{13}(^2F_{7/2})6s6p(^3P_1)$	-629.2(0.4)	[10]
17752.634	5/2	$4f^{13}(^2F_{7/2})6s6p(^3P_1)$	-235.5(1.0)	[13,24]
25656.019	5/2	$4f^{13}(^2F_{5/2})6s6p(^3P_0)$	-410.7(1.4)	[13,21]
25717.197	7/2	$4f^{12}(^3H_5)5d_{5/2}6s^2$	-524.88(0.3)	[10]
26126.907	5/2	$4f^{13}(^2F_{5/2})6s6p(^3P_1)$	-1160.3(1.0)	[29,13]
26439.491	7/2	$4f^{13}(^2F_{5/2})6s6p(^3P_1)$	-908.3(1.1)	[29,13]
26488.70	3/2	$4f^{13}(^2F_{5/2})6s6p(^3P_1)$	-739.3(1.8)	[13,21]

- Bu yöntemle incelenen her çizgiye bir ağırlık faktörü atandı. Denklem sisteminin çözümünde çizgilerin, bulunan A değerlerinin doğruluğuna katkısı bu faktörlerle belirlendi. Bu ağırlık faktörlerinin değerleri 0,1; 5; 10; 100'dür. Burada küçük değerler çizginin veri elde etmek için az önemli olduğunu belirtir. Bu sayıların hangi çizgiler için geçerli olduğu aşağıda verildi.

- ✓ 0.1: Sinyal gürültü oranı $3 < S/N < 5$ arasında olan ve/veya alt ve üst enerji seviyelerinin A değerleri belli olmayan, analizi çok zor olan çizgiler için,
- ✓ 5, 10: $S/N > 5$ olup çok iyi olmayan çizgiler için,
- ✓ 100: $S/N > 5$ olup iyi analiz edilebilir yapıya sahip olan çizgiler için kullanıldı.

A sabitini belirlemek için n tane denklemden ve m tane bilinmeyenden oluşan lineer denklem sistemi kuruldu. Burada n satır sayısı çizgi sayısını verir. m ise sütun sayısı olup A sabitinin belirlendiği düzeylerin sayısıdır (A sabiti sabit olan seviyeler sayılmaz). Her denklem aşağıda verildiği şekildedir:

$$s \cdot (c_{i,j} \cdot A_{i,j} - c_{i,k} \cdot A_{i,k}) = \Delta E_{\text{hfs},i} \quad (4.2)$$

$i = 1, \dots, n$ değerlerini alır ve çizgi sayısı kadardır. $\Delta E_{\text{hfs},i}$, i . çizginin hfs spektrumunun iki büyük geçişinin arasındaki frekans farkıdır. j ve k indisleri 1 den m 'e kadar değer alır ve çift ve

tek pariteli enerji seviyelerinin sayısını gösterir. $c_{i,j}$ ve $c_{i,k}$ katsayılar olup sırasıyla tek ve çift pariteli enerji seviyelerine ait $(J+1/2)$ değerleridir. $A_{i,j}$ ve $A_{i,k}$ ifadeleri, i . çizginin tek ve çift pariteye sahip enerji seviyelerinin A sabitleridir ve s bir katsayıdır. Çizginin üst seviyesi tek pariteye sahip ise $s = 1$, çift pariteye sahip ise $s = -1$ dir. Denklem sayısının bilinmeyen sayısından fazla olması için, n sayısının m sayısından büyük olması gerekir. Bu da incelenen çizgi sayısı seviye sayısından büyük olmalı demektir yani çizgiler birbirine bağlantılı olmalıdır.

Denklem sistemini çözmek için, n satırı m sütunu göstermek üzere, $n \times m$ matrisi oluşturuldu. i sayısı ile belirlenen her satıra, j . sütununa uyan $c_{i,j}$ katsayıları ile k . sütununa eşleşen $c_{i,k}$ katsayıları yazıldı. Sonuç olarak her çizginin üst seviyesi için $+1$, alt seviyesi için -1 katsayısı gelmiş oldu. Diğer tüm matris elemanları sıfıra ayarlandı.

Çizgilerin S/N değerine, hfs ayrışma genişliğine ve çizginin simülasyonla ne kadar iyi oturduğuna bağlı olarak bir ağırlık faktörü verildi. Bu ağırlık faktörü 1 ile 100 arasındadır. Hesaplama ağırlık faktörü standartlaştırılmıştır yani ağırlıklandırma faktörü olarak kullanılan en yüksek değere bölünür.

Eğer bir çizginin bir seviyesinin A değeri, Tablo 4.23’de verilen değerde sabit alınır ise denklem (4.2) aşağıdaki şekillerde değişir:

- Çizginin tek pariteli seviyesinin A değeri sabit tutulmuşsa:

$$s \cdot c_{i,j} \cdot A_{i,j} + 0 = \Delta E_{\text{hfs},i} + s \cdot c_{i,k} \cdot A_{i,k} = \Delta E_{\text{hfs},i,\text{eff}} \quad (4.3)$$

- Çizginin çift pariteli seviyesinin A değeri sabit tutulmuşsa:

$$0 - s \cdot c_{i,k} \cdot A_{i,k} = \Delta E_{\text{hfs},i} - s \cdot c_{i,j} \cdot A_{i,j} = \Delta E_{\text{hfs},i,\text{eff}} \quad (4.4)$$

Eğer çizginin alt ve üst enerji seviyelerinin her ikisinin de A değerleri sabit tutuldu ise o çizgi matristen kaldırıldı ve hesaplama dahil edilmedi. Matrisi oluşturmak için Octave programlama dili kullanılarak aşağıdaki kod kullanıldı:

```
M=zeros(nrow,ncolumn)
```

```
fori=1:nrow
```

```
    if(data(i,5)>0)
```

```
        M(i,data(i,5))=data(i,6)*data(i,10)*data(i,12)/maxweightfactor;
```

```

end
if(data(i,8)>0)
M(i,data(i,8))=-data(i,9)*data(i,10)*data(i,12)/maxweightfactor;
end
end

```

Burada ilk satırda bulunan “M = zeros(nrow,ncolumn)” komutu, tamamı sıfırla dolu doğru boyutta bir matrisi tanımlar. Sonrasında gelen iki if sorgusu:

```

if (data(i,5)>0)
ve
if (data(i,8)>0)

```

komutları sabit tutulacak A sabitine sahip bir düzey olup olmadığını kontrol etmek için kullanılır. A değerleri sabit değilse, $c_{i,j}$ ve aynı şekilde $c_{i,k}$ değeri s 'in işareti ile ağırlık faktörü değeri çarpılarak matristeki doğru yerine yerleştirilir.

“Maxweightfactor” ise kullanılan maksimum ağırlık faktörü anlamına gelir.

$$dWexp = data(:,11).*data(:,12)/weightfactor \quad (4.5)$$

komutu ile $\Delta E_{hfs,i}$ değerleri “dWexp” sütun vektörüne yazılır. Yazılım, tüm A değerlerini içeren bir A_{calc} vektörünün aşağıdaki komutla basit bir şekilde hesaplanmasını sağlar:

$$Acalc = M*dWexp \quad (4.6)$$

Geri hesaplanan $\Delta E_{hfs,i,calc}$ değerleri;

$$dWcalc = M*Acalc \quad (4.7)$$

komutu ile hesaplanır. Aşağıdaki komut ise, deneysel ve yeniden hesaplanan değerler arasındaki farkları hesaplamak için kullanılır.

$$eps = dWexp - dWcalc \quad (4.8)$$

Octave ve Matlab yazılımının bu tür uygulamalar için optimize edildiği görülmektedir (matris hesabı). Bu programda yapılan işleme göre özel komutlar verilerek problemler çözülebilir.

Veriler, Tablo 4.24’de bir kesiti verilen bir Excel dosyasından okutuldu. Tablodaki sütunlar aşağıda verildi.

1. Çizginin Å cinsinden dalgaboyu,
2. Çizginin cm^{-1} cinsinden dalga sayısı,
3. Çizginin Ar soygazı ile alınan FT spektrumundaki sinyal gürültü oranı
4. Tek pariteli seviyenin enerjisi (dalga sayısı cinsinden)
5. Tek pariteli seviyenin numarası (J değeri A değerleri sabit tutulan seviyeler için “0” alındı)
6. $c_{i,j}$ (benzer şekilde A değerleri sabit tutulan seviyeler için “0” alındı)
7. Çift pariteli seviyenin enerjisi (dalga sayısı cinsinden)
8. Çift pariteli seviyenin numarası (k değeri benzer şekilde A değerleri sabit tutulan seviyeler için “0” alındı)
9. $c_{i,k}$ (benzer şekilde A değerleri sabit tutulan seviyeler için “0” alındı)
10. s ’in işareti
11. $\Delta E_{\text{hfs},i}$
12. Çizginin ağırlık faktörü

Tablo 4.24: Lineer denklem sisteminin çözümünde kullanılan giriş dosyasından bir kesit.

λ (Å)	σ (cm^{-1})	S/N (Ar)	E_{tek} (cm^{-1})	Seviye numarası (tek parite)	$c_{i,j}$	$E_{\text{çift}}$ (cm^{-1})	Seviye numarası (çift parite)	$c_{i,k}$	s	$\Delta E_{\text{hfs},i}$	Ağırlık faktörü
4011.5158	24921.188	5	43614.261	421	8	18693.074	6	8	1	-1500	10
4013.7325	24907.424	4	44456.23	436	4	19548.834	12	3	1	-2970	0.1
4014.2933	24903.945	25	41646.129	377	4	16742.237	0	0	1	-1810	100
4022.591	24852.575	43	8771.243	0	0	33623.78	57	4	-1	-750	10
4024.2267	24842.473	490	41299.37	370	9	16456.913	4	9	1	390	100
4024.539	24840.546	4	44307.188	432	7	19466.663	11	7	1	420	0.1
4024.9746	24837.857	5	43675.258	422	5	18837.385	7	5	1	960	10
4025.1928	24836.511	55	42179.886	388	3	17343.374	0	0	1	-634	100
5069.2893	19721.133	8	23335.111	211	4	43056.22	135	3	-1	3570	100
5070.4376	19716.667	32	39470.489	333	3	19753.83	14	4	1	2730	100
5070.4976	19716.433	88	24701.058	218	5	44417.48	169	6	-1	30	100
5071.0608	19714.244	62	39462.782	332	4	19748.543	13	5	1	1020	100
5071.6761	19711.852	4	24246.425	216	4	43958.23	160	3	-1	-840	10
6570.9483	15214.301	5	39563.003	338	6	24348.692	27	5	1	-990	0.1
6572.8218	15209.964	8	39627.996	340	4	24418.018	28	3	1	2700	100
6578.4642	15196.918	6	34365.624	267	4	49562.54	189	5	-1	240	0.1
6580.955	15191.167	13	46163.587	452	6	30972.46	48	6	1	-1500	10
6622.6209	15095.593	19	39444.295	331	5	24348.692	27	5	1	-1110	100
6625.3173	15089.449	23	33943.282	261	7	18853.823	8	6	1	360	100
6761.4514	14785.643	9	23335.111	211	4	38120.71	65	5	-1	800	5

Satır numarası i indisi ile verilir. 1 ile 3 arasındaki sütunlarda verilen bilgiler hesaplarda kullanılmaz, ancak satırlar hakkında yani çizgi hakkında tanımlayıcı bilgiler içerir.

19 tanesi bu çalışmada Fitter programı [4] ile yapılan analizler sonucunda bulunan değerler olmak üzere toplam bulunan 138 tane manyetik dipol hfs sabiti, A , literatürden alınan değerler ile karşılaştırılarak Tablo 4.25’de verildi. Bu değerlerin hata sınırları içinde uyumlu olduğu görüldü. Bu tabloda literatür yerine “bu çalışma” şeklinde verilen değerler Fitter programı [4] ile analiz sonucunda ilk defa bu çalışmada elde edilen değerlerdir.

Tablo 4.25: Lineer denklem sistemi kullanılarak belirlenen manyetik dipol hfs sabitleri.

J	E / cm^{-1}	$A_{\text{literatür}} / \text{MHz}$	Referans	A / MHz
4.5	13119.61	-445.5(3.2)	bu çalışma	-446(5)
8.5	16456.913	-308.89(17)	[15,14]	-307(5)
6.5	17454.818	-365.91(55)	[15,14]	-364(5)
7.5	18693.074	-323.88(30)	[15,14]	-323(5)
4.5	18837.385	-422.4(9)	[8,21,24]	-423(5)
5.5	18853.823	-476.51(27)	[14,24]	-474(5)
5.5	18990.406	-581.4(1.3)	[21,24]	-582(5)
6.5	19466.663	-342.84(28)	[15,14]	-340(5)
2.5	19548.834	-57(2)	[10]	-55(10)
4.5	19748.543	-694.8(4)	[21,24]	-695(5)
3.5	19753.83	-536.6(9)	[10]	-535(5)
2.5	20406.84	-1139.1(4.8)	[32]	-1138(5)
3.5	21120.836	-398.05(4)	[29]	-398(5)
3.5	21161.401	-490(4)	[21]	-511(20)
4.5	21737.685	-357.1(1.5)	[10]	-358(5)
5.5	21997.473	-342.8(1.3)	[24]	-339(5)
4.5	22419.764	40.7(1.6)	[30]	25(20)
3.5	22791.176	-574.1(1.2)	[8]	-579(5)
2.5	22929.717	-574(3)	[8]	-560(20)
3.5	23335.111	-819.3(1.1)	[24]	-831(20)
2.5	23431.844	-520(4)	[24]	-516(5)
4.5	23781.698	-306(18)	[31]	-317(10)
3.5	23873.207	-360.7(3)	[31]	-351(10)
4.5	23941.071	-678.7(3)	[24]	-685(15)
6.5	24137.196	-308.0(1.4)	[24]	-308(5)
0.5	24160.63	336(4)	[21]	343(15)
3.5	24246.425	-80.6(2.0)	[24]	-95(20)
4.5	24348.692	-371.7(1.5)	[29,21]	-369(5)
2.5	24418.018	-659(2)	[10]	-646(15)
3.5	24708.041	-207(2.8)	[30]	-235(20)
5.5	24957.469	-538.7(1.5)	[24]	-544(10)

Tablo 4.25 (devam): Lineer denklem sistemi kullanılarak belirlenen manyetik dipol hfs sabitleri.

J	E / cm^{-1}	$A_{\text{literatür}} / \text{MHz}$	Referans	A / MHz
1.5	25207.732	-1524(3)	[24]	-1516(10)
5.5	25520.987	-234.8(8)	[24]	-240(5)
7.5	25536.116	-354(2)	[24]	-341(15)
4.5	25699.714	-457(4)	[24]	-462(5)
5.5	26368.412	-394(5)	[21]	-363(20)
1.5	26488.7	-739.3(1.8)	[13,21]	-742(5)
3.5	26701.325	-426(15)	[8]	-400(20)
4.5	26889.125	-408(3)	[10]	-378(20)
4.5	27440.858	-166.8(2.4)	[30]	-167(5)
2.5	28051.37	-768(3)	[10]	-781(20)
1.5	28143.67	-475.6(8)	[21]	-487(10)
4.5	29308.69	-842.9(1.2)	[21]	-854(20)
2.5	30082.18	-562(2)	[21]	-565(5)
3.5	30124.02	-454(2)	[21]	-461(10)
2.5	30302.42	-490(2)	[21]	-495(5)
5.5	31007.6	-534.2(1.8)	[30]	-542(10)
5.5	31080.846	-762.8(1.1)	[29]	-742(20)
3.5	31367.728	-397.3(1.8)	[29]	-410(20)
3.5	31694.749	-403.9(1.1)	[21]	-418(15)
2.5	31773.78	-1222.7(3.5)	[30]	-1222(20)
7.5	32112.98	-138.09(20)	[15,14]	-139(5)
2.5	32174.49	-390(9)	[10]	-395(5)
4.5	32217.195	-967.3(1.2)	[21]	-971(20)
3.5	32359.372	-613.9(1.2)	[21]	-616(5)
4.5	32441.714	-364.8(1.1)	[21]	-366(10)
3.5	32446.26	-392(6)	[10]	-393(5)
2.5	32479.326	383.0(1.0)	[19,21]	377(20)
8.5	32761.54	-422.4(2)	[21]	-423(5)
2.5	32856.613	-697.55(2.6)	[30]	-692(10)
6.5	32950.1	-654.97(37)	[14,15]	-656(5)
3.5	33240.362	-909.8(2.6)	[30]	-913(15)
3.5	33395.984	-553.0(2.4)	[30]	-579(20)
1.5	33489.36	-204(12)	[10]	-217(15)
9.5	33644.74	-482.64(50)	[18]	-483(5)
5.5	33793.154	-472.9(1.0)	[21]	-476(5)
6.5	33943.282	-354.8(3.2)	[32]	-356(5)

Tablo 4.25 (devam): Lineer denklem sistemi kullanılarak belirlenen manyetik dipol hfs sabitleri.

J	E / cm^{-1}	$A_{\text{literatür}} / \text{MHz}$	Referans	A / MHz
3.5	33961.044	-313.2(1.5)	[21]	-318(10)
7.5	34046.54	-513.19(35)	[14,15]	-514(5)
2.5	34194.09	-197.7(1.0)	[18]	-203(15)
4.5	34310.33	-472.5(1.5)	[21]	-474(10)
3.5	34365.624	-278.1(3.0)	[18]	-278(10)
6.5	34449.774	-455.63(59)	[14,15]	-457(5)
4.5	34457.853	-426.4(1.3)	[21]	-429(10)
5.5	34532.898	-473.1(2.5)	[15]	-474(5)
4.5	34587.982	-432.5(2.8)	[30]	-437(10)
5.5	34691.802	-362.2(1.2)	[29]	-363(5)
1.5	34999.008	-889(6)	[24]	-893(5)
7.5	35557.7	-595.1(2.7)	bu çalışma	-595(5)
3.5	35682.251	-152.00(20)	[18]	-154(10)
6.5	35958.88	-307.34(22)	[14,15]	-308(5)
7.5	36179.6	-436.03(50)	[18]	-435(5)
6.5	36223.628	-307.2(1.5)	[24]	-309(5)
5.5	36329.786	-71.22(10)	[18]	-72(5)
7.5	36653.924	-259.24(28)	[14,15]	-260(5)
4.5	37010.534	-258(2)	[24]	-259(10)
1.5	37138.57	-718.3(2.0)	[32]	-717(5)
7.5	37159.51	-551.3(1.0)	bu çalışma	-554(5)
5.5	37276.778	-716.5(1.8)	bu çalışma	-717(5)
3.5	37557.25	-848.7(3.1)	[32]	-854(10)
5.5	37657.928	-95.2(0.6)	bu çalışma	-101(10)
2.5	37724.84	-17(2)	[32]	-12(5)
6.5	38012.795	-143.1(1.0)	bu çalışma	-146(5)
4.5	38499.016	-254.5(5.1)	bu çalışma	-262(10)
3.5	38664.184	-550(2)	[24]	-557(10)
5.5	38877.211	-288(4)	[24]	-290(5)
5.5	39089.533	-700.4(1.9)	bu çalışma	-703(5)
4.5	39244.584	-140.1(0.3)	bu çalışma	-138(10)
2.5	39277.087	-1279.5(2.8)	bu çalışma	-1276(10)
5.5	39362.651	15.5(1.4)	[29]	14(5)
6.5	39434.151	-504.0(9)	[24]	-505(5)
2.5	39470.489	175.5(1.7)	bu çalışma	188(10)
3.5	39542.165	-98(5)	[29]	-99(10)

Tablo 4.25 (devam): Lineer denklem sistemi kullanılarak belirlenen manyetik dipol hfs sabitleri.

J	E / cm^{-1}	$A_{\text{literatür}} / \text{MHz}$	Referans	A / MHz
1.5	39602.902	-1811.6(1.4)	bu çalışma	-1809(5)
3.5	39627.996	185(5)	[21]	184(10)
2.5	39658.852	-386.5(5.2)	bu çalışma	-398(15)
4.5	39741.913	203(3)	[21]	199(10)
3.5	40360.37	-225.1(8)	[24]	-235(15)
1.5	40693.63	-381(6)	[24]	-385(5)
1.5	39602.902	-1811.6(1.4)	bu çalışma	-1809(5)
1.5	40989.73	234.6(1.0)	[19,21]	224(15)
2.5	41074.399	-899.4(1.0)	[19,21]	-907(15)
4.5	41074.45	-280.6(3)	[24]	-298(20)
4.5	41151.1	-379.1(2.8)	bu çalışma	-386(15)
3.5	41189.162	-1061.4(1.0)	[19,21]	-1064(10)
3.5	41211.943	-1107(3)	[21]	-1111(10)
6.5	41274.9	-499.7(1.2)	[24]	-502(5)
2.5	41325.87	306.6(1.2)	[21]	301(15)
5.5	41430.237	-231(5)	[21]	-228(5)
3.5	41646.129	-277(3)	[21]	-281(10)
5.5	42080.152	-398.1(1.4)	[24]	-401(5)
3.5	42133.263	-326(3)	[29]	-331(10)
3.5	42325.81	-395.8(2.8)	bu çalışma	-412(20)
1.5	42357.42	-286.4(1.8)	[24]	-291(10)
5.5	42429.385	-393.4(6)	[24]	-400(10)
6.5	42456.47	-500.2(3)	[24]	-488(20)
4.5	42576.01	-395.2(1.2)	[24]	-404(15)
5.5	42595.791	-423.0(1.7)	[24]	-414(20)
4.5	42667.745	-445.8(1.6)	[24]	-459(20)
2.5	42735.208	-795(2)	[21]	-797(10)
3.5	42742.008	-696.0(0.7)	bu çalışma	-697(10)
4.5	42764.664	-692.1(1.2)	[24]	-703(20)
5.5	42868.255	-383.7(1.0)	[24]	-383(5)
6.5	42869.748	-200(2)	[24]	-191(15)
5.5	43196.848	-500.5(1.3)	bu çalışma	-508(15)
5.5	43715.572	-262.3(1.0)	[24]	-279(10)
2.5	44518.91	-338.0(5.4)	bu çalışma	-343(10)
4.5	44919.302	-348.0(2.8)	bu çalışma	-371(20)

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

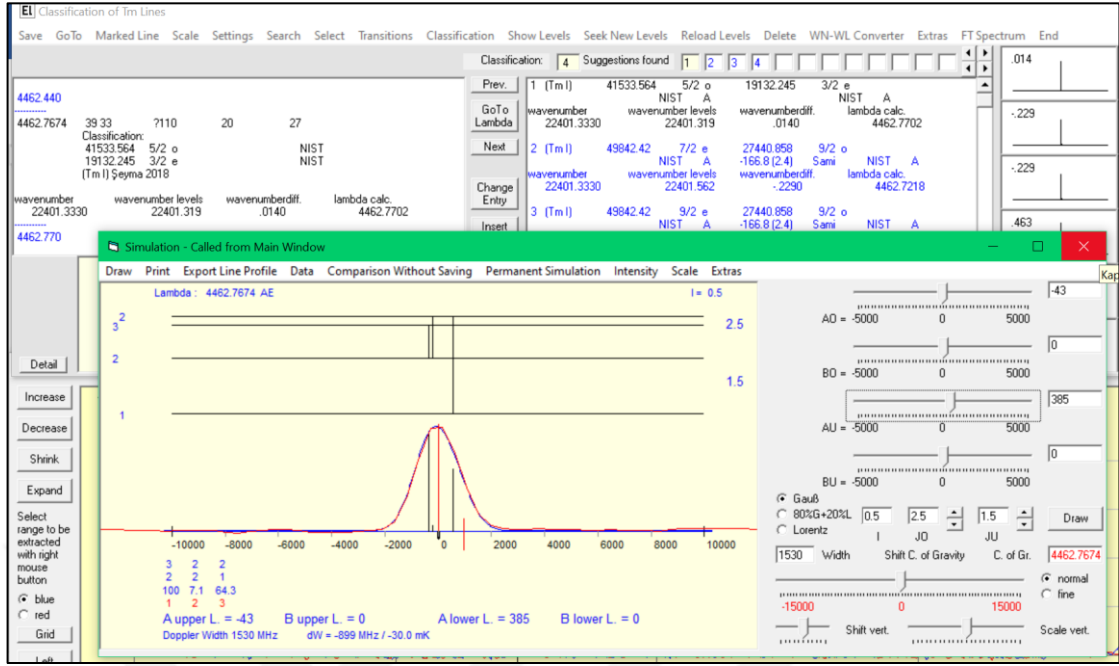
Yüksek çözünürlüklü FT-Spektrumu, elementlerin spektral çizgilerinin araştırılmasında, spektral çizgilerin sınıflandırılmasında ve geçişlerin belirlenmesinde başvurulan bir kaynaktır. Ayrıca aşırı ince yapı sabitlerini belirlemek veya doğruluğunu artırmak için de kullanılan FT-Spektrumu olası yeni çizgileri ve seviyeleri aramak için kullanılması açısından önemlidir.

Günümüze değin çeşitli araştırmalara konu olan tulyumun ince ve aşırı ince yapısı [5-32] ile ilgili hala çok fazla eksiklik olduğu belirlendi ve literatürdeki eksiklerin tamamlanmasına yönelik bir çalışma yapıldı.

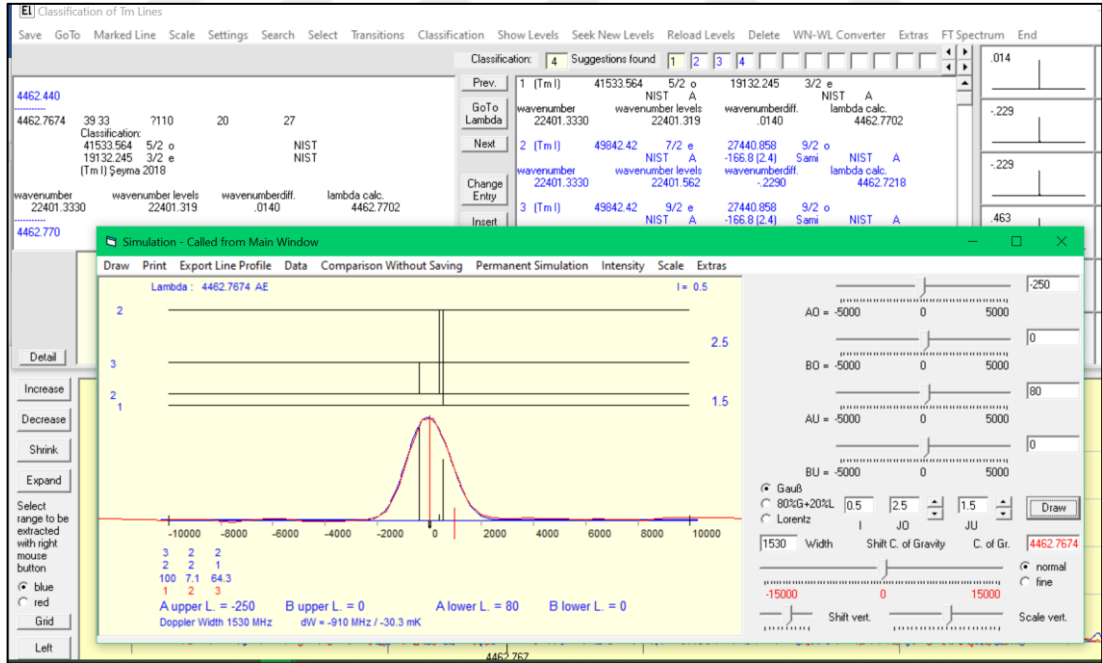
Bu tez çalışmasında incelenen Tm elementinin görünür bölgedeki (400 nm – 700 nm) FT-Spektrumu Letonya Üniversitesi Laser Merkezi'nde, Bruker IFS 125HR Fourier Transform spektrometresi ile elde edildi.

Spektral çizgi analizinde “sınıflandırma programı” kullanıldı [3]. Çizgi analizi sırasında görünür bölgede incelenen tüm spektral çizgilerin, 400 nm civarında yaklaşık 1600 MHz ile 700 nm civarında 1200 MHz aralığında yarı genişliğe sahip olduğu gözlemlendi. Belirlenen yarı genişlik, Doppler genişlemesi ve FT-spektrometresinin genişliğinden kaynaklanır.

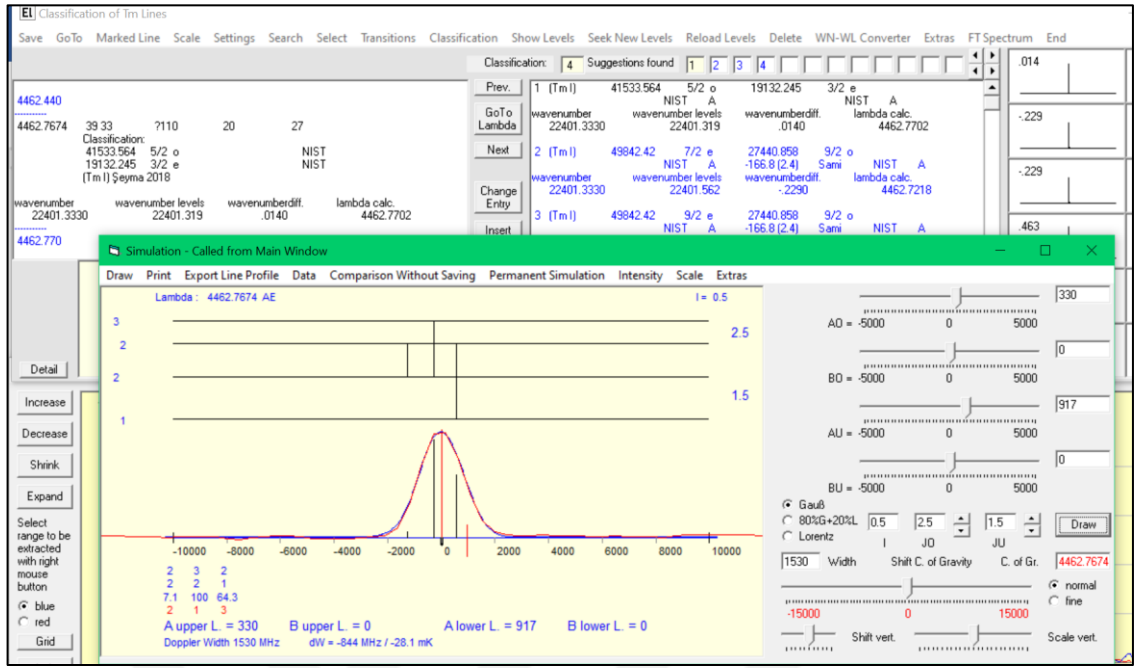
Tm'un spektral çizgileri sınıflandırılırken karşılaşılan zorlukları tanımlamak amacı tek bir çizgi için mümkün olabilecek dört ayrı analiz Şekil 5.1- Şekil 5.4 'de verildi. Burada sadece 4 farklı analiz örneği verildi ki örnek sayısı daha da artırılabilir. Dört şekilde görüldüğü gibi tek pike sahip ve her iki enerji seviyesinin hfs sabiti bilinmeyen aynı geçişe ait enerji seviyelerinin, manyetik dipol hfs sabitleri birbirinden çok farklı olsa da uygun fit durumu elde edilmiş izlenimi vermektedir. Simülasyon sonucunda elde edilen A değerleri simülasyon penceresinin sağ tarafında görülmektedir. Oysa matematiksel olarak uygun olan bu değerlerin fiziksel olarak hiçbir anlamı yoktur. Bu gibi yanlış sonuçlanabilecek analizlerin önüne geçilebilmesi için belirlenen kriterler çerçevesinde çalışılması çok önemli ve zorunludur.



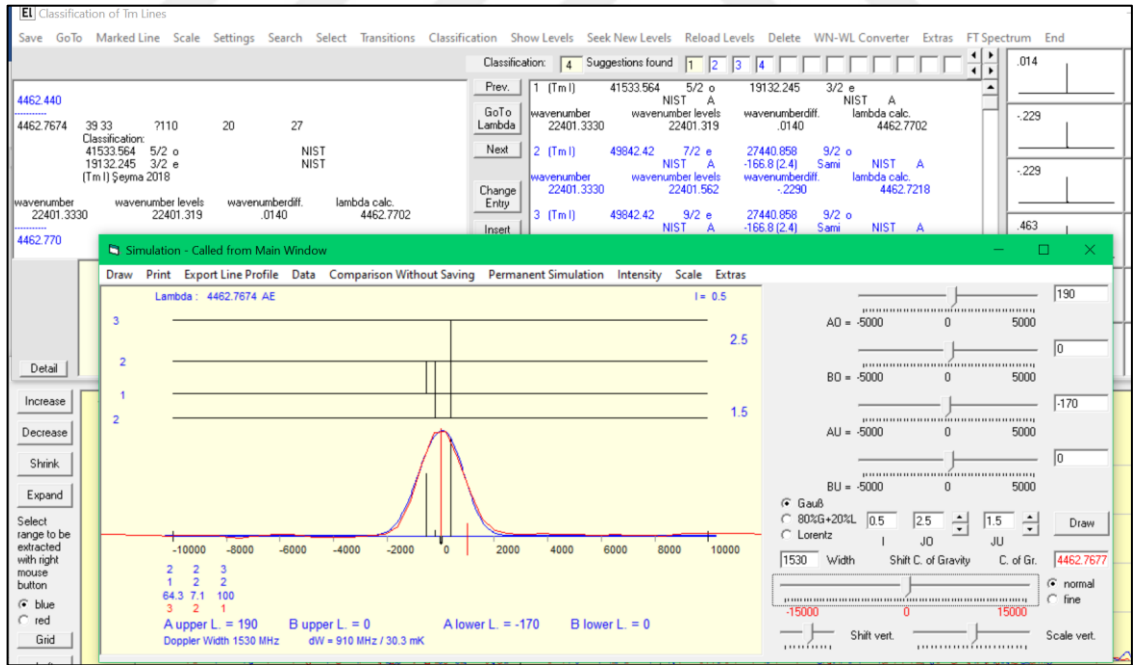
Şekil 5.1: $\lambda = 446.2767$ nm geçişine ait alt ve üst enerji seviyeleri için olası A değeri belirlenmesi.



Şekil 5.2: $\lambda = 446.2767$ nm geçişine ait alt ve üst enerji seviyeleri için olası A değeri belirlenmesi.



Şekil 5.3: $\lambda = 446.2767$ nm geçişine ait alt ve üst enerji seviyeleri için olası A değeri belirlenmesi.



Şekil 5.4: $\lambda = 446.2767$ nm geçişine ait alt ve üst enerji seviyeleri için olası A değeri belirlenmesi.

Spektral çizgi sınıflandırması yapılırken, uyarılmış atomlardan gelen radyasyonun aynı örnekteki uyarılmamış atomlar tarafından emilmesi şeklinde tanımlanan kendiliğinden soğurma olayının temel seviyeye olan geçişlerde meydana geldiği gözlemlendi. Alt seviyesi temel seviyeye olan çizgiler şiddetli çizgiler olup analizlerinin daha kolay olacağı düşünülürken bu etki sebebi ile analizleri zor olmuştur.

Şimdiye kadar literatürde sınıflandırılmamış toplam 531 tane çizgi bilinen ince yapı enerji seviyeleri kullanılarak sınıflandırıldı. Bunlardan 289 tanesi Tm I, 242 tanesi Tm II olarak ilk defa bu çalışmada isimlendirildi. Bunların dışında 388 tane düşük şiddetli spektral çizgi Tm geçişi olarak belirlendi ancak geçişlerin sınıflandırmaları bilinen Tm ince yapı enerji seviyeleri kullanılarak yapılamadı ve “Tm I veya Tm II” olarak ilk defa bu çalışmada verildi. Sınıflandırılmamış yeni spektral çizgilerin varlığı elementin hala bilinmeyen ince yapı enerji seviyelerinin varlığını gösterir. FT-Spektrumunda görülen çizgilerin bazıları çok zayıftır ve ilgili üst seviyeler çok düşük geçiş olasılığına sahiptir. Bu gibi durumlarda laser uyarımı, emisyon spektrumlarına göre daha faydalıdır. Bir üst seviyenin laser ile uyarılması sonucunda elde edilen floresans bilgisi, aynı zamanda, floresansın daha düşük seviyelerini tanımlamamızı da sağlar. Çok sayıda çizgi henüz deneysel olarak araştırılmamıştır ve yeni enerji seviyelerinin keşfedilmesine imkan sağlayacaktır. Farklı spektral bölgelerde yeni analizlerin yapılması, yüksek çözünürlüklü Laser Spektroskopik yöntemlerle yeni seviyelerin araştırılması için önemli bir motivasyondur.

Fitter programı [4] ile 47 tane spektral çizginin aşırı ince yapı analizi yapıldı. Tüm fit işlemlerinde yarıgenişlik tanımlanırken Voigt profili seçildi ve bilinen manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri fit süresince sabit tutularak 19 tane ince yapı enerji seviyesinin bilinmeyen manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti deneysel olarak ilk defa bu çalışmada elde edildi. Manyetik dipol hfs sabitleri en az iki spektral geçişin analizi ile belirlendi ve hata değerleri ile birlikte verildi. Gerek gürültü gerekse spektrumların sadece iki pikten oluşan yapılar olması nedeni ile hata değerleri hesaplanırken çok detaylı düşünülmesi gerekti. Bu amaçla Fitter programının hesapladığı hatalar 2 faktörü ile çarpılarak hesaba dahil edildi ve ayrıca çizgilerin fit işlemi sırasında enerji seviyelerinin sabit tutulan manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A değerlerinin literatürden belirlenen hataları da dikkate alındı ve ΔA_{fit} hata değerleri aşağıdaki eşitlik belirlendi:

$$\Delta A_{fit} = ((\Delta A_{program})^2 + (\Delta A_{literatür})^2)^{1/2} \quad (5.1)$$

Farklı standart sapmaya sahip veriler için ağırlıklı ortalama ($A_{a.o}$) ve ağırlıklı standart sapma ($\Delta A_{fit,i}$) hesabının yapılması gereklidir. Bu amaçla aşağıdaki iki eşitlik kullanılarak ağırlıklı manyetik dipol hfs sabitleri ve bunlara ait ağırlıklı standart sapma değerleri belirlendi.

$$A_{a.o} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{A_{fit,i}}{(\Delta A_{fit,i})^2}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{(\Delta A_{fit,i})^2}} \quad (5.2)$$

$$\Delta A_{fit} = \left(\frac{\sum_{i=1}^N \frac{(A_{fit,i} - A_{a.o})^2}{(\Delta A_{fit,i})^2}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{(\Delta A_{fit,i})^2} \cdot (N-1)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5.3)$$

Fitter programı kullanılarak ilk defa bu çalışmada deneysel olarak bulunan 19 tane ağırlıklı manyetik dipol hfs sabiti ve bunlara ait ağırlıklı standart sapma değerleri Tablo 5.1’de listelendi.

Tablo 5.1: Fitter programı ile ilk defa bu çalışmada belirlenen manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri.

Konfigürasyon	Terim	J	E / cm^{-1}	λ / nm	A / MHz	$A_{a.o}/\text{MHz}$	$\Delta A_{fit}/\text{MHz}$
$4f^{12}(^3\text{H}_6)5d_{3/2}6s^2$	(6,3/2)	4.5	13119.610	617.5297	-441.85	-445.5	3.2
				523.4797	-438.59		
				443.0863	-450.70		
$4f^{12}(^3\text{H}_6)5d_{6s}6p(^4\text{D}^{\circ}_{3/2})$		7.5	35557.700	592.7922	-599.85	-595.1	2.7
				523.3924	-593.58		
$4f^{12}5d_{6s}6p$		7.5	37159.510	565.0434	-550.38	-551.3	1.0
				507.3519	-549.55		
				541.3725	-553.09		
$4f^{12}5d_{6s}6p$		5.5	37276.778	561.3231	-714.47	-716.5	1.8
				542.6505	-711.79		
				460.9349	-713.77		
				542.1666	-719.33		
$4f^{12}5d_{6s}6p$		5.5	37657.928	549.5618	-94.89	-95.2	0.6
				494.8352	-96.34		
$4f^{12}5d_{6s}6p$		6.5	38012.795	486.2932	-140.74	-143.1	1.0
				439.5955	-143.5		
$4f^{12}5d_{6s}6p$		4.5	38499.016	533.1715	-263.6	-254.5	5.1
				512.4514	-251.69		

Tablo 5.1 (devam): Fitter programı ile ilk defa bu çalışmada belirlenen manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri.

Konfigürasyon	Terim	J	E / cm^{-1}	λ / nm	A / MHz	$Aa.o/\text{MHz}$	$\Delta A_{fit}/\text{MHz}$
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s6d(^3D)$	3[11/2] $^{\circ}$	5.5	39089.533	678.2006	-700.7	-700.4	1.9
				653.0803	-687.94		
$4f^{12}5d6s6p$		4.5	39244.584	512.7818	-138.53	-140.1	0.3
				462.1716	-140.46		
				444.2732	-140.22		
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s6d(^3D)$	3[5/2] $^{\circ}$	2.5	39277.087	672.8046	-1290.83	-1279.5	2.8
				512.0672	-1281.99		
				506.7463	-1272.72		
				464.4578	-1278.91		
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s6d(^1D)$	1[5/2] $^{\circ}$	2.5	39470.489	664.1592	173.59	175.5	1.7
				604.3990	175.35		
				439.8572	178.66		
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s6d(^3D)$	3[3/2] $^{\circ}$	1.5	39602.902	498.5138	-1810.48	-1811.6	1.4
				457.5318	-1813.43		
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6s6d(^3D)$	3[7/2] $^{\circ}$	2.5	39658.852	655.9512	377.79	386.5	5.2
				502.2458	386.16		
				447.9938	393.53		
$4f^{12}5d6s6p$		4.5	41151.100	591.3882	-376.88	-379.1	2.8
				533.7170	-382.71		
$4f^{12}5d6s6p$		3.5	42325.81	543.7783	-398.26	-395.8	2.8
				526.4272	-392.67		
$4f^{12}5d6s6p$		3.5	42742.008	400.0569	-695.62	-696.0	0.7
				431.0401	-697.34		
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})5d6p(^3F^{\circ}_3)$		5.5	43196.848	565.5847	-502.15	-500.4	1.3
				481.1648	-499.45		
$4f^{13}(^2F^{\circ}_{7/2})6p^2(^1D_2)$		2.5	44518.91	471.9269	-339.84	-338.0	5.4
				414.6129	-322.53		
$4f^{12}5d6s6p$		4.5	44919.302	483.5898	-346.51	-348.0	2.8
				444.3284	-353.3		

Tulyumun çekirdek spini $I = 1/2$ olması sebebi ile alt ve üst enerjilerin J değerleri arasındaki farka bağlı olarak aşırı ince yapısı dört ya da üç aşırı ince yapı geçişinden oluşur ve bunlardan ikisinin şiddeti diğerlerine göre oldukça yüksektir. Bu iki şiddetli geçiş arasındaki frekans farkı, “casimir katsayılarını” kullanarak alt ve üst enerji seviyelerine ait A değerlerinin bulunmasını

sağlar. Bunun gerçekleşebilmesi için bir A değerinin çok fazla çizgiden hesaplanabiliyor olması gerekir. Ayrıca çok sayıda ince yapı enerji seviyesinin A değeri bulunmak isteniyor ise çok sayıda spektral geçişin incelenmiş olması gerekir. FT-spektroskopisi bu nedenle bir anlamda bir hazinedir. Bu çalışma kapsamında Tm I olarak sınıflandırılan 1655 adet spektral çizgi kullanılarak bir lineer denklem sistemi oluşturuldu ve toplam 382 tane ince yapı seviyesi için A manyetik dipol hfs sabiti belirlendi. Bulunan bu değerlerin 138 seviyeye ait olanları daha önceden bilinen A değeri (ki buraya Fitter programı [4] ile bu çalışmada bulunan değerler de dahil edildi) ile karşılaştırılabilir ve bunların hata sınırları içinde uyumlu olduğu görüldü. Geriye kalan 244 tane ince yapı seviyesi için bu çalışmada ilk defa manyetik dipol hfs sabiti değeri için öneride bulunuldu. İlk defa bu çalışmada lineer denklem sistemi ile elde edilen A sabitleri Tablo 5.2 de verildi.

Tablo 5.2: Lineer denklem sistemi kullanılarak ilk defa bu çalışmada bulunan manyetik dipol hfs sabitleri.

E / cm^{-1}	J	A / MHz
19132.245	1.5	327(5)
21799.38	1.5	-233(10)
22468.046	5.5	-377(10)
22559.502	5.5	-398(5)
22902.127	6.5	-416(5)
23309.979	5.5	-290(5)
23374.681	6.5	-429(5)
23882.41	1.5	-807(5)
25488.545	5.5	-467(5)
26357.736	6.5	-332(5)
26448.274	2.5	-344(5)
27314.56	0.5	832(5)
27377.13	6.5	-662(5)
28340.29	3.5	-270(10)
29260.59	3.5	-393(5)
30585.65	1.5	-411(5)
30972.46	5.5	84(5)
31388.303	4.5	-589(10)
31431.88	2.5	-405(5)
31454.298	4.5	-405(10)
31510.24	3.5	-356(5)

Tablo 5.2 (devam): Lineer denklem sistemi kullanılarak ilk defa bu çalışmada bulunan manyetik dipol hfs sabitleri.

E / cm^{-1}	J	A / MHz
31520.98	1.5	-846(5)
32181.49	1.5	-218(10)
32780.04	1.5	-788(10)
32811.02	3.5	-341(5)
32928.76	1.5	-653(10)
33623.78	3.5	-340(5)
33638.74	5.5	-715(5)
33726.7	4.5	-557(10)
33778.36	3.5	-579(10)
33812.149	6.5	-449(5)
35054.681	4.5	-415(5)
35389.94	3.5	-476(10)
35673.62	2.5	-263(10)
36273.94	7.5	-270(5)
36377.733	4.5	-605(5)
36656.724	5.5	-371(10)
36934.216	3.5	-545(5)
37064.18	2.5	-938(5)
37221.455	3.5	-130(5)
37252.03	8.5	-480(5)
37365.13	6.5	-412(5)
37519.484	3.5	-214(5)
37576.866	4.5	-669(5)
37646.186	6.5	-550(5)
37711.074	4.5	-437(10)
37768.662	4.5	-569(10)
37858.62	7.5	-409(5)
37980.69	2.5	-228(5)
38120.71	4.5	-485(10)
38128.37	2.5	-253(5)
38161.255	5.5	-375(5)
38211.625	3.5	-430(5)
38237.89	1.5	152(5)
38347.875	5.5	-469(5)
38384.926	4.5	-368(5)
38433.92	2.5	-438(10)

Tablo 5.2 (devam): Lineer denklem sistemi kullanılarak ilk defa bu çalışmada bulunan manyetik dipol hfs sabitleri.

E / cm^{-1}	J	A / MHz
38482.584	3.5	-478(5)
38485.85	7.5	-486(5)
38529.686	5.5	-401(5)
38588.46	6.5	-543(5)
38685.555	4.5	-485(5)
38696.79	2.5	-184(5)
38751.812	2.5	-618(5)
38844.072	5.5	-346(5)
38861.937	2.5	-1489(5)
38915.9	6.5	-402(10)
39061.819	1.5	471(10)
39123.17	4.5	-547(10)
39157.57	6.5	-622(5)
39187.473	3.5	-995(5)
39220.035	4.5	-386(5)
39259.92	2.5	-358(10)
39322.014	4.5	-400(5)
39386.959	2.5	-52(5)
39413.672	3.5	-488(5)
39419.9	1.5	27(5)
39444.295	4.5	-580(5)
39462.782	3.5	-630(5)
39479.873	5.5	-483(10)
39480.272	3.5	-475(5)
39488.236	4.5	-491(5)
39547.31	2.5	-638(10)
39563.003	5.5	-445(10)
39635.56	1.5	-642(10)
39698.7	4.5	-623(10)
39709.038	5.5	-412(10)
39847.04	3.5	-586(10)
39942.571	5.5	-528(10)
39996.221	3.5	-396(5)
40061.324	3.5	-450(10)
40066.7	2.5	-807(10)
40091.58	1.5	-338(5)

Tablo 5.2 (devam): Lineer denklem sistemi kullanılarak ilk defa bu çalışmada bulunan manyetik dipol hfs sabitleri.

E / cm^{-1}	J	A / MHz
40101.72	4.5	-483(5)
40113.75	6.5	-201(5)
40128.384	5.5	-442(5)
40322.536	4.5	-282(5)
40347.267	2.5	-389(5)
40503.326	5.5	-425(5)
40516.66	4.5	-420(10)
40517.661	4.5	-455(5)
40533.825	3.5	-530(10)
40584.52	2.5	-176(5)
40586.4	6.5	-385(5)
40596.302	3.5	-534(10)
40649.441	3.5	-440(5)
40663.129	5.5	-429(5)
40763.892	3.5	-444(5)
40780.904	6.5	-459(5)
40802.56	3.5	-445(5)
40855.53	6.5	-475(5)
40855.58	4.5	-281(5)
40938.61	2.5	-505(15)
41012.387	3.5	-383(5)
41078.537	4.5	-875(5)
41081.384	5.5	-525(5)
41085.039	3.5	-424(10)
41089.05	0.5	-1063(5)
41109.364	4.5	-472(5)
41124.334	4.5	-580(5)
41144.66	3.5	-470(5)
41299.37	8.5	-297(5)
41352.806	5.5	-478(5)
41391.1	4.5	-576(5)
41425.474	3.5	-334(5)
41525.2	3.5	-331(5)
41533.564	2.5	-53(10)
41544.59	2.5	-785(5)
41569.114	5.5	-487(5)
41576.146	4.5	-594(5)
41617.243	3.5	-569(5)
41687.404	5.5	-489(5)
41700.222	5.5	-460(5)
41728.003	4.5	-343(5)
41743.39	1.5	187(5)

Tablo 5.2 (devam): Lineer denklem sistemi kullanılarak ilk defa bu çalışmada bulunan manyetik dipol hfs sabitleri.

E / cm^{-1}	J	A / MHz
41841.602	3.5	-512(5)
41874.369	5.5	-331(5)
41880.13	7.5	-544(5)
41881.739	4.5	-430(5)
41917.235	6.5	-556(5)
42119.08	5.5	-328(5)
42179.886	2.5	-237(10)
42198.77	2.5	-778(10)
42367.61	2.5	-568(5)
42370.718	3.5	-246(10)
42406.656	6.5	-601(5)
42541.367	5.5	-281(5)
42543.119	3.5	-431(5)
42545.15	6.5	-316(5)
42561.536	4.5	-295(10)
42581.974	5.5	-444(5)
42594.049	4.5	-146(5)
42694.95	2.5	-818(5)
42705.88	2.5	-761(10)
42718.44	4.5	-486(5)
42770.792	4.5	-483(10)
42783.46	3.5	-809(5)
42839.493	4.5	-263(10)
42855.44	7.5	-242(5)
42876.38	2.5	-867(5)
42902.504	2.5	-394(10)
42952.02	3.5	-293(5)
42957.138	5.5	-56(5)
42961.884	5.5	-347(5)
43034.166	3.5	-516(5)
43051.55	7.5	-500(5)
43052.541	3.5	-363(10)
43056.22	2.5	72(5)
43098.19	3.5	-429(5)
43113.646	2.5	-528(15)
43115.42	4.5	-439(5)
43160.53	1.5	-367(5)
43186.335	5.5	-419(5)
43221.84	1.5	-116(5)
43230.7	1.5	-544(5)
43288.722	6.5	-481(5)
43292.24	4.5	11(5)
43303.151	3.5	-404(5)

Tablo 5.2 (devam): Lineer denklem sistemi kullanılarak ilk defa bu çalışmada bulunan manyetik dipol hfs sabitleri.

E / cm^{-1}	J	A / MHz
43318.02	2.5	-1278(5)
43354.65	4.5	-306(5)
43408.96	5.5	-592(5)
43428.78	3.5	-626(10)
43429.363	4.5	-436(5)
43430.758	2.5	-505(15)
43438.251	6.5	-503(5)
43447.878	5.5	-472(5)
43464.15	4.5	-192(5)
43481.28	2.5	-328(5)
43493.68	2.5	-121(5)
43544.574	4.5	-624(10)
43571.61	2.5	-188(5)
43588.18	3.5	-659(10)
43614.261	7.5	-499(5)
43755.64	4.5	-304(5)
43788.44	5.5	-353(5)
43800.88	1.5	-147(5)
43836.666	6.5	-483(10)
43958.23	2.5	-368(5)
43974.645	5.5	-322(5)
43979.308	6.5	-508(5)
44142.395	3.5	-573(10)
44180.935	5.5	-454(10)
44182.324	2.5	-739(10)
44206.39	3.5	-403(5)
44210.42	7.5	-489(5)
44238.85	4.5	-398(5)
44243.40	2.5	-49(5)
44263.974	3.5	-292(10)
44265.285	3.5	-344(5)
44276.41	5.5	-437(5)
44300.233	2.5	-460(10)
44316.715	4.5	-377(10)
44323.00	3.5	-247(5)
44380.90	4.5	-512(5)
44417.48	5.5	-360(5)
44418.695	6.5	-429(5)
44456.23	3.5	-764(10)
44483.351	1.5	-607(5)
44515.01	6.5	-344(5)
44529.428	3.5	-247(5)
44545.9	1.5	-1891(5)

Tablo 5.2 (devam): Lineer denklem sistemi kullanılarak ilk defa bu çalışmada bulunan manyetik dipol hfs sabitleri.

E / cm^{-1}	J	A / MHz
44582.64	4.5	-478(5)
44591.133	6.5	-444(5)
44689.913	4.5	-257(5)
44747.009	5.5	-192(5)
44750.078	3.5	-454(5)
44774.242	4.5	-205(10)
44855.24	2.5	-266(15)
44891.22	3.5	-351(5)
45058.379	5.5	-476(5)
45070.577	4.5	-631(10)
45091.022	4.5	-364(5)
45147.3	4.5	-532(10)
45289.01	5.5	-191(5)
45485.87	5.5	-165(5)
45635.737	5.5	-500(5)
46163.587	5.5	-166(5)
46262.14	5.5	-477(5)
46500.09	3.5	-481(5)
47644.931	6.5	-362(5)
49796.05	4.5	-154(5)
49811.66	3.5	-1424(10)
49813.72	4.5	-118(10)
49862.08	3.5	-355(5)

Bu tezde yapılan yeni spektral çizgi sınıflandırmaları ve yeni belirlenen aşırı ince yapı sabitleri ile Tm elementi için hem fizik hem de astrofizik alanlarında kullanılan atomik veritabanlarına önemli bir katkı sağlandı.

KAYNAKLAR

- [1] Prialnik, D., 2009, An Introduction to the theory of stellar structure and evolution, *Cambridge University Press*, England, ISBN: 1316284301, 9781316284308.
- [2] Kopfermann, H., Schneider, E.E., 1958, Nuclear Moments, *Academic Press Inc*, Catalog Number 56-6607.
- [3] Windholz, L. and Guthöhrlein, G. H., 2003, Class-LW bilgisayar programı, *Physica Scripta*, 105, 55.
- [4] Zeiser, A. et al., 2019, New version of the program Fitter for fitting atomic hyperfine structure in optical spectra including the calculation of confidence intervals, henüz yayınlanmamış.
- [5] Lindenberger, K.H., 1955, Magnetisches Kern dipol moment und Kerndrehimpulsquantenzahl des ${}_{69}\text{Tm}^{169}$, *Zeitschrift für Physik*, Bd. 141, S. 476-485.
- [6] Ritter, G.J., 1962, Ground-State Hyperfine Structure and Nuclear Magnetic Moment of Thulium-169, *Physical Review*, Volume 128, Number 5.
- [7] Giglberger, D., Penselin, S., 1967, Ground-State Hyperfine Structure and Nuclear Magnetic Moment of Thulium-169, *Zeitschrift für Physik* 199, 244-255.
- [8] Kuhl, J., 1971, Hyperfeinstrukturuntersuchungen mit einem sphärischen Fabry-Perot Interferometer mit einem Absorbtionsstrahl im Tm I und Eu I spektrum, *Zeitschrift Für Physik*, 242, 66-85.
- [9] Sugar, J. et. al, 1973, Journal of the Research of the National Bureau of Standards, *A. Physics and Chemistry*, Vol. 77A, No. 1.
- [10] Brandt, H., W., Camus, P., 1977, Recent Hyperfine Structure Investigations in the Configurations $4f^{13}6s^2$, $4f^{13}6s\ 6p$, and $4f^{12}5d\ 6s^2$ of Tm I, *Zeitschrift Physik A* 283, 309-313.
- [11] Leeuwen, K.A.H., et. al, 1980, High Resolution Measurements of the Hyperfine Structure in 10 Levels of Tm I, *Physics Letters*, Vol. 78A, No.1, 54-56.
- [12] 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.
- [13] Childs, W.J. et al., 1984, Hyperfine structure of $4f^N\ 6s^2$ configurations in ${}^{159}\text{Tb}$, ${}^{161,163}\text{Dy}$, and ${}^{169}\text{Tm}$, *J. Opt. Soc. Am. B*, Vol.1, No.1.
- [14] 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.

- [15] 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.
- [16] Pfeufer, V., 1987, On the Hyperfine Structure in the Configurations $4f^n 6s^2$, $4f^n 5d 6s$, $4f^n 6s 6p$, and $4f^{n-1} 5d 6s^2$ of the Lanthanides, *Zeitschrift für Physik D, Atoms, Molecules and Clusters* 4, 351-366.
- [17] Tripplet, B.B. et, 1992, Electronic Relaxation Observed In Mössbauer Hyperfine Spectra Of Tm Metal, *J.C. Baltzer AG, Hyperfine Interactions* 72, 97-102.
- [18] 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*, Volume 2, Number 11.
- [19] Kronfeldt, H.D., Kröger, S. 1997, Hyperfine Structure in the Configuration $4f^{13} 6s 7s$ of Tm I, *Zeitschrift für Physik D*, 34, 219-222.
- [20] Wickliffe, M.E., Lawler, J.E., 1997, Atomic Transition Probabilities of Tm I and Tm II, *J. Opt. Soc. Am. B.*, Vol. 14, No. 4.
- [21] 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.
- [22] 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*, Vol. 66, No. 12, 3778-3782.
- [23] Biémont, E., Quinet, P., 2003, Recent Advances in the Study of Lanthanide Atoms and Ions, *Physica Scripta*. Vol. T105, 38-54.
- [24] Başar Gö., Başar Gü., et al., 2005, Hyperfine Structure of High Lying Levels of Tm I, *Physica Scripta.*, Vol. 71, 159-162.
- [25] Sneden, C., et al., 2009, New Rare Element Abundance Distributions For The Sun And Five R- Process Rich Very Metal-Poors Stars, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 182:80-96.
- [26] Smirnov, M. Yu., 2011, Excitation of Even Levels of Tm II from Ground State of Thulium Atom, *Optics and Spectroscopy*, Vol. 110, No. 4, 493-499.
- [27] 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.
- [28] Tian, Y., et al., 2016, Radiative lifetime measurements of some Tm I and Tm II levels by time-resolved laser spectroscopy, *MNRAS* 457, 1393-1398.
- [29] Kröger, S., 1996, *Hyperfeinstruktur des Thuliums und weiterer Lanthanide (Gd, Ho, Er, Yb)*, Doktora Tezi, Berlin Tech. Universitat.
- [30] Sert S., 2019, *Tulyum Elementinin 3500-10000 cm^{-1} aralığındaki spektral çizgilerinin sınıflandırılması ve aşırı ince yapısının incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

- [31] [www.https://www.nist.gov/pml/atomic-spectra-database](https://www.nist.gov/pml/atomic-spectra-database) [Ziyaret tarihi: 20.07.2019].
- [32]. Krüger, J., 1986, Diplomarbeit, *Institut für angewandte Physik*, Universität Bonn.
- [33] S.T. Iqbal, 2012, *Systematic studies of hyperfine structure of neutral praseodymium based on a Fourier transform spectrum and laser induced fluorescence*, Doktora Tezi, Graz University of Technology,
- [34] Haken, H. and Wolf, H.C., 2000, The physics of atoms and quanta, introduction to experiments and theory, *Springer-Verlag, NewYork*, ISBN: 3-540-67274-5.
- [35] Aygün, E. ve Zengin, D. M., 1988, Atom ve molekül fiziği, Bilim Yayınları, Ankara, ISBN: 975-556-017-3
- [36] Bransden, B. H. and Joachain, C. J., 1999, Atom ve molekül fiziği, Bilim Yayınları, Ankara, ISBN: 975-7636-03-7.
- [37] Demtröder, W., 1998, Laser spectroscopy basic concepts and instrumentation, Springer, Germany, ISBN: 3-540-57171-X.
- [38] Hollas, J.M., 2004, Modern spectroscopy, John Wiley & Sons, ISBN-13: 978-0470844168
- [39] Thorne, A., Litzen, U., Johansson, S., 1999, Spectrophysics Principles and Applications., *Space Science Reviews* 90, 525
- [40] <https://www.webelements.com/thulium/> [Ziyaret tarihi: 05.09.2019].
- [41] <https://physics.nist.gov/PhysRefData/Handbook/Tables/thuliumtable1.htm> [Ziyaret tarihi: 10.09.2019].
- [42] P.N. Lebedev, 2007, *Appl. Phys.*, B89, 589–594, DOI:10.1007/s00340-007-2835-z
- [43] Stone N.J., 2005, Table of Nuclear Magnetic Dipole and Electric Quadrupole Moments, *Elsevier*, Volume 90, Issue 1, Pages 75-176
- [44] Skoog D. A., Holler F. J., Nieman T. A., 1998, *Enstrümantal Analiz İlkeleri*, Bilim Yayınevi, Ankara
- [45] Velasco, A.V., Cheben, P., Florjańczyk, M. and Calvo, M.L., 2014. Spatial heterodyne Fourier-transform waveguide spectrometers., *Elsevier. In Progress in Optics*, 59, 159-208.
- [46] Bell, R., 2012. Introductory Fourier transform spectroscopy. *Elsevier*.

- [47] Gauss, C. F., Arthur A. Clarke, 1965, *Disquisitiones Arithmeticae*, Yale University Press, ISBN 0-300-09473-6
- [48] Helmrich G., 1997 , *Spektroskopie-Eine Einführung in die Praxis der Fluoreszenz-und Laserspektroskopie*
- [49] Harnisch, M., Berweger, E., Töpper, O., Krause, T., 1995, *Fitprogramm zur computerunterstützten Auswertung von HFS-Spektren. Hamburg: Universität der Bundeswehr*



EKLER

Manyetik dipol aşırı ince yapı hfs sabitlerinin hesaplanabilmesi için Octave 5.2.0 programı kullanılarak oluşturulan kaynak kodu aşağıda verildi.

```
format shortG
```

```
pkg load io
```

```
nameinput = strcat('C:\Matlab/Tm-all-v20.xlsx')
```

```
nameoutput = strcat('C:\Matlab/Tm-all-v20-results.xlsx')
```

```
nameoutputsheet1 = strcat('output-lines')
```

```
nameoutputsheet2 = strcat('output-levels')
```

```
nameoutputsheet3 = strcat('sigma2')
```

```
weightfactor = 100
```

```
data = xlsread(nameinput)
```

```
nrow = size(data,1)
```

```
ncolumn = max(max(data(:,[5,8])))
```

```
M = zeros(nrow,ncolumn)
```

```
for i=1:nrow
```

```
    if (data(i,5)>0)
```

```
        M(i,data(i,5))=data(i,6)*data(i,10)*data(i,12)/weightfactor;
```

```
    End
```

```
    if (data(i,8)>0)
```

```
        M(i,data(i,8))=-data(i,9)*data(i,10)*data(i,12)/weightfactor;
```

```
    End
```

```
End
```

```
dWexp = data(:,11).*data(:,12)/weightfactor
```

```

Acalc = M\dWexp
dWcalc = M*Acalc
eps = dWexp - dWcalc
sigma2 = eps'*eps/(size(M,1)-size(M,2))
varAcalc = sigma2*inv(M'*M)
sigmaAcalc = sqrt(diag(varAcalc))
M_unweighted = zeros(nrow,ncolumn)
for i=1:nrow
    if (data(i,5)>0)
        M_unweighted(i,data(i,5))=data(i,6)*data(i,10);
    End
    if (data(i,8)>0)
        M_unweighted(i,data(i,8))=-data(i,9)*data(i,10);
    End
End
dWcalc_unweighted = M_unweighted*Acalc
eps_output = data(:,11) - dWcalc./data(:,12)*weightfactor
lines = data(:,[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12])
output1 = cat(2,lines,dWcalc_unweighted,eps_output)
levels = zeros(ncolumn,3)
for i=1:nrow
    if (data(i,5)>0)
        levels(data(i,5),1)=data(i,4);
        levels(data(i,5),2)=data(i,6)-0.5;

```

```

        levels(data(i,5),3)=data(i,5);
    end
end
for i=1:nrow
    if (data(i,8)>0)
        levels(data(i,8),1)=data(i,7);
        levels(data(i,8),2)=data(i,9)-0.5;
        levels(data(i,8),3)=data(i,8);
    end
end
output2 = cat(2,levels,Acalc,sigmaAcalc)
position=strcat('O1:P',num2str(ncolumn))
xlswrite(nameoutput,output1,nameoutputsheetsheet1)

xlswrite(nameoutput,output2,nameoutputsheetsheet2)

xlswrite(nameoutput,sigma2,nameoutputsheetsheet3)

```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Şeyma Parlattan
Doğum Yeri	İstanbul
Doğum Tarihi	19.08.1985
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	
E-Posta Adresi	seymaseninak@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Trakya Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölümü	Fizik
Mezuniyet Yılı	2007

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

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

Makale ve Bildiriler	
1. Günay Başar, Uğur Parlattan, Şeyma Şeninak, Tuba Günel, Ali Benian, İbrahim Kalelioğlu, Investigation of preeclampsia using Raman spectroscopy, 2012, <i>Hindawi Publishing Corporation Spectroscopy: An International Journal</i> , Volume 27, Issue 4, 239–252	
2. Seda Kın, Günay Başar, Uğur Parlattan, Şeyma Şeninak, Investigation of Biological Particles Using Optical Tweezers Raman Spectrometer, 2009, <i>Nano Workshop</i> , Istanbul Technical University (Poster Bildiri)	
3. Şeyma Şeninak, Uğur Parlattan, Günay Başar, Gönül Başar, Band Component Analysis of Raman spectra From Pre-eclamptic Serum and Plasma Samples, , <i>ECAMP 10</i> , 4-9 July 2010, Salamanca, Spain (Poster Bildiri)	

4. Uğur Parlatan, Şeyma Şeninak, Günay Başar, Gönül Başar, Investigation of Preeclampsia by Analysing the Raman Spectra from Serum and Plasma Samples : A Chemometrics Approach, *ECAMP 10*, 4-9 July 2010, Salamanca, Spain (Poster Bildiri)
5. Başar G., Başar G., Kin S., Parlatan U., Şeninak Ş., Interaction Of Kyotorpin (Ktp; L-Tyrosine-L-Arginine) In Different Consantrations With The Membrane Of Optically Trapped Dmpc Vesicle", *22nd International Conference on Raman Spectroscopy (ICORS)*, ABD, 8-13 Ağustos 2010 (Poster Bildiri)
6. Gönül Başar; Günay Başar; Uğur Parlatan; Şeyma Şeninak, Interaction Of Kyotorphin In Different Concentrations With The Membrane Of Optically Trapped DMPC Vesicle, *ICORS 10*, 8-13 August 2010, Boston, Massachusetts (Poster Bildiri)
7. Ş. Şeninak , U.Parlatan , F.İnci, G. Başar, F.N. Kök , G.Başar , Investigation of Modifications In Physicochemical Structure Of Liposomes Due to Transmembrane Proteins By Raman Tweezers *Turkish Physical Society 28th International Physics Congress*, 6-9 September 2011, Bodrum, Turkey (Poster Bildiri)
8. Ş. Şeninak , U.Parlatan , G. Başar, G.Başar, Parameter Dependency Of Band Component Analysis Outputs In Raman Spectroscopy, *Turkish Physical Society 29th International Physics Congress*, 5-8 September 2012, Bodrum, Turkey (Poster Bildiri)
9. Güzelçimen F., Başar G., Öztürk İ., Şeninak Ş., Kröger S., Ferber R., Tamanis M., Başar G., New Experimental Hyperfine Structure Constants Of High-Lying Even-Parity Levels Of Vanadium, *11th European Conference on Atoms, Molecules and Photons (ECAMP11)*, Danimarka, 24-28 Haziran 2013, pp.0-0 (Poster Bildiri)
10. Şeyma Şeninak, Uğur Parlatan, Günay Başar, Gönül Başar, Tuba Günel, İbrahim Kalelioğlu, Ali Benian, Investigation of Preeclampsia Using Raman Spectroscopy, *Turkish Physical Society 27th International Physics Congress*, 14-17 September 2010, Istanbul, Turkey (Sözlü Bildiri)
11. U.Parlatan, F.İnci, Ş. Şeninak , F. N. Kök, G. Başar, Investigation Of Effects Of Transmembrane Protein Presence On Liposomes By Raman Tweezers, *Turkish Physical Society 28th International Physics Congress*, 6-9 September 2011, Bodrum, Turkey (Sözlü Bildiri)
12. U.Parlatan, Ş. Şeninak, G. Başar, Effects of PreProcessing on Raman Spectral Analysis, *Turkish Physical Society 29th International Physics Congress*, 5-8 September 2012, Bodrum, Turkey (Sözlü Bildiri)