



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**LANTAN I VE VANADYUM I ELEMENTLERİNİN AŞIRI
İNCE YAPILARININ İNCELENMESİ**

Feyza GÜZELÇİMEN

Fizik Anabilim Dalı

Atom ve Molekül Fiziği Programı

Danışman

Prof.Dr. Gönül BAŞAR

Prof. Dr. Sophie KRÖGER (İkinci Danışman)

Mart, 2012

İSTANBUL



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**LANTAN I VE VANADYUM I ELEMENTLERİNİN AŞIRI
İNCE YAPILARININ İNCELENMESİ**

Feyza GÜZELÇİMEN

Fizik Anabilim Dalı

Atom ve Molekül Fiziği Programı

Danışman

Prof.Dr. Gönül BAŞAR


Prof. Dr. Sophie KRÖGER (İkinci Danışman)

Mart, 2012

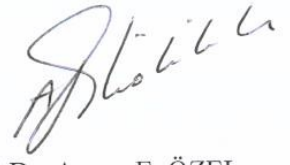
İSTANBUL

Bu çalışma 08/03/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı Atom ve Molekül Fiziği programında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi




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



Prof. Dr. Ayşen E. ÖZEL
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Çetin ARIKAN
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Sevim AKYÜZ
İstanbul Kültür Üniversitesi
Fen Fakültesi



Doç. Dr. Gülay ACAR
İstanbul Teknik Üniversitesi
Fen Fakültesi

Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 4320 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans ve doktora öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek, ilgi ve yardımdan dolayı çok değerli hocam ve tez danışman hocam Prof. Dr. Gönül BAŞAR'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Berlin Bilim ve Teknik Akademisi öğretim Üyelerinden ikinci danışman hocam Prof. Dr. Sophie KRÖGER'e ve Avusturya Graz Teknik Üniversitesi Deneysel Fizik Enstitüsü öğretim üyelerinden değerli hocam Prof. Dr. Laurentius WINDHOLZ'a hem teorik hem de deneysel konularda bana verdikleri bilgi ve emek için çok teşekkür ederim.

Doktora tez çalışmam boyunca bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım İstanbul Teknik Üniversitesi öğretim üyelerinden Doç. Dr. Günay BAŞAR'a, İstanbul Üniversitesi öğretim üyelerinden Yrd. Doç. Dr. İpek Kanat ÖZTÜRK'e, İstanbul Üniversitesi öğretim üyelerinden Doç. Dr. Selçuk BİLİR'e ve çalışma arkadaşım Arş. Gör. Dr. Alev ER'e teşekkür ederim.

Bu çalışmanın Avusturya Graz Teknik Üniversitesi Deneysel Fizik Enstitüsünde gerçekleştirdiğimiz Laser ile Uyarılmış Floresans Spektroskopisi yöntemiyle yapılan deneysel kısmında, hem verdikleri bilgiler ve sahip oldukları tecrübelerden hem de gösterdiği ilgilerinden dolayı Dr. İmran SIDDIQUI ve Dr. Shamim KHAN'a çok teşekkür ederim.

Bu çalışmanın Letonya Üniversitesi Laser Merkezinde gerçekleştirilen Fourier Transform Spektroskopisi yöntemiyle yapılan deneysel kısmında gösterdikleri destek ve yardımlar için Letonya Üniversitesi Atom Fiziği ve Spektroskopisi Enstitüsü Fizik Bölümü öğretim üyelerinden Prof. Dr. Rubin FERBER, Dr. Maris TAMANIS ve Dr. Andrey JARMOLA'ya teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasını destekleyen İstanbul Üniversitesi başta olmak üzere, deneysel kısmını destekleyen Avusturya Graz Teknik Üniversitesi Deneysel Fizik Enstitüsü ve Letonya Üniversitesi Atom Fiziği ve Spektroskopisi Enstitüsü Fizik Bölümü'ne teşekkürü borç bilirim.

Bana her koşulda destek veren, yardımlarını ve sevgilerini esirgemeyen, her an yanımda olduklarını bildiğim canım annem ve canım babama sonsuz teşekkür ederim.

Mart, 2012

Feyza GÜZELÇİMEN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	x
SEMBOL LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	4
3. MALZEME VE YÖNTEM	27
3.1. ÇOK ELEKTRONLU ATOMLAR	27
3.1.1. Merkezi Alan Yaklaşıklığı	27
3.1.2. Hartree-Fock ve Öz Uyumlu Alan	29
3.1.3. Parite	33
3.1.4. Konfigürasyon	35
3.1.5. Seçim Kuralları	36
3.2. ATOMLARDA İNCE YAPI	38
3.2.1 Atom İçindeki Etkileşmeler	38
3.2.1.1. <i>LS</i> -çiftlenimi.....	38
3.2.1.2. <i>JJ</i> -çiftlenimi.....	40
3.2.2. İnce Yapı Yarılımları	41
3.3. ATOMLARDA AŞIRI İNCE YAPI	44
3.3.1. Manyetik Etkileşim	44
3.3.2. Elektrostatik Etkileşim	48
3.3.3. Aşırı İnce Yapı Yarılımları	50
3.4.SPEKTRAL ÇİZGİLERDEKİ GENİŞLEMELER.....	54

3.4.1. Doğal Çizgi Genişlemesi	54
3.4.2. Doppler Genişlemesi	57
3.4.3. Çarpışma ve Basınç Genişlemesi	59
3.4.4. Saturasyon Genişlemesi	60
3.4.5. Birleşik Çizgi Genişlemeleri	61
3.5. LANTAN ELEMENTİ	64
3.6. VANADYUM ELEMENTİ	66
3.7. KULLANILAN DENEYSEL YÖNTEMLER	69
3.7.1. Silindir Katot.....	69
3.7.2. Fouirer Transform (FT) Spektroskopisi.....	71
3.7.2.1. Fouirer Transform (FT) Spektroskopisi Deney Düzenegi.....	77
3.7.3. Laser Uyarılmış Floresans (LIF) Spektroskopisi.....	80
3.7.3.1. Laser Uyarılmış Floresans (LIF) Spektroskopisi Deney Düzenegi.....	86
3.7.3.2. Boya Laser.....	91
3.7.4. Optogalvanik Spektroskopisi (OGS).....	94
3.8. SPEKTRAL DATA ANALİZ PROGRAMLARI	98
3.8.1. Klasifikasyon Programı	98
3.8.2. Simülasyon Programı	105
3.8.3. Fitter Programı.....	106
4. BULGULAR	116
4.1. LANTAN I ELEMENTİNİN AŞIRI İNCE YAPI ANALİZİ	116
4.1.1. Fouirer Transform Spektroskopisi ile İncelemeler.....	117
4.1.2. Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopisi ile İncelemeler	125
4.2. VANADYUM I ELEMENTİNİN AŞIRI İNCE YAPI ANALİZİ	198
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	207
5.1. LANTAN I	207
5.2. VANADYUM I	209
KAYNAKLAR	211
EK-1	217
EK-2	297

EK-3	313
ÖZGEÇMİŞ	316

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1	: LS-çiftleniminin şekli.	39
Şekil 3.2	: İki elektronlu bir atomda, manyetik alanın Paschen-Back bölgesinde jj-çiftleniminin şeması.	41
Şekil 3.3	: $s = 1/2$ ve $\ell = 1$ kuantum sayılarına sahip olan 2P terimli bir enerji seviyesinin ince yapı yarılmaları.	43
Şekil 3.4	: Atoma ait vektör modeli.	46
Şekil 3.5	: Aşırı ince yapı nedeniyle enerji seviyesindeki yarılmalar ve enerjiler arasındaki farklar.	53
Şekil 3.6	: Bir spektral çizginin doğal çizgi genişleme profili.	56
Şekil 3.7	: Eşit yarı genişliklere sahip Lorentz ve Gauss profillerinin karşılaştırılması.	63
Şekil 3.8	: Lantan ve Vanadyum elementlerinin periyodik cetveldeki yerleri.	68
Şekil 3.9	: Fourier Transform Spektroskopisi deney düzeneğinde kullanılan silindir katot şematik gösterilişi.	69
Şekil 3.10	: Michelson interferometresi diyagramı A gelen ışının genliği, M_1 sabit ayna, M_2 hareketli ayna, BS ışın ayırıcı, s_1 ve s_2 farklı optik ışın yolları ve B gözlem düzlemidir. Dedektör gözlem düzleminde.	72
Şekil 3.11	: Hareketli aynaya sahip bir Michelson interferometresinden geçen normalize ışık şiddeti I_1/I_0 , (a) Monokromatik ışık için, (b) $I_{01}(\omega_1)$ ve $I_{02}(\omega_2)$ şiddetlerinin süperpozisyonu için, yol farkı Δs 'e bağlı olarak gösterilmiştir.	76
Şekil 3.12	: Letonya Üniversitesi Laser Merkezindeki (Letonya-Riga) Fourier Transform Spektroskopisi deney sistemi.	78
Şekil 3.13	: Bir spektral geçişin laser ışığı uyarımı ile, alt ve üst enerji seviyelerinden gözlenebilecek mümkün pozitif ve negatif floresanslar.	85
Şekil 3.14	: Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopisi deney düzeneği.	87
Şekil 3.15	: Fabry-Perot interferometresinin serbest spektral bölge aralığı ve spektral çizgi genişliği.	90
Şekil 3.16	: Organik boya molekülünün enerji seviye diyagramı.	92
Şekil 3.17	: Graz Teknik Üniversitesin Laser Spektroskopi Laboratuvarında bulunan LIF deney düzeneğinde kullanılan boya laser sistemi.	93
Şekil 3.18	: Optogalvanik Spektroskopisi standart deney düzeneği şeması.	95
Şekil 3.19	: Klasifikasyon [70] programının giriş dosyası örneği, La I elementinin Level_La giriş dosyası.	100

Şekil 3.20	:Klasifikasyon [70] programının giriş dosyası örneği, iyonize olmuş La elementinin Level_Laii giriş dosyası	100
Şekil 3.21	:Klasifikasyon [70] programında, La elementinin dalgaboyu giriş dosyasının (wLa) bir kesiti	102
Şekil 3.22	:566.1378 nm dalgaboylu spektral geçiş için Klasifikasyon [70] programının ana menüsü.....	103
Şekil 3.23	:Klasifikasyon [60] programının temel çalışma mantık şeması.....	105
Şekil 3.24	:Simülasyon programı	106
Şekil 3.25	:La I elementinin Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopi yöntemi ile elde edilen $24910.375 \text{ cm}^{-1} (J = 3/2) \rightarrow 7231.416 \text{ cm}^{-1} (J = 1/2)$ ($\lambda = 565.4871 \text{ nm}$) spektral geçişinin lineerize edilmemiş spektrumu.....	109
Şekil 3.26	:La I elementinin Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopi yöntemi ile elde edilen $24910.375 \text{ cm}^{-1} (J = 3/2) \rightarrow 7231.416 \text{ cm}^{-1} (J = 1/2)$ ($\lambda = 565.4871 \text{ nm}$) spektral geçişinin Fitter [8] programı ile lineerize edilmiş spektrumu.....	109
Şekil 3.27	: $\lambda = 565.4871 \text{ nm}$ dalgaboylu $24910.375 \text{ cm}^{-1} \rightarrow 7231.416 \text{ cm}^{-1}$ spektral geçişi için Fitter [8] programının giriş (ein) dosyası.....	112
Şekil 3.28	: La I elementinin Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopi yöntemi ile elde edilen $24910.375 \text{ cm}^{-1} \rightarrow 7231.416 \text{ cm}^{-1}$ ($\lambda = 565.4871 \text{ nm}$) spektral geçişinin Fitter [8] programı ile fit edilmiş spektrumu her bir aşırı ince yapı bileşenleri ile gösterilmiştir.....	113
Şekil 3.29	: $\lambda = 565.4871 \text{ nm}$ dalgaboylu $24910.375 \text{ cm}^{-1} \rightarrow 7231.416 \text{ cm}^{-1}$ spektral geçişi için Fitter [8] programında elde edilen arb çıkış dosyasının bir kısmı.....	114
Şekil 4.1	: La-Ar plazmasının elementinin Fourier Transform Spektrumu. (a) $6000 \text{ cm}^{-1} - 12000 \text{ cm}^{-1}$ aralığındaki tüm spektrum, (b) $8180 \text{ cm}^{-1} - 8225 \text{ cm}^{-1}$ aralığındaki spektrumun iki farklı ölçekle alınmış örneği.....	118
Şekil 4.2	: 9351.255 cm^{-1} dalga sayılı ($\lambda = 1069.0823 \text{ nm}$) spektral çizgi için Klasifikasyon [69] programının ana menüsü ve FT spektrumundaki görünüşü	120
Şekil 4.3	: 9351.255 cm^{-1} dalga sayılı ($\lambda = 1069.0823 \text{ nm}$) spektral çizgini FT spektrumundaki aşırı ince yapı örneği ile 2100 MHz yarı genişlikte simüle edilmiş hali.....	121
Şekil 4.4	: Tamamen ayrılmış çizgi örnekleri: (a) ($\lambda = 565.4871 \text{ nm}$) $17678.962 \text{ cm}^{-1}$ dalga sayılı spektral geçişin en iyi fit edilmiş hali. $7231.416 \text{ cm}^{-1}, J = 1/2 \rightarrow 24910.375 \text{ cm}^{-1}, J = 3/2$ (b) ($\lambda = 578.0919 \text{ nm}$) $17293.491 \text{ cm}^{-1}$ dalga sayılı spektral geçişin en iyi fit edilmiş hali. $17567.517 \text{ cm}^{-1}, J = 1/2 \rightarrow 34861.01 \text{ cm}^{-1}, J = 1/2$	137
Şekil 4.5	: Kısmen ayrılmış çizgi örnekleri: (a) ($\lambda = 578.8082 \text{ nm}$) $17272.090 \text{ cm}^{-1}$ dalga sayılı spektral geçişin en iyi fit edilmiş hali. $7490.521 \text{ cm}^{-1}, J = 3/2 \rightarrow 24762.602 \text{ cm}^{-1}, J = 3/2$ (b) ($\lambda = 585.2268 \text{ nm}$)	

17082.657 cm^{-1} dalga sayılı spektral geçişin en iyi fit edilmiş hali. 7679.945 cm^{-1} , $J = 5/2 \rightarrow 24762.602 cm^{-1}$, $J = 3/2$	137
Şekil 4.6 : 569.5487 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali....	141
Şekil 4.7 : Yeni 32749.715 cm^{-1} La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda =$ 569.5487 nm, $\bar{\nu} = 17552.890 cm^{-1}$ (15196.822 cm^{-1} , $J = 5/2 \rightarrow 32749.715 cm^{-1}$, $J = 3/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen kısmen ayrılmış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.....	143
Şekil 4.8 : 582.323 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.....	144
Şekil 4.9 : Yeni 37186.805 cm^{-1} La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması $\lambda =$ 582.3234 nm, $\bar{\nu} = 17167.828 cm^{-1}$ (20018.977 cm^{-1} , $3/2$, 37186.805 cm^{-1} , $J =$ $3/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen kısmen ayrılmış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.....	146
Şekil 4.10 : 582.450 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.....	147
Şekil 4.11 : Yeni 36543.480 cm^{-1} La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 582.4504 nm$, $\bar{\nu} = 17164.085 cm^{-1}$ (19379.397 cm^{-1} , $J =$ $5/2$, 36543.480 cm^{-1} , $J = 5/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen kısmen ayrılmış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.....	149
Şekil 4.12 : 434.473 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.....	150
Şekil 4.13 : Yeni 38206.750 cm^{-1} La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 434.4731 nm$, $\bar{\nu} = 23009.915 cm^{-1}$ (15196.822 cm^{-1} , $J =$ $5/2$, 38206.750 cm^{-1} , $J = 5/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen ayrılmamış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.....	152
Şekil 4.14 : 441.891 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.....	153
Şekil 4.15 : Yeni 38903.885 cm^{-1} La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 441.8915 nm$, $\bar{\nu} = 22623.235 cm^{-1}$ (16280.255 cm^{-1} , $J =$ $3/2$, 38903.885 cm^{-1} , $J = 5/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen ayrılmamış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.....	155
Şekil 4.16 : 435.372 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.....	156
Şekil 4.17 : Yeni 39242.660 cm^{-1} La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 435.3724 nm$, $\bar{\nu} = 22962.387 cm^{-1}$ (16280.255 cm^{-1} , $J =$ $3/2$, 39242.660 cm^{-1} , $J = 5/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen ayrılmamış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.....	158
Şekil 4.18 : 641.993 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.....	159
Şekil 4.19 : Yeni 39276.99 cm^{-1} La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda =$ 641.9935 nm, $\bar{\nu} = 15572.177 cm^{-1}$ (23704.816 cm^{-1} , $J = 3/2$, 39276.99 cm^{-1} , $J = 5/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile	

kaydedilen ayrışmamış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.....	161
Şekil 4.20 : Yeni 39792.88 cm^{-1} La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 654.055 \text{ nm}$ $\bar{\nu} = 15285.011 \text{ cm}^{-1}$ ($24507.871 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2 \rightarrow 39792.88 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen ayrışmamış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.....	164
Şekil 4.21 : 582.277 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.....	165
Şekil 4.22 : Yeni $40472.456 \text{ cm}^{-1}$ La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 582.277 \text{ nm}$, $\bar{\nu} = 17169.196 \text{ cm}^{-1}$ ($23303.257 \text{ cm}^{-1}$, $J = 7/2$, $40472.456 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen kısmen ayrışmış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.....	167
Şekil 4.23 : 436.450 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.....	168
Şekil 4.24 : Yeni 40852.85 cm^{-1} La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 436.450 \text{ nm}$ $\bar{\nu} = 22905.694 \text{ cm}^{-1}$ ($17947.135 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2 \rightarrow 40852.85 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen kısmen ayrışmış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.....	170
Şekil 4.25 : 436.450 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.....	171
Şekil 4.26 : Yeni $38185.340 \text{ cm}^{-1}$ La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 434.8774 \text{ nm}$, $\bar{\nu} = 22988.524 \text{ cm}^{-1}$ ($15196.822 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2$, $438185.340 \text{ cm}^{-1}$, $J = 7/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen ayrışmamış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.....	173
Şekil 4.27 : 638.338 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.....	174
Şekil 4.28 : Yeni 39707.46 cm^{-1} La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 638.338 \text{ nm}$ $\bar{\nu} = 15661.352 \text{ cm}^{-1}$ ($24046.095 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2 \rightarrow 39707.46 \text{ cm}^{-1}$, $J = 7/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen kısmen ayrışmış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.....	176
Şekil 4.29 : Yeni 40106.64 cm^{-1} La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 600.8029 \text{ nm}$ $\bar{\nu} = 16639.785 \text{ cm}^{-1}$ ($23466.834 \text{ cm}^{-1}$, $J = 9/2$, 40106.64 cm^{-1} , $J = 7/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen ayrışmamış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.....	179
Şekil 4.30 : 578.429 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.....	180
Şekil 4.31 : Yeni 41532.41 cm^{-1} La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 578.4289 \text{ nm}$ $\bar{\nu} = 17283.416 \text{ cm}^{-1}$ ($24248.994 \text{ cm}^{-1}$, $J = 9/2$, 41532.41 cm^{-1} , $J = 7/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen kısmen ayrışmış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.....	182

Şekil 4.32	: 582.287 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.....	183
Şekil 4.33	: Yeni 36298.200 cm^{-1} La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 582.2874 nm$ $\bar{\nu} = 17168.889 cm^{-1}$ ($19129.307 cm^{-1}$, $J = 9/2$, $36298.200 cm^{-1}$, $J = 9/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen ayrışmamış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.....	185
Şekil 4.34	: 674.119 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.....	186
Şekil 4.35	: Yeni 39079.070 cm^{-1} La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 674.1194 nm$ $\bar{\nu} = 14830.073 cm^{-1}$ ($24248.994 cm^{-1}$, $J = 9/2$, $39079.070 cm^{-1}$, $J = 11/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen kısmen ayrışmış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.....	188
Şekil 4.36	: 622.524 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.....	189
Şekil 4.37	: Yeni 41148.51 cm^{-1} La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 622.5242 nm$ $\bar{\nu} = 16059.189 cm^{-1}$ ($25089.316 cm^{-1}$, $J = 9/2$, $41148.51 cm^{-1}$, $J = 11/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen kısmen ayrışmış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.....	191
Şekil 4.38	: 669.924 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.	192
Şekil 4.39	: Yeni 39764.360 cm^{-1} La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 669.9238 nm$ $\bar{\nu} = 14922.950 cm^{-1}$ ($24841.410 cm^{-1}$, $J = 11/2$, $39764.360 cm^{-1}$, $J = 13/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen kısmen ayrışmış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.....	194
Şekil 4.40	: V I'in Fourier transform spektrumu : (a) $476 \pm 7 nm$ filtre kullanılarak ölçülmüş spektrumun bir kısmı, (b) $21013.683 cm^{-1}$ spektral çizgisi, ($37375.18 cm^{-1}$, $J = 1/2 \rightarrow 16361.5 cm^{-1}$, $J = 3/2$).....	200
Şekil 4.41	: İncelenen toplam 16 V I spektral geçişinin enerji seviyeleri şeması. Enerjiler cm^{-1} ve dalgaboyları nm birimindedir.....	201
Şekil 4.42	: Tamamen ayrışmış çizgi örnekleri: (a) ($\lambda = 475.74736 nm$) $21013.683 cm^{-1}$ dalga sayılı spektral geçişin en iyi fit edilmiş hali. $16361.489 cm^{-1}$, $J = 3/2 \rightarrow 37375.172 cm^{-1}$, $J = 1/2$ (b) ($\lambda = 369.53392 nm$) $27053.416 cm^{-1}$ dalga sayılı spektral geçişin en iyi fit edilmiş hali. $17136.538 cm^{-1}$, $J = 5/2 \rightarrow 44189.954 cm^{-1}$, $J = 3/2$	203

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	: ^{138}La I elementinin çift pariteli enerji seviyelerine ait konfigürasyon, terim, J değerleri ve önceki çalışmalarda (Ref. no.) verilen A manyetik dipol ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitleri.....	8
Tablo 2.2	: ^{138}La I elementinin tek pariteli enerji seviyelerine ait konfigürasyon, terim, J değerleri ve önceki çalışmalarda (Ref. no.) verilen A manyetik dipol ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitleri.....	12
Tablo 2.3	: ^{51}V I elementinin çift pariteli enerji seviyelerine ait konfigürasyon, terim, J değerleri ve önceki çalışmalarda (Ref. no.) verilen A manyetik dipol ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitleri.....	17
Tablo 2.4	: ^{51}V I elementinin tek pariteli enerji seviyelerine ait konfigürasyon, terim, J değerleri ve önceki çalışmalarda (Ref. no.) verilen A manyetik dipol ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitleri.....	23
Tablo 3.1	: ^{139}La elementinin temel fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	65
Tablo 3.2	: ^{51}V elementinin temel fiziksel ve kimyasal özellikleri.	67
Tablo 4.1	: La-Ar plazmasının yakın kırmızı altı spektral bölgesine ait FT spektrumunda gözlenen tüm spektral geçişlerin bir kesiti. $\lambda(\text{hava})$: Spektral geçişin ağırlık merkezi dalgaboyu, λ_{ref} : Spektral çizginin literatürden bilinen vakum dalga sayıları, $\Delta\lambda$: Spektral geçişin FT’ de gözlenen ve referanstaki dalgaboyları arasındaki fark nm cinsinden verilmiştir. $\sigma(\text{hava})$: Spektral çizginin vakum dalga sayısı, $\Delta\sigma$: Dalga sayıları arasındaki fark cm^{-1} cinsinden verilmiştir. SNR: Spektral geçişin FT’ de gözlenen şiddet/gürültü oranıdır. nl: Yeni spektral çizgidir. nc: yeni sınıflandırmadır. Enerji seviyeleri cm^{-1} cinsinden verilmiştir.....	128
Tablo 4.2	: Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopisi ve Optogalvanik Spektroskopisi yöntemleriyle incelenen yeni La I spektral geçişleri. SNR: FT spektrumunda gözlenen çizgilerin Sinyal/gürültü oranı. Dalgaboyu λ_{Hava} “nm”, dalga sayısı $\bar{\nu}$ ve enerjiler “ cm^{-1} ” cinsinden verilmiştir.....	129
Tablo 4.3	: FT spektrumunda, Tablo 1,2,3’te a, b, c üst indisleriyle belirtilmiş olan spektral çizgiler (λ_{hava}), daha şiddetli çizgilerle ($\lambda_{\text{hava,n}}$) çok yakın olarak gözlenmiştir. Yakın çizgilerin geçiş bilgileri yorumlarıyla birlikte verilmiştir. Yakın çizgilerin bazılarının sınıflandırılması bilinmemektedir. SNR: FT spektrumunda gözlenen çizginin sinyal/gürültü oranıdır. $\Delta\lambda$, spectral çizgiler arasındaki dalgaboyu farkıdır ($\Delta\lambda = \lambda_{\text{hava}} - \lambda_{\text{hava,n}}$). Blend durumlarının çeşitleri, a ve b olarak verilmiştir. Dalgaboyları λ_{hava} , $\lambda_{\text{hava,n}}$ ve $\Delta\lambda$ “nm”, enerjiler $E_{üst}$ ve E_{alt} “ cm^{-1} ” cinsinden verilmiştir.....	133
Tablo 4.4	: FT spektrumunda gözlenen ve bu çalışmada bulunan yeni ince yapı enerji seviyelerini içeren ve “klasifikasyon programı” ile doğrulanan yeni spektral	

geçişler. Dalgaboyu λ_{hava} “nm”, dalga sayısı $\bar{\nu}$ ve enerjiler “ cm^{-1} ” cinsinden verilmiştir.....	135
Tablo 4.5 : La I ince yapı enerji seviyelerinin belirlenen manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A değerleri hataları ile birlikte ve literatürdeki değerlerle (referans bilgileri ile) karşılaştırmalı olarak verilmiştir. λ_{hava} uyarma dalgaboyudur. Enerjiler cm^{-1} , A değerleri MHz, λ dalgaboyları nm cinsinden verilmiştir.....	139
Tablo 4.6 : Bu çalışmada bulunan çift pariteli La I ince yapı enerji seviyeleri parantez içinde hatalarıyla birlikte verilmiştir. $\lambda_{\text{hava,Laser}}$: Bulunan enerji seviyelerini içeren Tablo 4.3’teki spektral çizgilerin dalgaboylarıdır. $\lambda_{\text{hava,FT}}$: Bulunan enerji seviyelerini içeren Tablo 4.5’teki spektral çizgilerin dalgaboylarıdır. Enerjiler cm^{-1} cinsinden, dalgaboyları ($\lambda_{\text{hava,Laser}}$, $\lambda_{\text{hava,FT}}$) nm cinsinden, A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri MHz cinsinden verilmiştir.....	196
Tablo 4.7 :V I elementine ait 474 – 481 nm dalgaboyu aralığındaki spektral bölgede 476 nm filtre kullanılarak incelenen spektral çizgiler. Dalgaboyları nm, dalga sayıları ve enerjiler cm^{-1} cinsinden verilmiştir.....	202
Tablo 4.8 : V I elementine ait 366 nm – 370 nm dalgaboyu aralığındaki spektral bölgede 370 nm filtre kullanılarak incelenen spektral çizgiler. Dalgaboyları nm, dalga sayıları ve enerjiler cm^{-1} cinsinden verilmiştir.....	203
Tablo 4.9 : Fit işlemi sırasında sabit tutulan $3d^34s5s$ 6F çift pariteli enerji seviyelerinin referans [49]’de Fourier Transform Spektroskopi yöntemiyle elde edilen A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri.....	204
Tablo 4.10 : V I’in $3d^34s4p$ 6G multipletinin enerji seviyeleri için hesaplanan A_{den} . Manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri. Enerjiler cm^{-1} , dalgaboyları nm, A_{den} ve A_{ort} . manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri MHz cinsinden verilmiştir.....	205
Tablo 4.11 : V I’in $3d^34s4d$ konfigürasyonuna ait enerji seviyeleri için hesaplanan A_{den} . Manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri. Enerjiler cm^{-1} , dalgaboyları nm, A_{den} . manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri MHz cinsinden verilmiştir.....	205

SEMBOL LİSTESİ

J	: Elektronun toplam açısal momentum kuantum sayısı
I	: Çekirdeğin spin açısal momentum kuantum sayısı
F	: Atomun toplam açısal momentum kuantum sayısı
μ_J	: Elektronun toplam açısal manyetik momenti
μ_B	: Bohr manyetonu
μ_N	: Çekirdek manyetonu
μ_I	: Çekirdeğin spin açısal manyetik dipol momenti
Q	: Çekirdeğin spin açısal elektrik kuadropol momenti
ζ	: Spin-yörünge etkilşme parametresi
α	: Elektron-çekirdek dipol-dipol etkileşme aşırı ince yapı parametresi
g	: Landé-g çarpanı
λ	: Dalgaboyu
σ	: Dalga sayısı
A	: Manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti
B	: Elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti

ÖZET

LANTAN I VE VANADYUM I ELEMENTLERİNİN AŞIRI İNCE YAPILARININ İNCELENMESİ

Bu çalışmada, nötr Lantan (La I) ve nötr Vanadyum (V I) elementlerinin aşırı ince yapılarının (HFS) deneysel olarak incelenmesi amaçlandı.

Nötr Lantan elementinin aşırı ince yapısı, yüksek çözünürlüklü Fourier Transform (FT) Spektroskopisi ve Laser Uyarılmış Floresans (LIF) Spektroskopisi yöntemleri kullanılarak incelendi.

Lantan elementine ait çalışmada öncelikle Fourier Transform Spektroskopisi kullanılarak, yüksek çözünürlüklü Lantan-Argon plazma spektrumu elde edildi. $833\text{ nm} - 1665\text{ nm}$ aralığında yakın kırmızı altı spektral bölgede Lantan spektrumu, ilk kez bu çalışmada sistematik olarak incelendi. İnceleme sonucunda, Lantan elementine ait 440'ı yeni olmak üzere toplam 545 spektral geçiş ve Argon elementine ait 239'u yeni olmak üzere toplam 827 spektral geçiş tanımlandı. Fourier spektrumunda gözlemlenen Lantan ve Argon elementlerine ait hem literatürden bilinen hem de önceden tanımlanmamış tüm manyetik dipol geçişleri için geçiş kuralları göz önüne alınarak, beklenen aşırı ince yapı örnekleri doğrultusunda sınıflandırıldı. İncelenen geçişlerdeki tüm bilinen seviyeler için, ince yapı enerji seviyeleri daha kesin olarak düzeltildi.

Lantan elementine ait çalışmanın ikinci kısmında Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopisi kullanılarak, önceden gözlemlenmemiş 96 La I spektral çizgi kesin olarak tanımlandı ve doğrulandı. Bu çalışma sonucunda, 18 yeni La I ince yapı enerji seviyeleri bulundu ve bu seviyelere ait A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri belirlendi. Bulunan yeni enerji seviyeleri kullanılarak, Fourier spektrumunda gözlenen, önceden tanımlanamamış toplam 51 spektral çizgiye ait ince yapı geçişleri, hem ağırlık

merkezi dalgalaboylarına hem de aşırı ince yapı örneklerine bakılarak ilk kez bu çalışmada sınıflandırıldı.

Nötr Vanadyum elementinin aşırı ince yapısının deneysel analizi, yüksek çözünürlüklü Fourier Transform Spektroskopisi ile incelendi. Bu kısımda, tek pariteli $3d^34s4p$ konfigürasyonuna ait 6G terimine sahip en düşük multipletin manyetik dipol aşırı ince yapı sabitlerinin belirlenmesi amaçlandı. Bu çalışmada alt enerji seviyesi $3d^34s4p$ 6G multipletini ve üst enerji seviyesi $3d^34s5s$ 6F , $3d^34s4d$ 6H and $3d^34s4d$ 6G multipletlerini içeren 16 spektral geçiş gözlemlendi ve analiz edildi. $3d^34s4p$ konfigürasyonuna ait 6G terimine sahip ait ince yapı enerji seviyelerinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri ilk kez belirlendi.

SUMMARY

HYPERFINE STRUCTURE INVESTIGATION OF LANTHANUM I AND VANADIUM I ELEMENTS

In this dissertation, it is mainly aimed to experimentally investigate the hyperfine structure (HFS) of neutral Lanthanum (La I) and neutral Vanadium (V I).

Hyperfine structure of neutral Lanthanum were examined by using high resolution Fourier Transform (FT) Spectroscopy and Laser Induced Fluorescence (LIF) Spectroscopy methods.

In the study of Lanthanum element, firstly high resolution Lanthanum-Argon plasma spectrum was recorded by using Fourier Transform Spectroscopy. The Lanthanum spectrum in the near infrared spectral range of 833 nm -1665 nm was systematically investigated for the first time in this study. As a result of the investigation, it's classified that 545 spectral lines of which 440 are new of Lanthanum element and 827 spectral lines of which 239 are new of Argon element. The all observed spectral lines, both known from literature and previously unclassified, of Lanthanum and Argon elements in the Fourier spectrum were classified via their expected hyperfine patterns taking into account the selection rules for electric dipole transitions. For all of the already known levels in investigated transitions, the fine structure energy levels were improved more accurately.

In the second part of the study of Lanthanum element, previously unobserved 96 La I spectral lines were accurately identified and confirmed by using Laser Induced Fluorescence Spectroscopy. As a result of the study, 18 new fine structure energy levels of La I were discovered and the magnetic dipole hyperfine structure constants A of the discovered energy levels were determined. Hyperfine structure transitions of several previously unidentified 51 spectral lines observed in Fourier spectrum were classified

by looking both centre of gravity wavelengths and their hyperfine structure patterns by using the new discovered energy levels in this study.

The experimental analysis of hyperfine structure of neutral Vanadium element were investigated with high resolution Fourier Transform Spectroscopy. In this part, it is mainly aimed to determine the magnetic dipole hyperfine constants A of the lowest multiplet of odd parity, the 6G of the configuration $3d^34s4p$. In this study, 16 spectral transitions connecting lower energy levels of $3d^34s4p$ 6G multiplet with upper energy levels of the multiplets $3d^34s5s$ 6F , $3d^34s4d$ 6H and $3d^34s4d$ 6G was observed and analysed. The A magnetic dipole hyperfine structure constants of fine structure energy levels with 6G term of the configuration $3d^34s4p$ were obtained for the first time.

1. GİRİŞ

Atom fiziği, atomların yapısını, elektronların ve çekirdeğin birbirleriyle ve elektrik ve manyetik alanlarla olan etkileşmelerini inceler.

1860'larda optik spektrumların araştırılması sonucu 1860 yılında Kirchoff ve Bunsen'in optik spektrumların ışığı soğuran veya salan elementlerin bir karakteristiği olduğunu göstermesiyle, atomların yapısı ile ilgili bilgiler elde edilmeye başlanmıştır. 1885'te Balmer, günümüzde Balmer serileri olarak bilinen Hidrojen atomlarının spektral çizgilerini tanımlamıştır [1].

Bu çalışmada incelenen aşırı ince yapı etkileri, atomların manyetik özelliklerini açıklamaya yardımcı olan önemli bir konudur.

Aşırı ince yapı, homojen olmayan yük dağılımına sahip çekirdeğin dönmesinden dolayı meydana gelen, çekirdeğin toplam manyetik dipol momenti ile elektronların çekirdekte oluşturdukları manyetik alanın ve çekirdeğin toplam elektrik kuadropol momenti ile elektronların çekirdek üzerinde meydana getirdikleri elektrik alanın etkileşmesinden dolayı enerji seviyelerinde meydana gelen ekstra ayrışmalardır [2]. Atomlardaki ince yapı yarımları 300 GHz ($\sim 10 \text{ cm}^{-1}$, 10^{-3} eV) mertebesinde olup, aşırı ince yapı yarımları yaklaşık 300 MHz ($\sim 10^{-2} \text{ cm}^{-1}$, 10^{-6} eV) mertebesinde [3].

Aşırı ince yapı incelemelerinde serbest atomların elektronik yapısı, atomun nükleer özellikleri, atom çekirdeği ile elektron bulutu arasında meydana gelen etkileşmeler ve konfigürasyonlar arası etkileşmeler hakkında bilgi elde edilir. Yapılan deneysel çalışmalarla, atom çekirdeğinin manyetik dipol ve elektrik kuadropol momenti elde edilir.

Atomik geçişlerin aşırı ince yapı araştırmalarından elde edilen manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A ve elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B değerleri elektronların dalga fonksiyonlarının özelliklerini anlamamıza yardımcı olur. Bu alışmalar atom fiziğinde olduğu kadar Astrofizik için de son derece önem taşımaktadır. Yıldız atmosferlerinin bileşiklerinin tam olarak belirlenebilmesi için, elementlerin atomlarının parmak izi sayılabilecek aşırı ince yapılarının bilinmesine ihtiyaç vardır [4,5].

Atom ve moleküller maddenin yapısını oluşturdukları için, fizikte atom fiziğinin önemi öne çıkmaktadır. O halde öncelikle atom ve moleküllerin yapısının incelenmesi, bu yapıların oluşum mekanizmalarının anlaşılması gerekir. Atom ve moleköl yapıları onların saldığı veya soğurduğu ışınmaları inceleyerek anlaşılabilir. Bu aşamada, atom ve moleküllerin incelendiği spektroskopik yöntemlerle önem kazanır.

Herhangi bir spektroskopik yöntem (optik, NMR, vb) ile atomun saldığı veya soğurduğu ışınım enerjileri gözlenip incelenerek atomun yapısı hakkında bilgi elde edilir. Işık-madde (atom) etkileşmesi sonucu ortaya çıkan soğurma ve emisyon spektrumları yardımı ile atom ve moleköl yapıları anlaşılmaya çalışılır. Bu spektrumlarda, spektral çizgilerin şiddetleri incelenerek seviyeler arasındaki geçiş olasılıkları hakkında bilgi elde edilir. Bu değerler bize, enerji seviyelerinin dalga fonksiyonları, dolayısıyla sistemin enerjisi hakkında bilgi verir [6].

Atomların enerji seviyelerinin dalga fonksiyonlarını ve enerjilerini bulabilmek için ilk teorik yöntem, Hartree-Fock yaklaşıklık metodudur [7].

Bu alışmada Fourier Transform (FT) Spektroskopisi ve Laser ile Uyarılmış Floresans (LIF) Spektroskopisi yöntemleri ile Lantan (La I) ve Vanadyum (V I) elementlerinin aşırı ince yapısı deneysel olarak incelendi.

Aşırı ince yapı incelemelerinde enerjideki ayrışmaları hesaplayabilmek için, A manyetik dipol ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitlerine ihtiyaç vardır [1].

Bu alışmada Lantan Vanadyum elementinin elementinin ince yapı eneri seviyeleri A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri deneysel olarak belirlendi.

Lantan ve Vanadyum elementlerine ait elde edilen spektrumlar Fitter [8] programı yardımıyla analiz edilerek, bu geçişlerin alt enerji seviyeleri ve/veya üst enerji seviyelerine ait A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri bulundu.

Fourier Transform Spektroskopisi yöntemiyle elde edilen Lantan spektrumunda $833 \text{ nm} - 1665 \text{ nm}$ aralığındaki yakın kırmızı altı spektral bölge analiz edilerek, 523 Lantan spektral geçişi tanımlandı. Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopisi yöntemiyle, önceden tanımlanmamış 100 spektral geçiş incelenerek 18 yeni ince yapı enerji seviyesi keşfedilmiştir. Tanımlanan geçişlerdeki tüm alt ve üst enerji seviyelerinin değerleri daha önce literatürde verilen değerlerinden daha kesin olarak belirlendi.

Vanadyum elementinin Fourier Transform Spektroskopisi yöntemiyle elde edilen spektrumunda, 16 spektral geçiş incelenerek, toplam 13 ince yapı enerji seviyesinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri bulundu.

Lantan ve Vanadyum elementlerinin aşırı ince yapısı ile ilgili şu ana kadar yapılan tüm çalışmalar incelenerek kullanılan yöntemler ve literatürde elde edilen bulgular genel kısımlarda anlatıldı.

Bu çalışmanın konusu, çalışmada kullanılan deneysel yöntemler, Lantan ve Vanadyum elementine ait genel özellikler malzeme ve yöntem kısmında verildi.

Her iki elemente ait elde edilen bulgular, literatürdeki değerlerle karşılaştırılarak tartışma ve sonuç kısmında verildi.

2. GENEL KISIMLAR

Lantan elementine ait aşırı ince yapı incelemeleri son yıllarda çok sayıda araştırmacı tarafından hem deneysel hem de teorik olarak ele alınmıştır. Bunun yanında Vanadyum elementinin aşırı ince yapısına ait daha az çalışma mevcuttur.

Lantan elementi sadece bir kararlı izotopa sahiptir. ^{139}La kararlı izotopunun çekirdek spini $I = 7/2$ olup atomik spektrumu büyük çekirdek manyetik dipol momentle $\mu_I = 2.7830455(9)\mu_N$ [9] ve elektrik kuadropol momentini $Q = -0.20(1)b$ [9] ile tanımlanır. Aşırı ince yapı yarılımlarında, kuadropol etkileşme sabiti B 'lerin küçük olması zayıf bir ayrışmaya sebep olur [6].

Bu çalışmada alt ve üst enerji seviyelerinin manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti bilinmeyen spektral geçişleri analiz ederek, bu geçişlerin alt ve üst seviyelerine ait manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A değerlerini bulmak amaçlanmıştır ayrıca daha önce literatürde tanımlanmamış spektral çizgilerin aşırı ince yapılarını analiz ederek Lantan'ın yeni ince yapı enerji seviyelerini deneysel olarak bulmak bu çalışmanın bir diğer amacıdır.

Lantan elementinin aşırı ince yapısı ilk olarak Meggers [10] tarafından incelenmiştir. $La I$ elementinin şimdiye kadar bilinen spektral çizgiler, Meggers [11], NIST [12] ve M.I.T [13], SPR [14] tablolarında yer almaktadır. Lantan elementinin NIST [12] atomik data tablosunda bilinen deneysel enerji seviyeleri 0.00 cm^{-1} ile 44978.90 cm^{-1} değerleri aralığındadır. Bu enerji aralığında Lantan elementinin farklı elektron dizilimleri ile oluşan 16 farklı konfigürasyonu vardır. Lantan deneysel olarak bilinen toplam 343 ince yapı enerji seviyesine sahiptir. Bunlardan 76'sı çift pariteli enerji seviyeleridir. Bu enerji seviyelerinden 8'inin toplam açısal momentum J değerleri ve spektral terimleri bilinmesine rağmen henüz enerji değerleri belirlenmemiştir ve 127'sinin de J değerleri ve enerji değerleri bilinmesine rağmen, konfigürasyonları saptanamamıştır. $La I$

elementine ait incelenmemiş birçok spektral geçiş ve aşırı ince yapı seviyesi mevcuttur. Birçok seviyenin A ve B aşırı ince yapı sabitleri bilinmemektedir.

Lantan elementinin deneysel olarak incelenmesinde farklı çalışma grupları birçok spektroskopik yöntem kullanmıştır. Bu yöntemler: Atomik- Işın Manyetik Rezonansı (ABMR), Laser ve Radyo Frekans Çift Rezonans Spektroskopisi (LRFS), Fourier Spektroskopisi, Girişim Spektroskopisi (SS), Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopisi (LIF), Laser Optogalvanik Spektroskopisi (OGS), Doymuş Soğurma Spektroskopisi (SAS).

İlk olarak 1957'de, Ting [15] Lantan elementine ait taban enerji düzeyinin A manyetik dipol ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitini belirlemiştir. 1971'de Wilson [16] Lantan elementine ait çift pariteye sahip $5d^26s$, $5d6s^2$ ve $5d^3$ konfigürasyonlarının Hartree-Fock hesaplamalarını yaparak, radyal dalga fonksiyonlarının L-S terimine bağlılığını incelemiştir. Aynı yıl, Childs ve Goodman [17] Atomik Işın Demeti Manyetik Rezonansı tekniğini kullanarak, ^{139}La için dalgasayısı 9000 cm^{-1} 'in altında olan ve daha önce aşırı ince yapı hesapları yapılmamış çift pariteli 11 enerji seviyesinin A manyetik dipol, B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitlerini bulmuştur. Aynı yıl, Fischer ve diğerleri [18] klasik Optiksel Girişim Spektroskopisi yöntemini kullanarak tek pariteli 15 enerji seviyesinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitlerini ölçmüşlerdir. 1974'te Ahmed ve diğerleri [19] Fourier Transform Spektroskopisi yöntemini kullanarak dalga sayısı $3500\text{ cm}^{-1} - 14500\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki yakın IR bölgede La I elementinin çift pariteli 16 enerji seviyesinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitlerini bulmuştur. 1977'de Childs ve Goodman [20] Laser-Atomik Işın demeti Spektroskopisi yöntemi ile boya laser kullanılarak 593.06 nm bölgesinde yakın iki çizgiyi ayrıştırıp tek pariteli 2 enerji seviyesinin A manyetik dipol ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitlerini elde etmişlerdir. 1978'de Childs ve Goodman [21] Laser-Atomik Işın demeti Floresansı yöntemini kullanarak La elementinin tek pariteli 11 enerji seviyesinin A manyetik dipol ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitlerini belirlemişlerdir. Childs ve Goodman [22] 1979'da Laser-Radro Frekansı Çift Rezonans yöntemini kullanarak La I elementinin iki farklı izotopu ^{138}La ve ^{139}La için çekirdek elektrik kuadropol momenti oranlarını hesaplamışlardır. 1983'te Behrens ve Guthöhrlein [23] tek pariteli 2 enerji seviyesinin A manyetik dipol aşırı ince yapı

sabitlerini bulmuşlardır. 1988’de Childs ve Nielsen [24] Atomik Işın Laser-Radyo Frekans Çift Rezonans tekniğini kullanarak $La I$ ’in çift pariteli 15 ve tek pariteli 12 enerji seviyesinin aşırı ince yapısını incelemiştirler. Govindarajan ve Pramila 1989 yılında [25] Optogalvanik Spektroskopisi yöntemini kullanarak Lantan’ın 21 enerji seviyesinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitlerini belirlemiştir. 1990’da Shaw ve diğerleri [26] İyonizasyon Kütle Spektroskopisi ve Diyot Laser Rezonansı yöntemlerini kullanarak 2 spektral geçişin aşırı ince yapı yarılımlarını incelemiş ve tek pariteli 1 enerji seviyesinin A manyetik dipol ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitini bulmuşlardır. Aynı yıl, Pramila [27] Optogalvanik Spektroskopisi yöntemini kullanarak 10 spektral geçişin aşırı ince yapı yarılımlarını incelemiş ve 18 seviyenin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitlerini bulmuştur. Aynı yıl, Caiyan ve diğerleri [28] silindir katot boşalım tüpü kullanarak Doppler-İndirgenmiş Floresans, Laserle Uyarılmış Floresans ve Optogalvanik Spektroskopi metodları ile tek pariteli 2 enerji seviyesinin A manyetik dipol ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti değerlerini ve tek pariteli 4 enerji seviyesinin de sadece A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti değerlerini belirlemiştir. Jia [29] 1992 yılında, Laser Optogalvanik Spektroskopi yöntemini kullanarak $La I$ ’in tek pariteli konfigürasyonların 8 tanesini incelemiş ve bu konfigürasyonlara ait aşırı ince yapı sabitlerini elde etmişlerdir. 1994’te Benton ve diğerleri [30] Yüksek Çözünürlüklü Laser Spektroskopisi yöntemini kullanarak $La I$ elementinin $^{138,139}\text{La}$ izotoplarına ait seviyelerin izotop kayması ve aşırı ince yapısını incelemiştirler. 1996’da Kajoch ve diğerleri [31] Lantan elementine ait $5d^26p$ konfigürasyonuna sahip bir enerji seviyesinin A manyetik dipol ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitini belirlemiştir. ^{139}La izotopuna ait 7 spektral geçişin aşırı ince yapı yarılımlarını incelemiştirler. 2001’de Jin ve diğerleri [32] Atomik Işın Diyot Laser Spektroskopisi yöntemini kullanarak $^{138,139}\text{La}$ iki farklı izotop için 675.304 nm dalgaboylu spektral geçişine ait A manyetik dipol ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitlerini bulmuşlardır. 2007 yılında $La I$ elementinin aşırı ince yapısı Başar G. ve diğerleri [33] tarafından Optogalvanik Spektroskopisi metodu ile, Furmann B. ve diğerleri [34] tarafından Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopisi metodu ile incelenmiştir. Başar ve diğerleri [35] 2008’de Lantan elementinin aşırı ince yapısını Doppler-İndirgenmiş Doymuş Absorbsiyon Spektroskopi metodu ile deneysel olarak incelenmiştir. 2009’da Furmann ve diğerleri [36] Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopisi ve Optogalvanik Spektroskopi yöntemlerini kullanarak, tek pariteli 1 ve

22 tane çift pariteli yeni ince yapı enerji seviyesi bulmuşlardır. Bulunan tüm enerji seviyeleri için manyetik dipol aşırı ince yapı sabitlerini A belirlemişlerdir. 2010 yılında Furmann ve diğerleri [37] Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopisi ve Optogalvanik Spektroskopi yöntemlerini kullanarak, 98 yeni manyetik dipol aşırı ince yapı sabitlerini A belirlemişlerdir. Aynı yıl, Nighat ve diğerleri [38] Laser Uyarılmış Floresans tekniğini kullanarak, yaklaşık 150 spektral geçiş incelemiştir. Dört yeni $La I$ ince yapı enerji seviyesi bulmuşlardır. Toplamda 99 $La I$ ve 22 $La II$ ince yapı enerji seviyelerinin manyetik dipol aşırı ince yapı sabitlerini A belirlemişlerdir.

Tablo 2.1 ve Tablo 2.2’de literatürde şu ana kadar aşırı ince yapı ile ilgili yapılmış çalışmalarda nötral Lantan elementinin sırasıyla çift ve tek pariteli ince yapı enerji seviyelerinin deneysel olarak bulunmuş A ve B aşırı ince yapı sabitleri verildi.

Tablo 2.1: ^{138}La I elementinin çift pariteli enerji seviyelerine ait konfigürasyon, terim, J değerleri ve önceki çalışmalarda (Ref. no.) verilen A manyetik dipol ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitleri.

Enerji (cm^{-1})	Konfigürasyon	Terim	J	A (MHz)	B (MHz)	Ref. no.
0.00	$5d6s^2$	2D	3/2	141.1959(16)	44.781(14)	[15]
1053.16	$5d6s^2$	2D	5/2	182.1706(6)	54.213(14)	[15]
2668.19	$5d^26s$	4F	3/2	-480.312(2)	15.082(17)	[17]
3010.00	$5d^26s$	4F	5/2	300.563(1)	10.873(25)	[17]
3494.53	$5d^26s$	4F	7/2	462.868(1)	17.925(24)	[17]
4121.57	$5d^26s$	4F	9/2	489.534(1)	32.180(34)	[17]
7011.91	$5d^26s$	2F	5/2	304.372	28.091	[17]
7231.41	$5d^26s$	4P	1/2	2460.16	0	[24]
7490.52	$5d^26s$	4P	3/2	929.62	34.72	[24]
7679.94	$5d^26s$	4P	5/2	802.172	-34.186	[24]
8052.16	$5d^26s$	2F	7/2	-197.066(6)	40.677(123)	[17]
8446.04	$5d^26s$	2D	3/2	-422.4	-6.01	[24]
9044.21	$5d^26s$	2P	1/2	226.89	0	[24]
9183.80	$5d^26s$	2D	5/2	876.32	-5.4	[24]
9719.44	$5d^26s$	2P	3/2	-655.14	-33.54	[24]
9919.82	$5d^26s$	2G	9/2	560.3(2)	200(6)	[35]
9960.90	$5d^26s$	2G	7/2	-292.4	66.2	[24]
12430.61	$5d^3$	4F	3/2	445.09	-16.07	[24]
12787.40	$5d^3$	4F	5/2	97.51	-16.52	[24]
13238.32	$5d^3$	4F	7/2	-19.1	-20.9	[24]
13747.28	$5d^3$	4F	9/2	-63.83	-27.39	[24]
16617.30	$5d^3$	4P	1/2	-696.6(7.1)	-	[24]
16735.14	$5d^3$	4P	3/2	-259.4(5.0)	-	[24]
16991.42	$5d^26s$	2S	1/2	4115(5)	0	[38]
17023.36	$5d^3$	2G	7/2	162.3(2.5)	-	[34]
17140.90	$5d^3$	2G	9/2	108.1(5.3)	-	[24]
18037.64	$5d^3$	2D	3/2	226.5(6.0)	-	[24]
18310.92	$5d^3$	2H	11/2	58.4(2.7)	-	[24]
18315.88	$5d^3$	2H	9/2	111.6(2.6)	-	[24]
18776.62	$5d^3$	2D	5/2	9.9(2.0)	-	[24]
20392.60	$5d^3$	2P	1/2	258.9(1.0)	-	[24]
21037.30	$5d^3$	2P	3/2	-88.8(3.0)	-	[24]
21943.80	$5d^3$	2F	7/2	58(3.7)	-	[24]
21969.32	$5d^3$	2F	5/2	165.5(3.0)	-	[24]
28742.34	$4f6s6p$	4F	3/2	-409.5(3.0)	-	[37]

Tablo 2.1'in devamı

Enerji (cm ⁻¹)	Konfigürasyon	Terim	<i>J</i>	<i>A</i> (MHz)	<i>B</i> (MHz)	Ref. no.
28754.96	4f6s6p	⁴ F	5/2	406(7)	-74(13)	[38]
29045.86	4f6s6p	-	7/2	810.0(3.0)	-	[37]
29578.82	4f6s6p	⁴ G	5/2	-43.5(3.0)	-	[37]
29874.97	5d ² 7s	-	3/2	662.1(3.0)	-	[37]
29905.33	5d ² 7s	-	5/2	812.7(1.1)	-	[37]
30019.24	5d6s7s	⁴ D	1/2	-1492.9(1.0)	-	[37]
30055.05	4f6s6p	⁴ F	7/2	374.9(2.0)	-	[37]
30169.82	5d6s7s	⁴ D	3/2	404(5)	-	[37]
30305.61	4f6s6p	² F	5/2	-187.3(3.0)	-	[37]
30354.28	5d6s7s	⁴ D	5/2	499.5(2.0)	-	[37]
30401.70	4f6s6p	⁴ G	7/2	365.3(5)	80(15)	[38]
30908.86	4f6s6p	⁴ D	5/2	932(7)	-	[37]
30988.36	4f6s6p	⁴ D	3/2	811(5)	-	[37]
31059.69	5d ² 7s	⁴ F	7/2	210.3(3.0)	-	[37]
31119.02	5d ² 7s	⁴ F	5/2	137(5)	-	[37]
31247.78	5d6s7s	-	3/2	-425.3(1.5)	-	[37]
31287.59	5d6s7s	⁴ D	7/2	799(5)	-	[37]
31351.60	5d6s7s	-	5/2	308.5(4.0)	-	[37]
31688.66	5d6s7s	² D	3/2	-206.2(4.0)	-	[37]
31923.96	5d ² 7s	⁴ F	9/2	81.0(4.0)	-	[37]
31925.00	4f6s6p	⁴ D	7/2	513.2(3.1)	-	[37]
32108.48	5d ² 7s	² F	7/2	-69.5(3.0)	-	[37]
32219.53	4f6s6p	² G	7/2	160.1(3.5)	-	[37]
32348.34	4f6s6p	-	5/2	210.4(2.6)	-	[37]
32872.94	5d6s7s	² D	5/2	562(5)	-	[36]
33143.55	-	-	1/2	569.5(4.0)	0	[38]
33286.50	5d ² 6d	⁴ H	7/2	278.5(3.8)	-	[37]
33350.00	5d ² 6d	⁴ G	5/2	248.7(3.3)	-	[37]
33419.48	-	-	1/2	-376.2(2.5)	-	[37]
33657.05	-	-	3/2	-147(5)	14(5)	[38]
33678.21	-	-	5/2	3.4(5)	-	[37]
33753.41	5d ² 6d	⁴ H	9/2	160.9(3.3)	-	[37]
33756.45	5d ² 6d	⁴ G	7/2	164.9(1.0)	-	[37]
34032.72	-	-	7/2	295.4(1.4)	-	[37]
34124.64	-	-	5/2	34(5)	-	[37]
34249.24	-	-	1/2	46(5)	-	[37]
34272.48	-	-	7/2	256.0(4.7)	-	[37]

Tablo 2.1'in devamı

Enerji (cm ⁻¹)	Konfigürasyon	Terim	<i>J</i>	<i>A</i> (MHz)	<i>B</i> (MHz)	Ref. no.
34369.05	-	-	3/2	731(2)	10(20)	[38]
34400.06	-	-	5/2	246.0(3.0)	-	[37]
34482.28	-	-	7/2	484.6(3.0)	-	[37]
34488.22	-	-	1/2	1368.8(4.0)	-	[37]
34526.69	5d ² 6d	⁴ G	9/2	48(1)	133(40)	[38]
34529.88	-	-	5/2	59.7(3.3)	-	[37]
34545.80	-	-	3/2	27(2)	32(8)	[38]
				174(9)	-	[37]
34590.09	-	-	1/2	-540.1(2.4)	-	[37]
34634.98	-	-	9/2	239(5)	-	[37]
34663.99	-	-	7/2	45.5(2)	-	[37]
34752.58	-	-	1/2	596.8(2.0)	-	[37]
34758.54	-	-	3/2	-32.7(3.0)	-	[37]
34787.23	-	-	5/2	279.5(1.2)	-	[37]
34860.96	-	-	1/2	-87(5)	-	[37]
				-716(5)	0	[38]
34880.63	-	-	5/2	-24.1(1.3)	-	[37]
34906.89	-	-	3/2	207.9(4.0)	-	[37]
34968.73	-	-	7/2	163.2(3.0)	-	[37]
35009.99	-	-	3/2	-89.6(4.5)	-	[37]
35096.10	-	-	7/2	180(2)	62(30)	[38]
35117.70	-	-	5/2	160.8(1.1)	-	[37]
35169.58	-	-	9/2	186(7)	-	[38]
35236.20	5d ² 6d	⁴ G	11/2	44.9(3.0)	-	[37]
35280.42	-	-	3/2	48.5(4.0)	-	[37]
				25(2)	-	[38]
35298.12	-	-	7/2	52.8(2.0)	-	[37]
35308.40	-	-	3/2	395(5)	-	[37]
35393.38	-	-	5/2	162(9)	-	[37]
35414.45	-	-	5/2	-144.5(1.8)	-	[37]
35445.98	-	-	9/2	68.1(3.0)	-	[37]
35494.05	-	-	3/2	300.8(3.6)	-	[37]
35552.32	-	-	9/2	171.4(8)	-	[37]
35570.48	-	-	7/2	380(5)	-	[37]
35581.78	-	-	1/2	-116(2)	0	[38]
35628.33	-	-	3/2	114.8(2.2)	-	[37]
35875.99	-	-	3/2	1189.2	-	[37]

Tablo 2.1'in devamı

Enerji (cm ⁻¹)	Konfigürasyon	Terim	<i>J</i>	<i>A</i> (MHz)	<i>B</i> (MHz)	Ref. no.
35931.75	-	-	7/2	141(5)	-	[37]
36027.41	-	-	1/2	288.1(4.0)	-	[37]
36034.60	-	-	9/2	181.8(3.0)	-	[37]
36065.91	-	-	3/2	-53.4(2.0)	-	[37]
36109.65	-	-	5/2	384(5)	-	[37]
36159.90	-	-	11/2	371.4(2.5)	-	[37]
36172.80	-	-	3/2	71(1)	11(7)	[38]
36220.33	-	-	7/2	142(5)	-	[37]
36258.93	-	-	5/2	525(5)	-	[37]
36265.28	-	-	9/2	202.1(7)	-	[37]
36292.96	-	-	7/2	237(6)	-	[37]
36400.72	-	-	9/2	189(2)	-	[38]
36792.36	-	-	7/2	264(5)	-	[37]
36822.77	-	-	9/2	277(8)	12(31)	[38]
36840.70	-	-	1/2	1491.3(3.0)	-	[37]
36851.32	-	-	5/2	265(5)	-	[37]
36853.58	-	-	3/2	394.4(2.9)	-	[37]
37092.15	-	-	3/2	344(5)	-	[37]
37248.61	-	-	3/2	383.7(1.0)	-	[37]
37544.15	-	-	5/2	244.7(4)	-	[37]
37612.91	-	-	3/2	570(2)	27(40)	[38]
37659.48	-	-	1/2	269.3(3.8)	-	[37]
37833.78	-	-	7/2	156(5)	-	[37]
37855.75	-	-	5/2	740.6(3.0)	-	[37]
37903.24	-	-	5/2	453(5)	-	[37]
38172.80	-	-	9/2	238(2)	234(9)	[38]
38178.00	-	-	7/2	169(7)	-	[37]
				115(8)	-	[38]
38378.90	-	-	5/2	176.7(1.7)	-	[37]
38391.75	-	-	7/2	166.3(2.6)	-	[36]
38478.84	-	-	3/2	-240.2(4.0)	-	[37]
38755.72	-	-	9/2	154(5)	-	[37]
38991.90	-	-	7/2	170(2)	-102(50)	[38]
39110.34	-	-	3/2	114.0(4.0)	-	[37]
40084.07	-	-	9/2	16.1(1.5)	-	[37]

Tablo 2.2: ^{138}La I elementinin tek pariteli enerji seviyelerine ait konfigürasyon, terim, J değerleri ve önceki çalışmalarda (Ref. no.) verilen A manyetik dipol ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitleri.

Enerji (cm^{-1})	Konfigürasyon	Terim	J	A (MHz)	B (MHz)	Ref. no.
13260.38	5d6s6p	^4F	3/2	-352.1(2)	39.3(1.5)	[35]
13631.04	5d6s6p	-	5/2	959.35(50)	-14.5(4.5)	[35]
14095.69	5d6s6p	^4D	1/2	-581.4(1.3)	-	[33]
14708.92	5d6s6p	^4D	3/2	586.2(4)	41(3)	[35]
14804.08	5d6s6p	^4F	5/2	335.01(74)	23.64(95)	[32]
15019.51	5d6s6p	^4F	7/2	673.9(3)	72(3)	[35]
15031.64	5d6s6p	-	3/2	-672.6(4)	-16(3)	[35]
15196.83	4f6s 2	^2F	5/2	410.4(4)	50(2)	[35]
15219.89	5d6s6p	-	1/2	-257.8(3)	-	[35]
15503.64	5d6s6p	^4D	5/2	586.5(1)	11(2)	[35]
16099.29	5d6s6p	^4D	7/2	585.9(3.5)	-	[34]
16243.17	5d6s6p	^4F	9/2	614.2(5)	161(4)	[35]
16280.26	6s 2 6p	-	3/2	539.9(5)	58(3)	[35]
16538.39	4f6s 2	^2F	7/2	146.2(2)	53.5(35)	[35]
16856.80	5d 2 6p	-	5/2	262.5(5)	60(10)	[34]
17567.49	5d6s6p	^4P	1/2	2886.8(2.0)	-	[36]
17797.29	5d6s6p	^4P	3/2	1328.6(2.9)	-	[34]
17910.17	5d 2 6p	-	7/2	281.7(2.7)	-	[34]
17947.13	5d 2 6p	^4G	5/2	539.9(3.3)	-	[34]
18156.97	5d6s6p	^4P	5/2	633.3(1.2)	18(10)	[34]
18172.35	5d 2 6p	^2D	3/2	142.1(6)	-	[34]
18603.92	5d 2 6p	^4G	7/2	226(1)	-	[38]
19129.31	5d 2 6p	^4G	9/2	110.1(1.0)	85(30)	[34]
19379.40	5d 2 6p	^2D	5/2	-58.1(6)	-	[34]
20018.99	5d6s6p	-	3/2	-38.7(5.2)	-	[34]
20082.98	5d 2 6p	^4F	3/2	83.6(10)	-	[34]
20197.34	5d6s6p	-	1/2	132.6(2.0)	0	[34]
20338.25	5d 2 6p	^4F	5/2	258.4	127(85)	[38]
20763.21	5d 2 6p	^4F	7/2	194.5(1.6)	-	[34]
20972.17	5d 2 6p	-	5/2	-66.4(3)	35(3)	[17]
21384.00	5d 2 6p	^4F	9/2	94.9(1.0)	-20(15)	[34]
21447.86	5d 2 6p	-	7/2	121.5(2)	-35.7(13)	[28]
21662.51	5d 2 6p	^2G	7/2	283.6(1)	58(2)	[35]
22246.64	5d 2 6p	^4D	1/2	524.8(9.0)	0	[34]
22285.77	5d 2 6p	^2G	9/2	181.9(4)	56(7)	[35]

Tablo 2.2'nin devamı

Enerji (cm ⁻¹)	Konfigürasyon	Terim	<i>J</i>	<i>A</i> (MHz)	<i>B</i> (MHz)	Ref. no.
22439.36	5d ² 6p	⁴ D	3/2	149.5(3.2)	-45(35)	[34]
22804.25	5d ² 6p	⁴ D	5/2	45.4(6.5)	0(20)	[34]
23221.10	5d6s6p	-	7/2	-76.4(3)	59(4)	[35]
23260.92	5d ² 6p	² S	1/2	-408(1)	0	[37]
23303.26	5d ² 6p	⁴ D	7/2	-28.1(5)	49(20)	[34]
23466.84	4f5d6s	² G	9/2	373.1(5)	18(10)	[34]
23528.45	5d ² 6p	⁴ D	1/2	290.3(2.0)	0	[34]
23704.81	5d ² 6p	⁴ D	3/2	105.1(2.0)	-21(15)	[34]
23874.95	5d6s6p	-	5/2	241.7(2.3)	0(15)	[34]
24046.10	5d ² 6p	⁴ D	5/2	325.8(1.7)	-44(15)	[34]
24088.54	4f5d6s	⁴ H	9/2	-134.1(4.0)	72(30)	[34]
24173.83	4f5d6s	⁴ F	3/2	-228.9(2.2)	30(11)	[33]
24249.00	4f5d6s	⁴ H	9/2	405(2)	8(4)	[38]
24409.68	4f5d6s	-	7/2	188.4(1.7)	17(15)	[34]
24507.87	4f5d6s	⁴ F	5/2	188(2)	15(5)	[37]
24639.26	5d ² 6p	² S	3/2	-199.6(1.0)	14(10)	[34]
24762.60	5d ² 6p	² D	3/2	418.0(1.0)	10(6)	[34]
24841.42	4f5d6s	⁴ H	11/2	425(1)	0	[38]
24910.38	4f5d6s	-	3/2	-301.3(5)	14(5)	[34]
24984.29	5d ² 6p	-	5/2	284.5(1.7)	22(20)	[34]
25083.36	5d ² 6p	⁴ D	7/2	70.8(5)	25(15)	[33]
25089.35	4f5d6s	-	9/2	5.0(3.4)	-	[34]
25218.27	5d ² 6p	-	5/2	100.7(5)	25(4)	[24]
25380.27	4f5d6s	⁴ F	7/2	391.0(5)	-42(19)	[34]
25453.95	5d6s6p	-	1/2	-368.9(3.7)	0	[34]
25616.95	5d ² 6p	⁴ P	1/2	-297.3(1.5)	0	[34]
25643.00	5d ² 6p	⁴ P	3/2	273.3(2)	4(1)	[31]
25874.52	5d ² 6p	-	11/2	46.6(2.0)	-	[34]
25950.32	5d ² 6p	-	3/2	478.5(1.9)	18(16)	[34]
25997.17	4f5d6s	⁴ F	9/2	414.3(2.0)	40(20)	[34]
26338.93	5d ² 6p	⁴ P	5/2	103.2(2.2)	-29(20)	[34]
27022.62	4f5d6s	⁴ G	5/2	-147.7(1.6)	17(20)	[34]
27054.96	5d ² 6p	-	9/2	180.8(1.3)	217(100)	[33]
27132.44	5d ² 6p	² G	7/2	76(1)	54(50)	[37]
27225.26	5d ² 6p	² P	3/2	-49.7(5)	-11(17)	[37]
27393.04	5d ² 6p	-	5/2	143.8(1.0)	32(14)	[34]
27455.13	4f5d6s	⁴ G	7/2	358.0(1.6)	50(13)	[34]

Tablo 2.2'nin devamı

Enerji (cm ⁻¹)	Konfigürasyon	Terim	<i>J</i>	<i>A</i> (MHz)	<i>B</i> (MHz)	Ref. no.
27619.54	5d ² 6p	² G	9/2	186.7(2.0)	35(30)	[34]
27669.37	4f5d6s	² F	5/2	226.8(2.3)	-	[34]
27748.97	5d ² 6p	² P	1/2	274.8(3.4)	0	[34]
27968.54	4f5d6s	-	3/2	132.9(1.6)	-	[34]
28039.45	5d6s6p	-	7/2	166.2(5.6)	0(20)	[34]
28089.17	4f5d6s	⁴ G	9/2	393.0(5.2)	120(60)	[34]
28179.07	4f5d6s	² H	11/2	17.3(4)	-	[34]
28506.41	5d6s6p	-	5/2	344.3(5.0)	-71(40)	[34]
28543.08	4f5d6s	² F	7/2	-68.5(8)	-50(30)	[34]
28743.24	4f5d6s	⁴ G	11/2	441(7)	-	[36]
28893.51	4f5d6s	⁴ D	1/2	-451.3(7.5)	0	[34]
28971.84	4f5d6s	-	3/2	-116.6(9.0)	25(14)	[34]
29199.57	4f5d6s	-	3/2	736.7(5.6)	0(10)	[34]
29466.67	-	-	7/2	174.2(1.2)	9(10)	[34]
29502.18	4f5d6s	-	5/2	49.3(5)	-11(20)	[34]
29564.70	4f5d6s	-	1/2	1449.0(9.3)	0	[34]
29775.58	4f5d6s	-	5/2	467.9(3.9)	-9(10)	[34]
29894.91	4f5d6s	-	7/2	467.9(2.2)	6(10)	[34]
29936.74	4f5d6s	-	3/2	891.4(3.0)	-19(30)	[34]
29985.46	4f5d6s	⁴ P	1/2	737.5(2.0)	0	[34]
30417.46	4f5d6s	⁴ P	3/2	34.5(1.6)	-16(30)	[34]
30650.28	-	-	9/2	-64.6(1.0)	15(10)	[34]
30788.45	-	-	5/2	56.2(2.7)	0(20)	[34]
30896.84	4f5d6s	⁴ P	5/2	536.7(1.6)	45(26)	[34]
30964.71	-	-	7/2	371.9(2.7)	-30(20)	[34]
31477.22	-	-	5/2	-18.5(1.0)	0(20)	[34]
31751.48	-	-	3/2	244.1(1.1)	16(10)	[34]
32140.55	-	-	7/2	355.1(2.6)	44(20)	[34]
32290.16	4f5d6s	² P	1/2	464.0(5.0)	0	[34]
32492.76	-	-	5/2	-151.3(4.4)	0(20)	[34]
33204.05	-	-	3/2	-29.5(3.0)		[34]
33799.23	-	-	5/2	960(5)	-	[36]
33820.31	-	-	1/2	-232.7(6.0)		[34]
34015.76	5d ² 7p	⁴ F	3/2	355.0(3.0)	-	[36]
34213.53	5d ² 7p	⁴ F	5/2	258(9)	-	[36]
34239.61	4f5d6s	² H	9/2	-99.3(2.0)		[34]
34245.05	4f5d6s	² H	11/2	419.5(2.1)		[34]

Tablo 2.2'nin devamı

Enerji (cm ⁻¹)	Konfigürasyon	Terim	<i>J</i>	<i>A</i> (MHz)	<i>B</i> (MHz)	Ref. no.
34850.38	5d6s7p	⁴ F	3/2	-244.1(9.0)		[34]
34982.43	-	-	5/2	659(5)	-	[36]
34988.17	5d ² 7p	⁴ F	7/2	334(20)	-	[36]
35253.10	4f5d ²	² G	7/2	205.9(5.0)		[34]
35275.16	-	-	5/2	103(9)	-	[36]
35450.47	4f5d ²	² G	9/2	71.9(1.5)	-	[34]
35470.85	-	-	3/2	785(9)	-	[36]
35482.70	-	-	1/2	2311.0(5.0)	-	[36]
35860.64	-	-	1/2	563(9)	-	[36]
35999.06	-	-	7/2	98.1(9.0)	-	[34]
36333.08	-	-	3/2	430.5(1.5)	-	[34]
36358.96	-	-	1/2	573.9(5.0)	-	[34]
36447.35	-	-	5/2	16.5(7.0)	-	[34]
36454.46	-	-	7/2	-109.9(9.0)	-	[34]
36495.28	-	-	1/2	527.4(5.0)	-	[34]
36678.58	-	-	3/2	285(7)	-	[36]
36722.38	-	-	3/2	147(9)	-	[36]
36896.63	-	-	1/2	-438.7(9.0)	-	[34]
37245.34	-	-	5/2	-28.8(1.5)	-	[34]
37253.52	-	-	3/2	299.9(1.0)	-	[34]
37475.30	-	-	1/2	-510(9)	-	[36]
37673.94	-	-	7/2	97.2(7.0)	-	[34]
37731.59	-	-	5/2	158.5(1.0)	-	[34]
37771.53	-	-	5/2	126.5(9.0)	-	[34]
37787.04	-	-	3/2	331.8(9.0)	-	[34]
37842.77	-	-	7/2	163.5(7.0)	-	[34]
37982.68	-	-	7/2	163.8(3.0)	-	[34]
38061.57	-	-	3/2	777(5)	-	[36]

Vanadyum 5d-kabuğu geçiş metallereinden biridir ve ayrıca krom, demir, kobalt ve nikel gibi demir-grubu elementlerinden atom numarası 23 olan nötr vanadyum, 99.75% doğal bolluğa sahip ⁵¹V kararlı izotopuna ve 0.25% doğal bolluğa sahip uzun ömürlü ⁵⁰V izotopuna sahiptir. ⁵¹V 'in atomik spektrumu, büyük bir çekirdek manyetik dipol momentini $\mu_I = +5.1514 \text{ nm}$ [39] ve küçük bir elektrik dipol momentini $Q = -0.052b$ [39] değerlerine sahiptir. Bu çalışmada kullanılan deneysel yöntemlerle ⁵⁰V izotopunun katkısını spektrumlarda görmek mümkün değildir.

^{51}V izotopu ($I=7/2$) yüksek bir nükleer spin değerine sahip olduğundan, atomik spektrumunda çok sayıda aşırı ince yapı gözlenir.

^{51}V elementinin HFS analizi 1930'lardan beri incelenmektedir. Yapılan ilk çalışmada, Kopfermann ve Rasmussen [40] $3d^34s^2 aF^4$ ve $3d^3(^4F)4s4p(^3P^o) - z^4D^o, z^4F^o, z^4G^o$ enerji seviyeleri arasındaki geçişleri gözlemlemiş ve bu geçişlerdeki üst ve alt seviyeler için manyetik dipol aşırı ince yapı sabitlerini elde etmiştir. 1956 ve 1966'da aynı geçişler tekrar Murakawa [41,42] tarafından ölçülmüştür. 1967'de Childs ve Goodman [43], atomik ışın manyetik-rezonans tekniği ile, $3d^34s^2 a^4F_{3/2-9/2}$ ve $3d^4(^5D)4s a^6D_{1/2-9/2}$ seviyelerinin aşırı ince yapı sabitlerini ölçmüştür. 1979'da Laser-radyo frekansı ikili-rezonans tekniği, aynı seviyeler için, daha kesin sonuçlar bulmak için Childs ve diğerleri [44] tarafından uygulanmıştır. Gough ve diğerleri [45], Unkel ve diğerleri [46] ve El-Kashef ve Ludwig [47], VI 'in birçok sayıda seviyesi için A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri elde etmişlerdir. Son zamanlarda, VI 'in HFS ölçümleri kırmızı-altı, yakın kırmızı-altı ve görünür bölgede Fouirer transform spektroskopisi ile 1995 ve 1997 yıllarında Palmeri ve diğerleri [48,49] tarafından, 2002'de Lefebvre ve diğerleri [50] tarafından gerçekleştirilmiştir. Cochrane ve diğerleri [51] çok sayıda geçişin HFS ölçümlerini yüksek çözünürlüklü ışın laser spektroskopisi ile gözlemlemiştir. Atomik Vanadyum elementinin teorik analizini (terim analizi, parametrik analizi) Rosen [52,53], Bouche-Amoult [54,55], Olssen ve Rosen [56], Thorne ve diğerleri [57] tarafından incelendi. 2011'de Thorne ve diğerleri [57] yüksek çözünürlüklü FT Spektroskopisi yöntemi ile kırmızı altı bölgeden mor üstü spektral bölgeye kadar Vanadyum elementinin FT spektrumunu analiz ederek, 89 ince yapı enerji seviyesi bulunmuştur.

Tablo 2.3 ve Tablo 2.4'de literatürde şu ana kadar aşırı ince yapı ile ilgili yapılmış çalışmalarda nötral Vanadyum elementinin sırasıyla çift ve tek pariteli ince yapı enerji seviyelerinin deneysel olarak bulunmuş A manyetik dipol ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitleri verildi.

Tablo 2.3: ^{51}V I elementinin çift pariteli enerji seviyelerine ait konfigürasyon, terim, J değerleri ve önceki çalışmalarda (Ref. no.) verilen A manyetik dipol ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitleri.

Enerji (cm^{-1})	Konfigürasyon	Terim	J	A (MHz)	B (MHz)	Ref. no.
0.00	$3d^34s^2$	^4F	3/2	560.062	-	[49]
				629.56	-	[40]
				584.59	-	[41]
				560.0482(6)	4.264(8)	[43]
				560.068(2)	3.987(25)	[44]
137.38	$3d^34s^2$	^4F	5/2	321.238	-	[49]
				269.81	-	[40]
				308.78	-	[41]
				321.2265(12)	3.384(25)	[43]
				321.251(3)	3.955(45)	[44]
323.46	$3d^34s^2$	^4F	7/2	249.748	-	[49]
				179.87	-	[40]
				221.84	-	[41]
				249.7398(7)	5.081(20)	[43]
				249.752(2)	5.587(25)	[44]
552.96	$3d^34s^2$	^4F	9/2	227.133	-	[49]
				149.9	-	[40]
				192	-	[41]
				227.1324(6)	7.822(15)	[43]
				227.135(1)	8.243(30)	[44]
2112.28	$3d^44s$	^6D	1/2	751.4778(28)	-	[43]
				751.529(7)	0	[44]
				751.4(5)	0	[45]
				751.789	-	[49]
				751.47(25)	0	[51]
2153.21	$3d^44s$	^6D	3/2	405.6038(12)	-8.107(12)	[43]
				405.642(4)	-6.985(15)	[44]
				405.7(4)	-13(4)	[45]
				405.605	-	[49]
				405.57(15)	-8.1(11)	[51]
2220.11	$3d^44s$	^6D	5/2	373.518(10)	-5.459(25)	[43]
				373.526(2)	-5.004(30)	[44]
				373.7(4)	-10(7)	[45]
				373.595	-	[49]
				373.47(9)	-5.5(14)	[51]

Tablo 2.3'ün devamı

Enerji (cm ⁻¹)	Konfigürasyon	Terim	<i>J</i>	<i>A</i> (MHz)	<i>B</i> (MHz)	Ref. no.
2311.36	3d ⁴ 4s	⁶ D	7/2	382.367(10)	2.268(29)	[43]
				382.367(2)	2.293(30)	[44]
				382.4(3)	6(12)	[45]
				382.368	-	[49]
				382.34(8)	1.9(17)	[51]
2424.78	3d ⁴ 4s	⁶ D	9/2	406.8513(16)	14.324(65)	[43]
				406.848(4)	14.041(65)	[44]
				406.854	-	[49]
				406.83(5)	14.4(17)	[51]
8413.00	3d ⁴ 4s	⁴ D	1/2	1277.2	-	[49]
				1277.2(4)	0	[44]
8476.23	3d ⁴ 4s	⁴ D	3/2	7.558	-	[49]
				7.465(5)	-0.01(6)	[44]
8578.53	3d ⁴ 4s	⁴ D	5/2	-143.367	-	[49]
				-143.256(2)	5.145(20)	[44]
8715.76	3d ⁴ 4s	⁴ D	7/2	-160.172	-	[49]
				-160.187(2)	13.874(25)	[44]
9544.63	3d ⁴ 4s	⁴ P	1/2	-353.735	-	[49]
9637.03	3d ⁴ 4s	⁴ P	3/2	183.94	-	[49]
9824.61	3d ⁴ 4s	⁴ P	5/2	112.834	-	[49]
10892.51	3d ³ 4s ²	² G	7/2	398	-	[49]
11100.59	3d ³ 4s ²	² G	9/2	298.59(90)	-	[50]
13801.54	3d ³ 4s ²	² P	3/2	333.37(90)	-	[50]
13810.94	3d ³ 4s ²	² P	1/2	143.90(30)	-	[50]
14514.76	3d ³ 4s ²	² D	3/2	341.534	-	[49]
14548.81	3d ³ 4s ²	² D	5/2	259.482	-	[49]
14909.97	3d ⁴ 4s	⁴ H	7/2	31.48(30)	-	[48]
				32.885	-	[49]
				32.88427	-	[46]
14949.37	3d ⁴ 4s	⁴ H	9/2	260.49(90)	-	[48]
				262.453	-	[49]
				262.44756	-	[48]
15000.94	3d ⁴ 4s	⁴ H	11/2	373.54(30)	-	[48]
				374.652	-	[49]
				374.64427	-	[46]

Tablo 2.3'ün devamı

Enerji (cm ⁻¹)	Konfigürasyon	Terim	<i>J</i>	<i>A</i> (MHz)	<i>B</i> (MHz)	Ref. no.
15062.96	3d ⁴ 4s	⁴ H	13/2	444.92(30)	-	[48]
				445.129	-	[49]
				445.1198	-	[46]
15078.39	3d ⁴ 4s	⁴ P	1/2	1441.39(60)	-	[48]
				1445.25761	-	[46]
				1445.3	-	[49]
15264.82	3d ⁴ 4s	⁴ P	11/2	297.69(15)	-	[48]
15270.58	3d ⁴ 4s	⁴ P	3/2	804.04(60)	-	[48]
				806.035	-	[49]
				806.01839	-	[46]
15572.03	3d ⁴ 4s	⁴ P	5/2	682.32(60)	-	[48]
				680.958	-	[46]
				680.972	-	[49]
15664.81	3d ⁴ 4s	⁴ F	3/2	-114.88(15)	-	[48]
				-114.96	-	[49]
15688.87	3d ⁴ 4s	⁴ F	5/2	305.85(18)	-	[48]
				305.948	-	[49]
				305.94169	-	[46]
15724.23	3d ⁴ 4s	⁴ F	7/2	445.58(18)	-	[48]
				446.047	-	[49]
				446.04776	-	[46]
15770.78	3d ⁴ 4s	⁴ F	9/2	512.64(60)	-	[48]
				511.486	-	[49]
				511.47562	-	[46]
17054.96	3d ⁴ 4s	⁴ G	5/2	0.63(12)	-	[48]
				0.8	-	[49]
				0.80943	-	[46]
17116.97	3d ⁴ 4s	⁴ G	7/2	276.32(90)	-	[48]
				276.006	-	[49]
				276.0005	-	[46]
17182.08	3d ⁴ 4s	⁴ G	9/2	397.82(15)	-	[48]
				398.802	-	[49]
				398.79385	-	[46]
17242.08	3d ⁴ 4s	⁴ G	11/2	463.03(12)	-	[48]
				463.73	-	[49]
				463.72057	-	[48]

Tablo 2.3'ün devamı

Enerji (cm ⁻¹)	Konfigürasyon	Terim	<i>J</i>	<i>A</i> (MHz)	<i>B</i> (MHz)	Ref. no.
18805.06	3d ⁴ 4s	² P	1/2	690.12	-	[48]
				690.3	-	[49]
19023.52	3d ⁴ 4s	² H	9/2	398.89	-	[49]
19026.33	3d ⁴ 4s	² F	5/2	471.27(30)	-	[48]
				471.511	-	[49]
				471.50132	-	[46]
19078.11	3d ⁴ 4s	² F	7/2	93.54(60)	-	[48]
				93.965	-	[49]
				93.96318	-	[48]
19145.13	3d ⁴ 4s	² H	11/2	160.983	-	[49]
19189.33	3d ⁴ 4s	² P	3/2	-225.74(15)	-	[48]
				-224.5595	-	[48]
				-224.564	-	[49]
20202.47	3d ⁵	⁶ S	5/2	-297.99(60)	-	[48]
				-298.2	-	[49]
20767.62	3d ⁴ 4s	⁴ D	7/2	590.29(30)	-	[48]
				590.7	-	[49]
20789.10	3d ⁴ 4s	⁴ D	5/2	534.62(24)	-	[48]
				534.99	-	[49]
20813.10	3d ⁴ 4s	⁴ D	3/2	404.72(60)	-	[48]
				405	-	[49]
20830.34	3d ⁴ 4s	⁴ D	1/2	-416.11(60)	-	[48]
				-416.4	-	[49]
21101.61	3d ⁴ 4s	² G	7/2	422.4(6)	-	[48]
				442.7	-	[49]
21275.65	3d ⁴ 4s	² G	9/2	120.13(18)	-	[48]
				120.21	-	[49]
21603.07	3d ⁴ 4s	² G	9/2	597.75(90)	-	[48]
				598.17	-	[49]
21646.42	3d ⁴ 4s	² G	7/2	-7.26(15)	-	[48]
				-7.26	-	[49]
31334.09	3d ⁴ 4s	⁴ F	3/2	-102.83(15)	-	[49]
31355.711	3d ⁴ 4s	⁴ F	9/2	515.97(12)	-	[49]
31357.42	3d ⁴ 4s	⁴ F	5/2	318.98(12)	-	[49]
31371.061	3d ⁴ 4s	⁴ F	7/2	468.57(60)	-	[49]
31624.811	3d ⁴ 4s	⁴ P	5/2	361.76(12)	-	[49]
31717.50	3d ⁴ 4s	⁴ P	3/2	347.76(60)	-	[49]

Tablo 2.3'ün devamı

Enerji (cm ⁻¹)	Konfigürasyon	Terim	<i>J</i>	<i>A</i> (MHz)	<i>B</i> (MHz)	Ref. no.
31764.971	3d ⁴ 4s	⁴ P	1/2	364.55(90)	-	[49]
32352.34	3d ⁵	⁴ G	5/2	386.46(18)	-	[49]
32371.641	3d ⁵	⁴ G	7/2	191(12)	-	[49]
32393.939	3d ⁵	⁴ G	9/2	122.82(12)	-	[49]
32417.17	3d ⁵	⁴ G	11/2	98.36(30)	-	[49]
32660.40	3d ⁵	⁴ G	5/2	512.64(90)	-	[50]
33310.621	3d ⁵	⁴ P	5/2	209.1	-	[49]
33412.578	3d ⁵	⁴ P	3/2	256.8	-	[49]
36983.63	3d ⁵	⁴ F	3/2	482.96(18)	-	[48]
				483.3	-	[49]
36989.20	3d ⁵	⁴ F	5/2	188.27(12)	-	[48]
				188.4	-	[49]
37025.60	3d ⁵	⁴ F	7/2	92.64(60)	-	[48]
				92.7	-	[49]
37075.57	3d ⁵	⁴ F	9/2	53.66(60)	-	[48]
				53.7	-	[49]
37116.68	3d ⁴ 5s	⁶ D	1/2	-637.05(18)	-	[49]
37158.60	3d ⁴ 5s	⁶ D	3/2	-104.93(12)	-	[49]
37227.46	3d ⁴ 5s	⁶ D	5/2	-15.29(30)	-	[49]
37322.15	3d ⁴ 5s	⁶ D	7/2	42.36(18)	-	[49]
37375.18	3d ³ 4s5s	⁶ F	1/2	-696.71(15)	-	[49]
37423.25	3d ³ 4s5s	⁶ F	3/2	383.73(90)	-	[49]
37440.74	3d ⁴ 5s	⁶ D	9/2	83.64(30)	-	[49]
37503.28	3d ³ 4s5s	⁶ F	5/2	540.82(60)	-	[49]
37615.03	3d ³ 4s5s	⁶ F	7/2	591.19(12)	-	[49]
37758.16	3d ³ 4s5s	⁶ F	9/2	613.67(90)	-	[49]
37931.49	3d ³ 4s5s	⁶ F	11/2	629.26(60)	-	[49]
37940.21	3d ⁴ 5s	⁴ D	1/2	888.28(24)	-	[48]
38004.03	3d ⁴ 5s	⁴ D	3/2	69.55(12)	-	[48]
38106.38	3d ⁴ 5s	⁴ D	5/2	-10.49(60)	-	[48]
38242.53	3d ⁴ 5s	⁴ D	7/2	-3.6(60)	-	[48]
39127.19	3d ³ 4s5s	⁴ F	3/2	-196.96(15)	-	[48]
39241.39	3d ³ 4s5s	⁴ F	5/2	384.03(60)	-	[48]
39398.91	3d ³ 4s5s	⁴ F	7/2	569.6(60)	-	[48]
39596.99	3d ³ 4s5s	⁴ F	9/2	649.32(24)	-	[48]
42680.36	-	-	7/2	22.01(15)	-	[49]
43051.55	-	-	5/2	197.8(2.1)	-	[48]

Tablo 2.3'ün devamı

Enerji (cm ⁻¹)	Konfigürasyon	Terim	<i>J</i>	<i>A</i> (MHz)	<i>B</i> (MHz)	Ref. no.
43147.28	-	-	7/2	134.61(24)	-	[48]
43266.35	-	-	9/2	118(27)	-	[48]
43309.07	-	-	3/2	187.37(15)	-	[48]
43410.99	-	-	5/2	159.19(60)	-	[48]
43504.25	-	-	3/2	195.16(15)	-	[48]
43555.32	-	-	7/2	171.78(90)	-	[48]
43585.80	-	-	5/2	45.57(60)	-	[48]
45747.26	3d ⁴ 5d	⁶ D	1/2	-512.34(24)	-	[49]
45788.67	3d ⁴ 5d	⁶ D	3/2	-47.97(15)	-	[49]
45858.63	3d ⁴ 5d	⁶ D	5/2	34.48(18)	-	[49]
45924.36	3d ⁴ 5d	⁴ D	1/2	783.05(21)	-	[49]
45956.16	3d ⁴ 5d	⁶ D	7/2	80.64(60)	-	[49]
45990.27	3d ⁴ 5d	⁴ D	3/2	82.74(90)	-	[49]
46078.79	3d ⁴ 5d	⁶ D	9/2	110.92(60)	-	[49]
46094.00	3d ⁴ 5d	⁴ D	5/2	26.08(12)	-	[49]
46230.15	3d ⁴ 5d	⁴ D	7/2	41.07(60)	-	[49]

Tablo 2.4: ^{51}V I elementinin tek pariteli enerji seviyelerine ait konfigürasyon, terim, J değerleri ve önceki çalışmalarda (Ref. no.) verilen A manyetik dipol ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitleri.

Enerji (cm^{-1})	Konfigürasyon	Terim	J	A (MHz)	B (MHz)	Ref. no.
18085.95	$3d^34s4p$	6D	1/2	938.5(4)	0	[45]
				939.94(25)	0	[51]
18120.10	$3d^34s4p$	6F	1/2	-351.14(24)	0	[51]
18126.23	$3d^34s4p$	6D	3/2	595.9(5)	-2(5)	[45]
				594.69(13)	-4.4(1.1)	[51]
18174.06	$3d^34s4p$	6F	3/2	286.44(11)	-4.4(9)	[51]
18198.08	$3d^34s4p$	6D	5/2	537.8(4)	-15(7)	[45]
				537.44(9)	-4(14)	[51]
18258.89	$3d^34s4p$	6F	5/2	390.18(11)	-0.6(1.5)	[51]
18302.26	$3d^34s4p$	6D	7/2	514.5(3)	3(12)	[45]
				514.35(7)	-1.2(1.5)	[51]
18372.39	$3d^34s4p$	6F	7/2	435.95(7)	4.3(1.6)	[51]
18438.02	$3d^34s4p$	6D	9/2	503.5(2)	6(15)	[45]
				503.46(5)	3.3(1.7)	[51]
18513.37	$3d^34s4p$	6F	9/2	467.33(8)	10.9(2.0)	[51]
18680.03	$3d^34s4p$	6F	11/2	495.53(5)	18.1(1.7)	[51]
20606.50	$3d^34s4p$	4D	1/2	-185.87(15)	-	[48]
				-179.874	-	[42]
20687.76	$3d^34s4p$	4D	3/2	544.81(18)	-	[48]
				599.58	-	[40]
20828.48	$3d^34s4p$	4D	5/2	611.06(60)	-	[48]
				599.58	-	[41]
21032.51	$3d^34s4p$	4D	7/2	606.15(21)	-	[48]
				569.6	-	[41]
21841.42	$3d^34s4p$	4G	5/2	133.5(27)	-	[48]
				209.85	-	[40]
21963.45	$3d^34s4p$	4G	7/2	326.77(21)	-	[48]
				299.79	-	[40]
22121.07	$3d^34s4p$	4G	9/2	408.19(27)	-	[48]
				359.75	-	[40]
22313.80	$3d^34s4p$	4G	11/2	448.67(12)	-	[48]
				425.7	-	[40]
				446.69(30)	-	[50]
23088.06	$3d^34s4p$	4F	3/2	44.07(90)	-	[48]

Tablo 2.4'ün devamı

Enerji (cm ⁻¹)	Konfigürasyon	Terim	<i>J</i>	<i>A</i> (MHz)	<i>B</i> (MHz)	Ref. no.
23210.54	3d ³ 4s4p	⁴ F	5/2	358.73(15)	-	[48]
				329.77	-	[40]
23353.10	3d ³ 4s4p	⁴ F	7/2	482.36(60)	-	[48]
				419.71	-	[40]
23519.87	3d ³ 4s4p	⁴ F	9/2	524.63(60)	-	[49]
				449.69	-	[40]
23608.77	3d ³ 4s4p	² D	3/2	626.23(90)	-	[48]
23935.12	3d ³ 4s4p	² D	5/2	-27.16(15)	-	[48]
24630.561	3d ⁴ 4s	² D	5/2	-8.18(12)	-	[49]
24643.539	3d ⁴ 4s	² D	3/2	591.49(60)	-	[49]
24648.11	3d ⁴ 4p	⁶ P	3/2	-100.13(30)	-	[48]
24727.86	3d ⁴ 4p	⁶ P	5/2	29.02(12)	-	[48]
24838.55	3d ⁴ 4p	⁶ P	7/2	106.37(60)	-	[48]
25930.55	3d ⁴ 4p	⁴ F	3/2	634.36(12)	-	[48]
26004.23	3d ⁴ 4p	⁴ F	5/2	215.85(60)	-	[50]
26021.92	3d ³ 4s4p	² G	7/2	431.55(60)	-	[48]
26122.08	3d ⁴ 4p	⁴ F	7/2	174.78(60)	-	[48]
26171.92	3d ⁴ 4p	⁴ F	9/2	89.04(12)	-	[48]
				85.14(21)	-	[46]
26182.63	3d ⁴ 4p	⁴ D	1/2	1100.23(30)	-	[48]
26249.48	3d ⁴ 4p	⁴ D	3/2	141.2(21)	-	[48]
26344.90	3d ³ 4s4p	² G	9/2	94.64(15)	-	[48]
26352.65	3d ⁴ 4p	⁴ D	5/2	15.29(90)	-	[48]
26480.29	3d ⁴ 4p	⁴ D	7/2	-17.09(60)	-	[48]
27187.76	3d ³ 4s4p	² F	5/2	586.72(60)	-	[48]
27470.79	3d ³ 4s4p	² F	7/2	62.81(30)	-	[48]
30021.58	3d ³ 4s4p	⁴ P	1/2	899.37	-	[41]
30094.57	3d ³ 4s4p	⁴ P	3/2	686.52(40)	-	[50]
31200.15	3d ³ 4s4p	⁴ F	3/2	-53.96(60)	-	[50]
31229.03	3d ³ 4s4p	⁴ F	5/2	411.31(90)	-	[48]
				416.71(30)	-	[46]
31268.11	3d ³ 4s4p	⁴ F	7/2	562.41(60)	-	[48]
				560.61	-	[46]
31317.44	3d ³ 4s4p	⁴ F	9/2	609.38(18)	-	[48]
31786.18	3d ³ 4s4p	⁴ P	1/2	1022.28(60)	-	[50]
31962.18	3d ³ 4s4p	² S	1/2	863.4(60)	-	[50]
32692.06	3d ³ 4s4p	⁴ H	7/2	107.92(60)	-	[50]

Tablo 2.4'ün devamı

Enerji (cm ⁻¹)	Konfigürasyon	Terim	<i>J</i>	<i>A</i> (MHz)	<i>B</i> (MHz)	Ref. no.
32724.87	3d ³ 4s4p	² P	1/2	536.62(90)	-	[50]
32767.95	3d ³ 4s4p	² P	3/2	-20.99(90)	-	[50]
32788.18	3d ³ 4s4p	⁴ H	9/2	347.76(30)	-	[50]
33306.89	3d ³ 4s4p	² G	9/2	573.8(21)	-	[50]
33360.28	3d ³ 4s4p	² G	7/2	203.56(15)	-	[50]
33481.44	3d ³ 4s4p	² F	7/2	518.04(15)	-	[50]
33527.68	3d ³ 4s4p	² F	5/2	-6(30)	-	[50]
33640.28	3d ³ 4s4p	² H	9/2	99.53(12)	-	[50]
33695.32	3d ³ 4s4p	² H	11/2	581.89(90)	-	[50]
33966.83	3d ³ 4s4p	⁴ D	1/2	653.84(24)	-	[48]
33976.07	3d ³ 4s4p	⁴ D	3/2	9.29(12)	-	[48]
34065.72	3d ³ 4s4p	⁴ D	5/2	360.35(30)	-	[48]
34127.92	3d ³ 4s4p	⁴ D	7/2	456.28(30)	-	[48]
34167.89	3d ³ 4s4p	⁴ D	5/2	512.64(21)	-	[50]
34374.88	3d ³ 4s4p	⁴ F	7/2	477.57(18)	-	[50]
34428.80	3d ³ 4s4p	⁴ F	3/2	-137.9(12)	-	[50]
34486.75	3d ³ 4s4p	⁴ F	5/2	638.85(21)	-	[50]
34529.84	3d ³ 4s4p	⁴ F	9/2	600.48(60)	-	[50]
34537.29	3d ³ 4s4p	⁴ F	3/2	311.48(15)	-	[48]
34619.60	3d ³ 4s4p	⁴ F	5/2	309.08(30)	-	[48]
34747.12	3d ³ 4s4p	⁴ F	7/2	195.46(12)	-	[48]
37174.69	3d ⁴ 4p	² G	7/2	449.69(60)	-	[50]
41428.98	3d ⁴ 4p	-	5/2	296.49(12)	-	[48]
41492.40	3d ⁴ 4p	-	7/2	262.92(60)	-	[48]
41599.44	3d ⁴ 4p	-	9/2	253.32(60)	-	[48]
41654.79	3d ⁴ 4p	-	5/2	300.69(90)	-	[48]
41751.93	3d ³ 4s4p	⁴ P	1/2	-805.54(18)	-	[48]
41758.37	3d ⁴ 4p	-	7/2	275.21(24)	-	[48]
41848.63	3d ³ 4s4p	⁴ P	3/2	-203.56(60)	-	[48]
41860.66	3d ⁴ 4p	-	9/2	266.21(30)	-	[48]
41918.26	3d ⁴ 4p	⁴ G	11/2	262.32(30)	-	[48]
42009.92	3d ³ 4s4p	⁴ P	5/2	-21.47(15)	-	[48]
42090.65	3d ⁴ 5p	⁶ F	1/2	855(18)	-	[49]
42120.71	3d ⁴ 5p	⁶ F	3/2	126.21(60)	-	[49]
42172.14	3d ⁴ 5p	⁶ F	5/2	29.59(27)	-	[49]
42236.59	3d ⁴ 5p	⁶ F	7/2	12.53(1.80)	-	[49]
42330.71	3d ⁴ 5p	⁶ F	9/2	7.68(2.10)	-	[49]

Tablo 2.4'ün devamı

Enerji (cm ⁻¹)	Konfigürasyon	Terim	<i>J</i>	<i>A</i> (MHz)	<i>B</i> (MHz)	Ref. no.
42404.26	3d ⁴ 5p	⁶ D	3/2	-512.64(90)	-	[49]
42440.60	3d ⁴ 5p	⁶ F	11/2	21.71(18)	-	[49]
42442.53	3d ⁴ 5p	⁶ D	1/2	-849.01(24)	-	[49]
42479.98	3d ⁴ 5p	⁶ D	5/2	-214.05(90)	-	[49]
42495.72	3d ⁴ 5p	⁶ P	3/2	-180.47(90)	-	[49]
42577.36	3d ⁴ 5p	⁶ P	5/2	-44.67(30)	-	[49]
42587.02	3d ⁴ 5p	⁶ D	7/2	-91.5(2.1)	-	[49]
42724.87	3d ⁴ 5p	⁶ D	9/2	4.2(2.7)	-	[49]
42981.69	-	⁴ F	3/2	423(90)	-	[48]
43249.50	-	⁴ D	1/2	494.95(24)	-	[48]
43331.80	3d ³ 4s5p	⁶ G	3/2	-315.98(60)	-	[49]
43394.00	3d ³ 4s5p	⁶ G	5/2	184.37(60)	-	[49]
43443.53	-	⁴ P	1/2	-947.34(30)	-	[48]
43483.47	3d ³ 4s5p	⁶ G	7/2	355.25(30)	-	[49]
43598.51	3d ³ 4s5p	⁶ G	9/2	432.09(21)	-	[49]
43647.76	3d ³ 4s5p	⁶ F	1/2	-599.58(15)	-	[49]
43674.33	3d ³ 4s5p	⁶ F	3/2	327.67(90)	-	[49]
43708.45	3d ³ 4s5p	⁶ D	1/2	1407.37(21)	-	[49]
43739.76	3d ³ 4s5p	⁶ G	11/2	472.89(15)	-	[49]
43744.49	3d ³ 4s5p	⁶ F	5/2	471.27(18)	-	[49]
43779.27	3d ³ 4s5p	⁶ D	3/2	818.73(90)	-	[49]
43849.22	3d ³ 4s5p	⁶ F	7/2	518.34(30)	-	[49]
43886.56	3d ³ 4s5p	⁶ D	5/2	692.52(60)	-	[49]
43906.81	3d ³ 4s5p	⁶ G	13/2	500.38(90)	-	[49]
43988.38	3d ³ 4s5p	⁶ F	9/2	542.32(60)	-	[49]
44026.59	3d34s5p	⁶ D	7/2	682.62(30)	-	[49]
44164.37	3d34s5p	⁶ F	11/2	571.82(18)	-	[49]
44202.79	3d34s5p	⁶ D	9/2	587.29(60)	-	[49]
44554.58	3d34s5p	⁶ D	3/2	331.57(18)	-	[48]
44616.92	3d34s5p	⁶ D	5/2	332.17(90)	-	[48]

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. ÇOK ELEKTRONLU ATOMLAR

3.1.1. Merkezci Alan Yaklaşıklığı

Schrödinger denkleminin çözümü sonucunda seviyelerin enerji değerleri ve durumları elde edilir.

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

Bu denklemin tam olarak çözülebildiği fiziksel problemler sınırlı olduğundan yaklaşık çözümler kullanılır. Tek elektronlu sistemlerde çekirdeğin etrafında dönen elektron için yazılan Schrödinger denklemi tam olarak çözülebilmektedir. İki ve daha fazla elektron alındığında, tam çözümden sapılmış olur ve yaklaşıklık metodları kullanılarak yaklaşık değerler bulunmaktadır [58].

Çok elektronlu atomlar üzerindeki tüm hesaplamaların başlangıç noktası, merkezi alan yaklaşımıdır. Bu yaklaşıklıkta temel düşünce, atomik elektronların, çekirdek ve diğer tüm elektronların oluşturdukları etkin, küresel simetrik bir $U(\vec{r})$ potansiyelinde, diğer elektronlardan bağımsız olarak hareket etmeleridir [7].

N elektron için Hamiltonyen,

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

şeklinde verilir. Bu eşitlikteki sırasıyla ilk terim,

$$-\sum_{i=1}^N \frac{\hbar^2}{2m} \nabla_i^2 : \text{Elektronun kinetik enerjisini,}$$

ikinci terim,

$$-\sum_{i=1}^N \frac{Ze^2}{(4\pi\epsilon_0)r_i} : \text{Çekirdek-elektron arası Coulomb etkileşmesini,}$$

üçüncü terim,

$$\sum_{i>j=1}^N \frac{e^2}{(4\pi\epsilon_0)r_{ij}} : \text{Elektronlar arası Coulomb etkileşmesini,}$$

gösterir.

Schrödinger denkleminde Ψ tek-elektron fonksiyonlarının çarpımına ayrılabilir veya slater determinanı ile yazılabilir:

$$\Psi = \frac{1}{N!} |\phi(a_i)| \quad (3.3)$$

Dalga fonksiyonu radyal, açısız ve spine ait üç kısımdan oluşmaktadır. Açığa bağlı kısmın çözümü küresel harmonik adını alır. Böylece toplam enerji, tek-elektron enerjilerinin toplamı olur. Enerji n ve ℓ kuantum sayılarının değerlerine bağlıdır.

Bu yaklaşımda toplam dalga fonksiyonu elektronların bir konfigürasyonunu tanımlar. Bunun anlamı, baş kuantum sayıları n_i ve yörüngesel açısız momentum kuantum sayısı ℓ_i , her elektron için tanımlanabilir. N elektronlu atom için dalga fonksiyonu $\Psi(q_1, q_2, q_3, \dots, q_N)$ ile verilir. N elektronlu sistemler için Schrödinger denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} H\Psi(q_1, q_2, \dots, q_N) &= \left[\sum_{i=1}^N \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla_i^2 - \frac{Ze^2}{(4\pi\epsilon_0)r_i} \right) + \sum_{i>j=1}^N \frac{e^2}{(4\pi\epsilon_0)r_{ij}} \right] \Psi(q_1, q_2, \dots, q_N) \\ &= E\Psi(q_1, q_2, q_3, \dots, q_N) \end{aligned} \quad (3.4)$$

q_i : Radyal ve açısız kısmı birlikte ifade eder.

Denklem (3.4), $1/r_{ij}$ terimi nedeniyle değişkenlerine ayırlamaz [5]. Bu terim elektronları bir arada ifade eder. Tersine, $U(\vec{r})$ potansiyeli N tane bir elektron denkleminde ayırılabilir. Bu denklemler birbirinden bağımsız değildir. Çünkü i. elektronun $U(\vec{r}_i)$ potansiyel enerjisi, geriye kalan (N-1) elektronun ve çekirdeğin yarattığı ortalama alana bağlıdır. Bu denklemi çözerken, diğer elektronların da durumlarını bilmek gerekir. Bu çözüm Hartree-Fock yöntemiyle yapılır [1].

$U(\vec{r})$ potansiyel enerjisi küresel simetrik olup, açılardan bağımsızdır. Dolayısıyla, bu merkezi bir alan oluşmasını sağlar ve bu durumda Schrödinger denklemi değişkenlerine ayırma yöntemi ile çözümlenebilir. Bu ayırma, açısız ve radyal olmak üzere, iki kısımda düşünülür [6].

$U(\vec{r})$ potansiyel enerjisi bulunarak, Schrödinger denklemi çözümlenip her elektronun kuantum sayıları ile tanımlanan dalga fonksiyonları ve enerji öz değerleri bulunabilir [59]. Bununla birlikte atomik yapılar hakkında bilgi edinilmiş olur.

3.1.2. Hartree-Fock Yöntemi ve Öz Uyumlu Alan

Bu modele göre her elektron, çekirdeğin çekici alanı ve diğer elektronlardan ötürü itme etkileşmelerinin ortalama etkisini hesaba katıldığı, bir etkin potansiyelde hareket eder. Çok elektronlu sistemdeki her elektron, kendi dalga fonksiyonu ile tanımlanır.

Hartree, elektron dalga fonksiyonlarının denklemlerini yazarak bu denklemleri çözmek için öz uyum gerekliliğini temel alan bir tekraralama süreci önerdi. Bu yöntem sadece Schrödinger denkleminin tekrarlı olarak çözümlenmesinden oluşmaktadır.

Hartree metodunun dezavantajı Pauli prensibine uymayan deneme dalga fonksiyonları Ψ 'lerin kullanmasıdır. Bu sorunu çözebilmek için, Pauli prensibine uyan determinant

deneme dalga fonksiyonları kullanılmalıdır. Atom için toplam dalga fonksiyonu, elektron koordinatlarına göre antisimetrik değildir. Pauli'nin dışarlama ilkesi ile getirilen bu anti simetri gereğini dikkate alan Hartree yönteminin geliştirilmesi 1930 yılında Fock ve Slater tarafından yapıldı. Hartree-Fock yöntemi, Hartree kuramının genellemesidir. Hartree-Fock yöntemi daha karmaşık olmasına karşın, Hartree yönteminden Pauli ilkesini gözönüne alması açısından daha avantajlıdır [60].

Hartree-Fock yönteminde, bağımsız atom yaklaşıklığı ve Pauli dışarlama ilkesine uyan N elektronlu dalga fonksiyonunun bir ϕ Slater determinantı olduğu varsayılır. Bu yöntem, atomsal dalga fonksiyonları ve enerjilerinin bulunmasında bir ilk adım olarak göz önüne alınabilir [7]. Tek elektron için Hamiltonyen,

$$H_i = -\frac{\hbar^2}{2m_0} \nabla_i^2 - \frac{Ze^2}{(4\pi\epsilon_0)r_i} \quad (3.5)$$

şeklinde verilmektedir.

Elektronlar arası etkileşim olmaması durumunda Hamiltonyen denklem (3.6)'de gösterildiği gibi, tek elektron Hamiltonyenlerinin toplamıdır.

$$H = \sum_{i=1}^N H_i \quad (3.6)$$

Elektronlar arası karşılıklı etkileşme gözönüne alındığında, i ve k elektron çifti arasındaki Coulomb etkileşme enerjisi $e^2/(4\pi\epsilon_0)r_{ik}$ ile verilir. Burada r_{ik} iki elektron arasındaki uzaklıktır.

Bu durumda Hamiltonyen ifadesi;

$$H = \sum_{i=1}^N H_i + \frac{1}{2} \sum_{i \neq k} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_{ik}} \quad (3.7)$$

şeklinde verilir. Bu Hamiltonyen için, Schrödinger eşitliğini çözmek gerekir. Tam bir çözüm bulunmadığından Hartree yaklaşıklığını kullanırız.

$$H\Psi = E_{top.}\Psi \quad (3.8)$$

Bireysel elektronların dalga fonksiyonları $\Psi_Q(R_i)$ 'ler bilinmektedir.

\vec{R}_i : Konum ve spini birlikte ifade eder.

Q : Kuantum sayılarıdır.

$$Q = (n, \ell, m_\ell, m_s) \quad (3.9)$$

Hartree-Fock yönteminin temel noktası çok elektron problemini tek elektron problemine indirgemektir. Gözönüne alınan tek elektron, atom çekirdeği ve diğer elektronların tümünün alanında hareket eder. Bu durumda diğer bütün elektronların elektron yoğunluk dağılımının tek elektron dalga fonksiyonları ile verilebilirliği yaklaşımı yapılır. Bildiğimiz bu dalga fonksiyonlarıyla ilişkili olarak bir $\rho(\vec{r}_i)$ yük dağılımı belirlenir.

$$\rho(\vec{r}_i) = e|\Psi_Q(\vec{R}_i)|^2 \quad (3.10)$$

r konumundaki bir yük ile bu yük dağılımı arasındaki etkileşme enerjisi, yüklerle elektrostatik potansiyelin çarpımı olarak verilir. Coulomb etkileşme enerjisi,

$$U(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{\text{Bütün Hacim}} \frac{e\rho(\vec{r}_i)}{|\vec{r} - \vec{r}_i|} d\tau_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{\text{Bütün Hacim}} \frac{e^2|\Psi_Q(\vec{R}_i)|^2}{|\vec{r} - \vec{r}_i|} d\tau_i \quad (3.11)$$

şeklindedir. Burada $d\tau_i$ hacim elemanıdır.

Seçilen bir elektronun dalga fonksiyonunu hesaplamak için, hem çekirdeğin Coulomb potansiyelinin ve hem de diğer tüm elektronların etkileşme enerjilerinin dikkate alındığı bir Schrödinger eşitliği çözümlenmelidir.

Seçilen bir elektron k indisine sahipse ve \vec{R}_k koordinatlı ise, ferdi dalga fonksiyonları için Schrödinger eşitliği,

$$H = \left[-\frac{\hbar^2}{2m_0} \nabla_k^2 - \frac{Ze^2}{(4\pi\epsilon_0)r_k} + U_k^0(\vec{r}_k) \right] \Psi_k^{(1)}(\vec{R}_k) = E\Psi_k^{(1)}(\vec{R}_k) \quad (3.12)$$

şeklindedir.

$U_k(\vec{r}_k)$: Diğer tüm elektronları içeren Coulomb etkileşme enerjisidir ve ifadesi,

$$U_k(\vec{r}) = \sum_{i \neq k}^N \int_{\text{Bütün Hacim}} \frac{e^2 |\Psi_{Q_i}(\vec{R}_i)|^2}{4\pi\epsilon_0 |\vec{r} - \vec{r}_i|} d\tau_i \quad (3.13)$$

şeklindedir.

İlk yaklaşıklık Coulomb etkileşme enerjisinde Ψ_{Q_i} için, $\Psi_{Q_i}^{(0)}$ dalga fonksiyonunun yerine konulması ile elde edilir. (0) üst indisi tüm işlemi başlatmak için verilen tahmini bir dalga fonksiyonu kullanıldığını gösterir. (1) üst indisi de aynı şekilde bu dalga fonksiyonunun k elektronu için bir tekrarlı işlemin ilk basamağında elde edildiğini gösterir. Ψ_{Q_i} yerine $\Psi_{Q_i}^{(0)}$ deneme fonksiyonu yazıldığında, $U_k^0(\vec{r}_k)$ potansiyeli elde edilmiş olur. Bu potansiyel Schrödinger denklemine yerine yazıldığında $\Psi_k^{(1)}(\vec{R}_k)$ dalga fonksiyonu bulunur. İşlem $\Psi_k^{(i)}(\vec{R}_k)$ dalga fonksiyonunda önemli bir değişim olmayana kadar, yani metod yakınsayana kadar tekrarlanır.

Bu durumda Schrödinger denklemi,

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m_0} \nabla_k^2 - \frac{Ze^2}{(4\pi\epsilon_0)r_k} + U_k(\vec{r}_k) \right] \Psi_{Q_i}(\vec{R}_k) = E\Psi_{Q_i}(\vec{R}_k) \quad (3.14)$$

şeklinde olmaktadır.

Öncelikle bağımsız elektron dalga fonksiyonu için bir tahmin yapılır, yaklaşık bir dalga fonksiyonu seçilir ve bu her bir elektronu tanımlar. Bu dalga fonksiyonları yük dağılımlarında kullanılarak, atomlardaki ortalama yük dağılımı bu fonksiyonlar için hesaplanır ve ortalama merkezi alan potansiyelini bulmak için kullanılır. Bu potansiyel enerji Schrödinger denklemi çözüldüğünde elektronun daha gerçeğe yakın dalga fonksiyonları bulunmuş olur [1].

Yeni dalga fonksiyonları ile $U(\vec{r})$ potansiyeli yeniden hesaplanır. Potansiyel ile dalga fonksiyonları uyumlu olana kadar işlem devam eder. Bu metod, öz uyumlu alan teorisi olarak da bilinmektedir. Bu iterasyon tekniğine Hartree-Fock yöntemi denir. Çözümler sonunda atomik yapı oldukça doğru bir şekilde açıklanabilmektedir [61].

3.1.3. Parite

Elektronlar ayırte dileyemez parçacıklar olduklarından, atomik sistemlerin hamiltoniyeni, her ikili elektronun spinlerinin değiş tokuşu altında değişmez (invariant) kalmalıdır. Elektronlar fermiyon olduklarından, N elektronlu bir atom sisteminin öz fonksiyonu antisimetrik olmalıdır ve bir atom içindeki elektronlar Pauli dışarlama ilkesine uymalıdır.

Parite işlemi, uzayın bir noktasından merkeze göre simetriği olan noktaya gidildiğinde fonksiyonun işaret değişimini gösterir. Diğer bir deyişle, merkeze göre yansıtma işlemine parite işlemi denir.

3-boyutlu uzayda parite işlemi (r, θ, φ) noktasının orijine göre simetriği olan noktayı bulmak demektir. Küresel koordinatlarda bu işlem gerçekleştirildiğinde r, θ ve φ bağımsız değişkenleri;

$$\left. \begin{array}{l} r \rightarrow r \\ \theta \rightarrow \pi - \theta \\ \varphi \rightarrow \pi + \varphi \end{array} \right\} \text{Yansıtma İşlemi}$$

değişimine uğrayacaktır. O halde parite işleminde açılar değişmektedir. Küresel harmonikler ise, $\Phi_m(\varphi)$ ve $\Theta_{\ell m}(\theta)$ fonksiyonlarının çarpımından oluştuğundan, bu fonksiyonlarına yansıtma işlemi uygulanarak parite operatörü belirlenebilir.

$$\Phi_m(\pi + \varphi) = (-1)^{|m|} \Phi_m(\varphi) \quad (3.15)$$

$$\Theta_{\ell m}(\pi - \theta) = (-1)^{\ell+|m|} \Theta_{\ell m}(\theta) \quad (3.16)$$

Bu fonksiyonlar taraf tarafa çarpıldığında, $(-1)^{2|m|}$ ifadesi daima çift olacağından;

$$\Psi_{n\ell m}(r, \pi - \theta, \pi + \varphi) = (-1)^\ell \Psi_{n\ell m}(r, \theta, \varphi) \quad (3.17)$$

ifadesi oluşur.

Denklem (3.17)'de sol taraf parite operatörü $P\Psi_{n\ell m}(r, \theta, \varphi)$ 'dir.

$$P\Psi_{n\ell m}(r, \theta, \varphi) = (-1)^\ell \Psi_{n\ell m}(r, \theta, \varphi) \quad (3.18)$$

Denklem (3.18) parite operatörünün özdeğer denklemidir [6].

O halde $\ell = 1,3,5,7\dots$ gibi tek sayı ise $\Psi_{n\ell m}$ tek pariteli, $\ell = 0,2,4,6\dots$ gibi çift sayı ise $\Psi_{n\ell m}$ çift pariteli bir fonksiyondur. Görüldüğü gibi, Coulomb potansiyeli (küresel simetrik) ile çözülen hidrojen atomu için dalga fonksiyonlarının pariteleri yörünge açılal momentum kuantum sayısı tarafından belirlenmektedir. Parite operatörünün özdeğeri $P = (-1)^\ell$ ifadesidir. Merkezci alan problemi (Bölüm 3.2.1) çözümünde elde edilen dalga fonksiyonları kesin pariteli fonksiyonlardır. ℓ tek ise antisimetrik, ℓ çift ise simetrik fonksiyonlardır. Ancak kuantum sistemi (atom) bu kararlı seviyelerden herhangi birinde değil de tek \leftrightarrow çift pariteli fonksiyonlar arasında (seviyeler arasında) bir geçiş yapma durumunda ise, sistemin o andaki dalga fonksiyonu kesin pariteli olmayıp, karma paritelidir denir [60].

Hamiltoniyen, terslenme sırasında değişmez kaldığı için, öz fonksiyon belirli bir pariteye sahip olmalıdır.

Bir enerji seviyesinin paritesi, $\sum l_i$ sayısına bağlıdır. $\sum l_i$ toplamı çift sayı olan öz fonksiyonlar terslenme sırasında işaret değiştirmez ve bu öz fonksiyonlara sahip enerji seviyeleri “çift pariteli” olarak adlandırılırlar. $\sum l_i$ toplamı tek sayı olan öz fonksiyonlar terslenme sırasında işaret değiştirir ve bu öz fonksiyonlara sahip enerji seviyeleri “tek pariteli” olarak adlandırılırlar [6].

3.1.4. Konfigürasyon

Merkezi alan yaklaşıklığına göre, atomun toplam enerjisi E_{nl} enerji seviyelerinin her birinde bulunan elektronların sayısı ile belirlenir. Elektronların bu dağılımı, “ n ” ve “ l ” kuantum sayılarına bağlı *elektronik konfigürasyon* olarak adlandırılır. Atomun taban seviyesinin konfigürasyonu *temel konfigürasyon*, uyarılmış her seviyenin konfigürasyonu ise *uyarılmış konfigürasyonlardır*.

Aynı “ n ” ve “ l ” kuantum sayılarına sahip enerji seviyeleri, bir alt kabuk oluştururlar. Aynı “ n ” sayısına sahip alt kabuklar ise bir kabuk oluşturur. Bu yüzden, elektronik konfigürasyonun işareti, “ n ” ve “ l ” kuantum sayılarının nimerik hesabına bağlıdır.

Aynı “ n ” ve “ l ” kuantum sayılarına sahip $2(2l + 1)$ tane seviye enerji seviyesi vardır. Atomun sahip olduğu elektronları, bu enerji seviyelerine doldururken Pauli dışarlama ilkesi kullanılır. Bu ilkeye göre, tüm “ n, l, m_l, m_s ” kuantum sayılarıyla belirlenmiş her enerji seviyesinde tüm kuantum sayıları aynı olan birden fazla elektron bulunamaz.

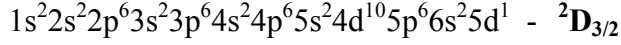
Her alt kabuktaki elektronların en yüksek sayısı $2(2l + 1)$ 'dir. Bir enerji seviyesinde $2(2l + 1)$ elektron bulunduğu durumda, bu alt kabuk *kapalı* veya *dolu* kabuk olarak adlandırılır. Bir kabuktaki elektronları maksimum sayısı ise $2n^2$ 'dir. Benzer olarak, bir kabukta $2n^2$ elektron bulunduğu durumda, kabuk *kapalı* veya *dolu* olarak adlandırılır.

Periyodik cetveldeki atomların elektronik konfigürasyonları Aufbau kuralına göre belirlenir. Elektronlar yüksek enerji seviyelerini doldurmadan önce, en alt enerji seviyelerinden başlayarak orbitallere yerleşirler.

Düşük $(n+l)$ değerine sahip orbitaller, daha yüksek $(n+l)$ değerine sahip orbitallerden daha önce doldurulurlar. Bu kural Madelung kuralı olarak bilinir. Her orbitalin sahip olabileceği elektronların sayısı Pauli dışarlama ilkesi ile sınırlıdır.

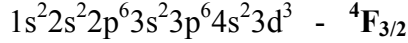
Lantanit ve aktinitler ($Z=57-70$) gibi bazı atomların, çoğu konfigürasyonları özellikle taban seviye konfigürasyonları bir veya daha fazla açık alt kabuk içerir [62].

Lantan elementinin ($Z=57$) taban seviyesi için elektronların Madelung kuralına göre dizilimi ve taban hal konfigürasyonu:



ile verilir.

Vanadyum elementinin ($Z=23$) taban seviyesi için elektronların Madelung kuralına göre dizilimi ve taban hal konfigürasyonu:



ile verilir.

Bir taban seviye için, LS terimlerinin sayısı ve onlara karşılık gelen enerji seviyelerinin sayısı çok geniş olabilir. Bu durumda, örnek olarak bu çalışmada incelenen Lantan ve Vanadyum elementlerinde olduğu gibi, spektrum çok karmaşık olabilir. Bütün üst üste gelen konfigürasyonların karışımı ile verilen konfigürasyon olduğu durumlarda, oldukça yüksek uyarılmış enerji seviyeleri çakışabilirler. Bu duruma, konfigürasyon etkileşimi denir. Konfigürasyon etkileşimi sadece aynı pariteye sahip konfigürasyonlar arasında gerçekleşir [61].

3.1.5. Seçim Kuralları

İnce yapı seviyeleri arasındaki optik geçişler aşağıdaki seçim kurallarına uyar:

- Bu optik geçişler, elektronun toplam açısai momentum kuantum sayısı J için seçim kuralının,

$$\Delta J = 0, \pm 1 \quad (J = 0 \rightarrow J = 0 \text{ yasak geçiş})$$

olduğu durumlarda izinlidir.

- Yalnızca, çift pariteye sahip enerji seviyelerinden, tek pariteli enerji seviyelerine ve benzer şekilde tek pariteli enerji seviyelerinden, çift pariteli enerji seviyelerine geçiş izinlidir.

- İki aşırı ince yapı enerji seviyesi arasındaki bu geçişler, atomun toplam açısai momentum kuantum sayısı F için seçim kuralının,

$$\Delta F = 0, \pm 1 \quad (F = 0 \rightarrow F = 0 \text{ yasak geçiş})$$

olduğu durumlarda izinlidir [63].

Bir dış manyetik alanın yokluğunda, ΔF seçim kuralı, tüm hfs geçişleri için geçerlidir. Elektrik dipol radyasyonu mı yoksa manyetik dipol radyasyonu mu gerçekleştikleri fark etmemektedir [64].

3.2. ATOMLARDA İNCE YAPI

3.2.1. Atom İçindeki Etkileşmeler

Atomlarda elektronların, çekirdek içinde nükleonların açısal momentumlarının (ya da manyetik dipol momentlerinin) çiftlenim şekillerini, çiftlenimin olduğu yerdeki manyetik alan şiddetleri belirler. Burada söz konusu olan manyetik alan sistemin iç yapısından kaynaklanan yerel alan veya dışardan uygulanan bir manyetik alan da olabilir. Örneğin hidrojen atomunda elektronun yörünge hareketinden kaynaklanan ve atomun merkezinde oluşan yerel alan 10^4 Gauss mertebesindedir. Çok elektronlu bir atom içinde spin-spin, spin-yörünge, spin-diğer yörünge, dipol-dipol ve çekirdek içinde de benzer şekilde nükleonlar arasında spin-spin etkileşmeleri söz konusudur. Bir atom içinde oluşabilecek tüm etkileşmeler, çiftlenim şekilleri (kipleri) açısından iki türde olabilir. Bunlar LS-çiftlenimi ve JJ-çiftlenimi olarak adlandırılır.

Hidrojen atomunun merkezinde oluşan yerel alan değeri referans alınarak dış alan şiddetinin $0 \leq B_0 \leq 10^4$ değerleri arasında olan Gauss bölgesi, zayıf alan ya da Zeeman bölgesi olarak bilinir. Dış manyetik alanın $10^4 \leq B_0 \leq \infty$ Gauss bölgesi de şiddetli alan ya da Paschen–Back bölgesi olarak bilinir.

Özellikle hafif atomlarda LS-çiftlenimi gözlenirken, ağır atomlara doğru gidildikçe JJ-çiftlenimine az da olsa rastlanır. Öte yandan atomun çekirdeğindeki proton ve nötronlarda ise JJ-çiftlenimi olduğu görülür. Nükleer kabuk modelinde manyetik kabuklar JJ-çiftlenimi sonucu oluşur.

3.2.1.1. LS-çiftlenimi

Bu çiftlenime Russel-Saunders çiftlenimi de denir ve daha çok hafif atomlarda bu çiftlenim türüne rastlanır. Atom üzerine uygulanan dış alan şiddeti Zeeman bölgesinde kaldığı sürece bu çiftlenim şekli kırılmaz (bozulmaz), bundan dolayı LS-çiftlenimine zayıf alan çiftlenimi de denir.

Bu çiftlenim türünde, atomun elektronlarının yörünge açısai momentumları kendi aralarında, spin açısai momentumları da kendi aralarında, ayrı ayrı birleşerek;

$$\vec{L} = \sum_i \vec{\ell}_i \quad (3.19)$$

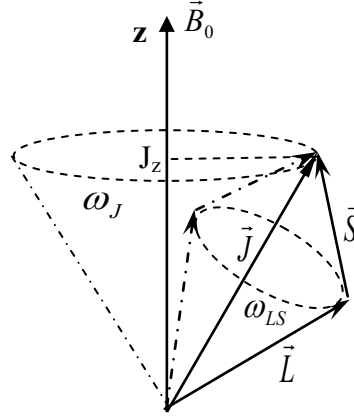
$$\vec{S} = \sum_i \vec{s}_i \quad (3.20)$$

atomun toplam yörünge ve toplam spin açısai momentumlarını oluştururlar.

Atomun elektronlarına ait toplam açısai momentum ise;

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S} \quad (3.21)$$

ile belirlidir. Bu oluşum LS-çiftlenimi olarak adlandırılır. Oluşum Şekil 3.1'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1: LS-çiftleniminin şekli.

Bu çiftlenim türünde \vec{L} ve \vec{S} vektörleri, \vec{J} etrafında bir ortak ω_{LS} açısai frekansı ile presesyon hareketi yaparken, eğer bir dış alan (Zeeman bölgesinde) uygulanmış ise, \vec{J} de dış alan etrafında ω_J frekansı ile presesyon hareketi yapar. Dış manyetik alan LS-

çiftlenimini kıramadığına göre, $\omega_{LS} > \omega_J$ olmaktadır. Bu çiftlenim türünü atomun içinde bulunduğu manyetik koşullar belli etmektedir.

LS- çiftleniminde elektrik dipol geçişleri için:

- a) Parite değişir,
- b) $\Delta\ell = \pm 1$,
- c) $\Delta m_\ell = 0, \pm 1$,
- d) $\Delta s = 0$ (kesin değil),
- e) $\Delta j = 0, \pm 1$ (Fakat, $0 \leftrightarrow 0$ geçişi yasak),
- f) $\Delta m_j = 0, \pm 1$ ($\Delta j = 0$ 'da, $\Delta m_j \neq 0$) kuralları geçerlidir [6].

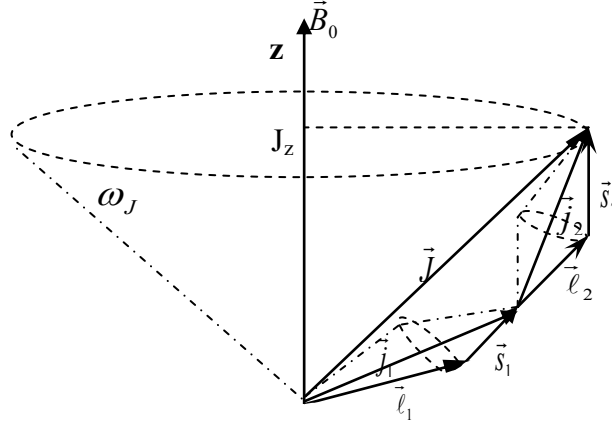
3.2.1.2. JJ-çiftlenimi

Genellikle çekirdeklerde nükleonların açısal momentumunun (spin) bağlanmalarında karşılaşılan bu çiftlenim türü özel olarak da ağır atomlarda oluşabilir. Bu çiftlenim türü dış manyetik alanın şiddetli olduğu Paschen-Back bölgesinde de oluşur. İster yerel alan etkisi, ister dış alan etkisi ile LS-çiftlenimi kırılır ve atomun her bir elektronu kendi spin ve yörünge etkileşmesi sonucu; $\vec{j}_1 = \vec{\ell}_1 + \vec{s}_1$, $\vec{j}_2 = \vec{\ell}_2 + \vec{s}_2$, $\vec{j}_3 = \vec{\ell}_3 + \vec{s}_3$ şeklinde bağlanırlar.

Toplam açısal momentum,

$$\vec{J} = \sum_i \vec{j}_i \quad (3.22)$$

olur. Bu etkileşim şekli jj-çiftlenimi olarak bilinir. Bu etkileşim dış alanın olmadığı ağır atomlarda, dış alanın Paschen-Back bölgesinde ve bir de çekirdek içinde nükleonlar arası bağlanmada görülür. Oluşum, Şekil 3.2'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2: İki elektronlu bir atomda, manyetik alanın Paschen-Back bölgesinde jj-çiftleniminin şeması.

jj-çiftleniminde elektrik dipol geçişler için:

- Parite değişir,
- $\Delta \ell = \pm 1$ (aynı elektron için $\Delta j = \pm 1$; fakat diğer elektronlar için $\Delta j = 0$),
- $\Delta s = 0$ (kesin değil),
- $\Delta j = 0, \pm 1$ (Fakat, $0 \leftrightarrow 0$ geçişi yasak),
- $\Delta m_j = 0, \pm 1$ ($\Delta j = 0$ 'da, $\Delta m_j \neq 0$) kuralları geçerlidir [6].

3.2.2. İnce Yapı Yarılımları

Birçok atomda yüklerin yörünge hareketinden kaynaklanan bir iç manyetik alan oluşur. Dış manyetik alan olmadığında, bu iç manyetik alandan dolayı enerji düzeylerinde ve spektrumlarında küçük bir yarımla olur. Bu yarılmaya ince yapı yarımları denir [65].

İnce yapı yarımları, yörünge manyetik momentiyle, spin manyetik momenti arasındaki manyetik etkileşimden kaynaklanır.

$$\vec{\mu}_J = \vec{\mu}_L + \vec{\mu}_S \quad (3.23)$$

Elektronun L yörünge açılal momentumuyla birlikte ortaya çıkan bir μ_L yörünge manyetik momenti ve S spin açılal momentumuyla birlikte ortaya çıkan bir μ_S spin manyetik momenti vardır. Bir elektronun etkileşmesinde manyetik momentler hesaba katıldığında hamiltonyen yeni terimler kazanır. Bu ek enerji spin-yörünge etkileşmesi olup, iki manyetik momentin etkileşmesini denklem (3.24)'daki gibi yazabiliriz [63].

$$V_{L-S} = \xi(r)\vec{\mu}_L\vec{\mu}_S = \xi(r)\left(-\frac{\mu_B}{\hbar}\right)\vec{L}\cdot\vec{S} \quad (3.24)$$

$\xi(r)$: Sadece radyal koordinata bağlı spin-dipol ve yörüngesel-dipol momentlerinin etkileşme sabitidir.

Birden fazla elektrona sahip atomlarda ince yapının hesaplanmasında kullanılan Hamilton operatörü denklem (3.25)'deki şekilde verilmiştir [3].

$$H = \sum_{i=1}^N \frac{p_i^2}{2m} - \sum_{i=1}^N \frac{Ze^2}{r_i} + \sum_{i>j=1}^N \frac{e^2}{r_{ij}} + \sum_{i=1}^N \xi(r_i)\vec{s}_i\cdot\vec{\ell}_i \quad (3.25)$$

$\sum_{i=1}^N \xi(r_i)\vec{s}_i\cdot\vec{\ell}_i$: Spin-yörünge etkileşmesini gösterir.

İnce yapı etkileşme enerjisi,

$$E_{spin-yörünge} = \xi(r_i)[J(J+1)-L(L+1)-S(S+1)]/2 \quad (3.26)$$

ile verilir.

Lande aralık kuralına göre, $\Delta E_{spin-yörünge}$ enerji farkı,

$$E_{spin-yörünge(J,J-1)} = \Delta E_J - \Delta E_{J-1} = \frac{\xi(r_i)}{2} [J(J+1) - J(J-1)] = \xi J \quad (3.27)$$

şeklinde ifade edilir [66].

Farklı konfigürasyonların her biri $(n_1 \ell_1, n_2 \ell_2, \dots)$ kuantum sayıları ile ifade edilen farklı enerji seviyelerine sahiptir. Manyetik kuantum sayıları olan m_ℓ ve m_s için dejenerelik vardır. Bunun anlamı, $(n_1 \ell_1 m_{\ell_1} m_{s_1}, n_2 \ell_2 m_{\ell_2} m_{s_2}, \dots)$ ile belirtilen birçok durumun, aynı $(E_{n_1 \ell_1, n_2 \ell_2})$ enerjisine karşılık gelmesidir. Enerjideki bu yarılımlar ince yapı yarılımları olarak ifade edilir.

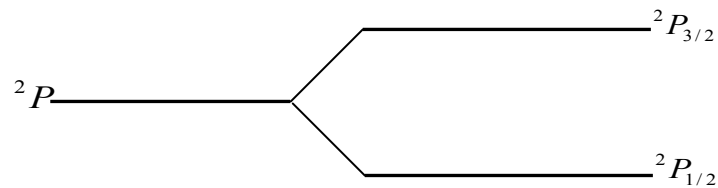
Atomların dış elektronları arasındaki manyetik ve elektrostatik etkileşme sonucu her bir elektronik konfigürasyona birden çok enerji seviyesi karşılık gelir. $L < S$ olduğu durumda, J kuantum sayısı $(2L+1)$, $L > S$ olduğu durumda, J kuantum sayısı $(2S+1)$ değer alır. Her bir J değerine bir enerji seviyesi karşılık gelir. Bu seviyelere *multiplet* denir.

Şekil 3.3'de kuantum sayıları $s = 1/2$ ve $\ell = 1$ olan 2P terimli bir enerji seviyesinin ince yapı yarılımları verilmiştir.

Toplam açısal momentum J ,

$$|L - S| \leq J \leq L + S \quad (3.28)$$

aralığında değerler alır. Denklem (3.28) kullanılarak, elektronun toplam açısal momentumunun alacağı değerlerin $J = 3/2, 1/2$ olduğu görülmektedir [3].



Şekil 3.3: $s = 1/2$ ve $\ell = 1$ kuantum sayılarına sahip olan 2P terimli bir enerji seviyesinin ince yapı yarılımları.

3.3. ATOMLARDA AŞIRI İNCE YAPI

Aşırı ince yapı incelemeleri spektrumlarında ilk olarak A. Michelson, C. Fabry ve A. Perot tarafından yapılmıştır [2]. Aşırı ince yapı etkisi, nükleer manyetik etki ile elektrik momentlerinin elektronik kabukla etkileşmesi olarak tanımlanır.

Elektronun spin ve yörünge hareketinden dolayı çekirdek üzerinde meydana getirdiği manyetik alan ile çekirdeğin manyetik dipol momenti, elektrik alan ile de çekirdeğin elektrik kuadropol momenti etkileşir. Bunun sonucunda, çekirdek spini enerjide yeni yarılımlara sebep olur. Bu yarılımlar aşırı ince yapı yarılımları olarak bilinir.

Çekirdek spini ile elektronların oluşturduğu manyetik ve elektrik alanların etkileşmesi sonucu sistemin toplam hamiltonyeni,

$$H = \left[\sum_{i=1}^N \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla_i^2 - \frac{Ze^2}{(4\pi\epsilon_0)r_i} \right) + \sum_{i>j=1}^N \frac{e^2}{(4\pi\epsilon_0)r_{ij}} \right] + \sum_{i=1}^N \zeta_i(r_i) \vec{L}_i \cdot \vec{S}_i + \sum_{i=1}^N a \vec{\mu}_i \cdot \vec{\mu}_j \quad (3.29)$$

şeklinde ifade edilir.

$\sum_{i=1}^N a \vec{\mu}_i \cdot \vec{\mu}_j =$ Çekirdek-elektron dipol-dipol etkileşme terimidir [66].

3.3.1. Manyetik Etkileşim

Elektron dönme hareketi hesaba katıldığında, elektronun spini ile yörüngesi arasındaki etkileşim sonucu ince yapı ortaya çıkar. Eğer atomik çekirdek çekirdek spini I sahip ise, aşırı ince yapı seviyelerine bölünürler.

Çekirdeği, bir nokta manyeti (mıknatıs) olarak kabul ettiğimizde etkileşimin enerjisi:

$$V_{mag} = -\vec{\mu}_I \cdot \vec{H}(o) = -\mu_I H(o) \cos(\vec{\mu}_I, \vec{H}(0)) \quad (3.30)$$

şeklinde oluşur.

Çekirdeğin manyetik momenti μ_I , çekirdeğin spin hareketi ile proton ve nötronların spin hareketlerinin toplam açısal momentumu olarak düşünülmelidir.

Pertürbasyon teorisine göre, V_{magn} . etkileşim enerjisinden ΔW_{magn} enerjisine geçmek için pertürbasyon olmayan enerji seviyeleri üzerinden zamana göre ortalama alınır; böylece, ek manyetik enerji için denklem (3.31) ifadesi elde edilir.

$$\Delta W_{magn} = -\mu_I \overline{H(o)} \cos(\mu_I H(o)) \quad (3.31)$$

$\overline{H(o)}$: $H(0)$ 'ın ortalamasıdır.

Elektronun yörünge hareketi, bir yörünge açısal momentum ℓ 'yi doğurur. Bu ise, elektron yükünün negatif işareti nedeniyle, çekirdekte üretilen $H(0)$ manyetik alanının kine zıt bir doğrultudadır. Elektronun gerçek manyetik momenti μ_s , S spin hareketi nedeniyle, S ve orbital açısal momentumu ℓ 'nin paralel mi yoksa antiparalel mi olduklarına bağlı olarak çekirdekteki manyetik alanı azaltan veya arttıran, yörünge üzerinde lokalize olmuş bir manyetik moment olarak düşünülebilir.

L ve S sonucunda, J oluşur. Hesaplamalar çekirdekteki manyetik alana, bir tek elektronun yörünge hareketinin, spin manyetik momentinden daha büyük bir katkıda bulunduğunu göstermiştir. Bu nedenle, $H(0)$ ve J , gerçekte, bu durumda antiparaleldirler. (Bu yalnızca, elektronun dönüş hareketi mevcut ise doğrudur). Burada kullanılan modelde, elektronun bu durumda, çekirdekte olduğu varsayımı yapılmalıdır; böylece, $H(0)$, μ_s ile aynı doğrultudadır. Bu, bazı elektronlar için her zaman geçerli olmaz ancak durumların büyük çoğunluğunda doğrudur. Bu sebeple, $H(0)$ ve J 'nin normal olarak antiparalel oldukları varsayımı doğrulanmıştır.

Diğer yandan, μ_I ve I , eğer nükleer moment, bir pozitif yük (protonlardan kaynaklanan) tarafından üretiliyorsa, paraleldirler (pozitif nükleer moment ve pozitif (g) faktörü). Çekirdekte hiçbir negatif yük bulunmamaktadır, yine de bir grup çekirdek içerisinde μ_I ve I 'nin antiparalel oldukları bulunmuştur. Daha sonra gösterileceği üzere, bu negatif

nötron momentinin etkisinden kaynaklanmaktadır. Bu durumda, μ_l ve I ye negatif işaret verilir.

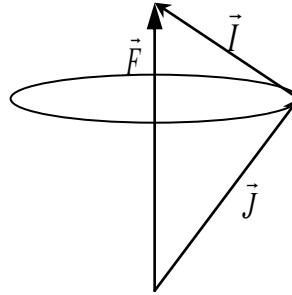
$H(o)$, J nin antiparalel ve nükleer manyetik momentin pozitif olduğu normal durumda, μ_l , en kararlı konumuna, $H(o)$ 'a paralel doğrultuda sahip olur; böylece, $\cos(I,J)$ ifadesi (-1) değerine sahiptir ve denklem (3.31),

$$\Delta W_{magn} = -\mu_l \overline{H(o)} \cos(\mu_l, H(o)) = \Delta W_{I,J} = A I J \cos(I,J) \quad (3.32)$$

şeklini alır.

A : Manyetik dipol aşırı ince yapı sabitidir.

I ve J açısal momentum vektörleri, manyetik etkileşim yoluyla çiftleştirilmişlerdir; böylece, sonuç olarak, atoma ait toplam açısal momentum vektörünü (\vec{F}) meydana getirmişlerdir. Denklem (3.32)'ten yararlanarak, $\cos(\vec{I}, \vec{J})$ ifadesi, Şekil 3.4'deki vektör diyagramından denklem (3.33) elde edilir.



Şekil 3.4: Atoma ait vektör modeli.

$$\cos(I,J) = \frac{F^2 - I^2 - J^2}{2IJ} \quad (3.33)$$

Çekirdek ve yörünge elektronları arasındaki manyetik etkileşim, kuantum mekaniksel olarak açıklanmıştır. Bu görüşe göre,

$$F^2 \rightarrow F(F+1)$$

$$I^2 \rightarrow I(I+1)$$

$$J^2 \rightarrow J(J+1)$$

olarak yer değiştirir. Bu durumda $\cos(I, J)$ ifadesi,

$$\cos(I, J) = \frac{F(F+1) - I(I+1) - J(J+1)}{2IJ} \quad (3.34)$$

şeklinde oluşur.

F 'in alabileceği mümkün değerler,

$$\vec{F} = (\vec{I} + \vec{J}), \dots, |\vec{I} - \vec{J}| \quad (3.35)$$

şeklindedir.

$$C = [F(F+1) - I(I+1) - J(J+1)] \quad (3.36)$$

olmak üzere, denklem (3.32) son olarak denklem (3.37) verildiği gibi olmaktadır:

$$\Delta W_{I,J} = A \frac{C}{2} \quad (3.37)$$

A aşırı ince yapı sabitinin değeri de,

$$A = \frac{\mu_I \overline{H(o)}}{IJ} = \frac{\mu_n g_I \overline{H(o)}}{J} \quad (3.38)$$

olmaktadır.

Denklem (3.37), A değerinin bir çoklu seviyeden diğer bir çoklu seviyeye göre değiştiğini ifade eder. Elektronların çekirdekte oluşturdukları manyetik alan arttıkça, A

değeri de artar. Kapalı bir elektronik kabuk, sıfır akım yoğunluğuna sahiptir ve bu nedenle, çekirdekte hiçbir manyetik alan üretmez. Aynı şey, kapalı alt kabuklar (örneğin s^2) için geçerlidir.

En büyük nükleer manyetik alan, ve aynı şekilde en büyük hfs bölünmesi, çekirdeğe en fazla yaklaşan çifti olmayan elektronlar tarafından üretilmektedir. Bu nedenle, en büyük A faktörünün, çift olmayan bir s elektronu içeren elektron konfigürasyonuna sahip multipler seviyeler için olması beklenir [2].

3.3.2. Elektrostatik Etkileşim

Elektrik kuadropol etkileşimleri de yarılmalara katkıda bulunur. Fakat magnetik dipol etkileşmesine göre katkısı daha azdır.

Elektrik kuadropol etkileşim enerjisi denklem (3.39)'da verildiği gibidir.

$$\Delta W_{el} = \frac{eQ' \overline{\varphi_{zz}(0)}}{4} \quad (3.39)$$

Q' : Q tensörünün z bileşenidir.

Q : Kuadropol moment tensörüdür.

eQ : Kuadropol momentidir.

$\overline{\varphi_{JJ}(o)}$: J eksenini etrafında silindirik simetriye sahip yörünge elektronların oluşturduğu elektrik alanının vektör gradyantidir.

Çekirdeğin yük dağılımının küresel simetrik olabilmesi için,

$$Q' = Q \left(\frac{3}{2} \cos^2 \theta - \frac{1}{2} \right) \quad (3.40)$$

olmalıdır.

Serbest atomdaki kuadropol etkileşimini incelediğimiz için, \vec{I} çekirdek spin açısai momentum vektörü ile \vec{j} elektronun toplam açısai momentum vektörü arasındaki açı sabittir ve bu açı θ olarak verilir. Bu durumda elektrik kuadropol etkileşim enerjisi,

$$\Delta W_Q = \frac{B}{4} \left[\frac{3}{2} \cos^2(I, J) - \frac{1}{2} \right] \quad (3.41)$$

ile belirtilir.

B : Elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitidir ve,

$$B = eQ\overline{\varphi_{JJ}(0)} \quad (3.42)$$

şeklinde verilir.

I, J, F 'lerin küçük değerleri için, Casimir tarafından verilen elektrik kuadropol etkileşimleri sonucunda meydana gelen ek enerji ifadesi,

$$\Delta W_Q = \frac{B}{4} \frac{\frac{3}{2} [C(C+1) - 2I(I+1)J(J+1)]}{I(2I-1)J(2J-1)} \quad (3.43)$$

olarak belirtilir.

Elektrik kuadropol etkileşmesi, elektronik açısai momentumla ilişkili olan çekirdek spininin yönelimine bağlıdır. Dolayısıyla her aşırı ince yapı seviyesi için kuadropol etkileşmesi farklı değerler alır. Bu yaklaşıma göre, çok elektronlu atomlarda küresel simetrik yük dağılımı, denklem (3.43)'de belirtilen ifadeye katkıda bulunmaz.

Çekirdek spininin $I = 0, 1/2$ olduğu durumlarda yük dağılımı küresel simetriktir. ΔW_Q elektrostatik etkileşme ek enerjisinin sıfırdan farklı olabilmesi için, çekirdek spininin $1/2$ 'den büyük olması gerekir [2].

3.3.3. Aşırı İnce Yapı Yarılımları

Kütle numarası tek olan bir izotop için, F kuantum sayısına sahip bir aşırı ince yapı (hfs) seviyesinin toplam enerjisini saptamak için, yarılma seviyesinin W_J enerjisine, iki ek enerjiyi, eklemek gerekir.

$$W_F = W_J + A \frac{C}{2} + B \frac{\frac{3}{4} C(C+1) - I(I+1)J(J+1)}{2I(2I-1)J(2J-1)} \quad (3.44)$$

Denkleme göre, çekirdek ile çekirdeğin yörünge elektronları arasındaki manyetik ve elektrik etkileşimi, J kuantum sayısına sahip bir ince yapı yarılması seviyesini, aşırı ince yapı seviyelerine böler. Seviyelerin sayısı, açısal momentum vektörleri I ve J 'nin mümkün olan durumlarının sayısına eşittir. Eğer $J \geq I$ ise, F kuantum sayısı $(2I+1)$ tane ve eğer $I \geq J$ ise F kuantum sayısı $(2J+1)$ tane değer alır.

$$J \geq I \quad \rightarrow \quad F, \quad 2I+1 \quad (3.45)$$

$$I \geq J \quad \rightarrow \quad F, \quad 2J+1 \quad (3.46)$$

Elektrik kuadropol etkileşim sabiti B genelde, manyetik dipol terimi A ile karşılaştırıldığında daha küçüktür. Bunun nedeni, çekirdek elektrik kuadropol momentinin çok küçük olmasıdır. Deneysel olarak Doppler genişlemeli yapılan deneylerde manyetik dipol aşırı ince yapı etkileşmesini dikkate almak yeterlidir. Bu durumda denklem (3.44)'ü,

$$W_F \approx W_J + \frac{A}{2} [F(F+1) - I(I+1) - J(J+1)] \quad (3.47)$$

şeklinde yazabiliriz.

Manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti olarak tanımladığımız A , aynı zamanda aralık faktörü olarak da adlandırılır. Bunun nedeni, manyetik etkileşme sebebiyle enerjide meydana gelen yarılımlarla oluşan seviyeler arasındaki enerji aralığının bu değere bağlı olmasıdır.

Deneyleerde, ince yapı enerji seviyeleri arasındaki spektral geçişler ölçülmektedir.

İki durum için farklı olan bir ek durum mevcuttur; elektrik dipol radyasyonu için, sadece farklı pariteye sahip seviyeler arasında geçişler mümkündür.

Her bir aşırı ince yapı geçişinin şiddeti denklem (3.48) ile hesaplanır.

$$H_{(F_o \rightarrow F_u)} \cong (2F_o + 1)(2F_u + 1) \left\{ \begin{matrix} I & F_o & J_o \\ 1 & J_u & F_u \end{matrix} \right\}^2 \quad (3.48)$$

$H_{(F_o \rightarrow F_u)}$: Herhangi bir geçişin şiddeti,

F_o : Üst seviyenin F kuantum sayısı,

F_u : Alt seviyenin F kuantum sayısı,

I : Çekirdek spini,

J_o : Üst seviyenin J kuantum sayısı,

J_u : Alt seviyenin J kuantum sayısıdır.

Denklem (3.48)'deki $\left\{ \begin{matrix} I & F_o & J_o \\ 1 & J_u & F_u \end{matrix} \right\}$ ifadesi $\Delta J = 0, \pm 1$ ve $\Delta F = 0, \pm 1$ durumlarına

karşılık gelen (3.49), (3.50), (3.51), (3.52) denklemleriyle hesaplanır. Bu denklemden birine uyan F ve J değerlerinde aşırı ince yapı geçişinin şiddeti hesaplanır.

$$\left\{ \begin{matrix} a & b & c \\ 1 & c-1 & b-1 \end{matrix} \right\} = (-1)^s \left[\frac{s(s+1)(s-2a-1)(s-2a)}{(2b-1)2b(2b+1)(2c-1)2c(2c+1)} \right]^{1/2} \quad (3.49)$$

$$\left\{ \begin{matrix} a & b & c \\ 1 & c-1 & b \end{matrix} \right\} = (-1)^s \left[\frac{s(s+1)(s-2a)(s-2b)(s-2c+1)}{2b(2b+1)(2b+2)(2c-1)2c(2c+1)} \right]^{1/2} \quad (3.50)$$

$$\left\{ \begin{array}{ccc} a & b & c \\ 1 & c-1 & b+1 \end{array} \right\} = (-1)^s \left[\frac{(s-2b-1)(s-2b)(s-2c-1)(s-2c+2)}{(2b+1)(2b+2)(2b+3)(2c-1)2c(2c+1)} \right]^{1/2} \quad (3.51)$$

$$\left\{ \begin{array}{ccc} a & b & c \\ 1 & c & b \end{array} \right\} = (-1)^{s+1} \left[\frac{2[b(b+1)+c(c+1)-a(a+1)]}{[2b(2b+1)(2b+2)2c(2c+1)(2c+2)]^{1/2}} \right] \quad (3.52)$$

Yukarıdaki dört denklemde,

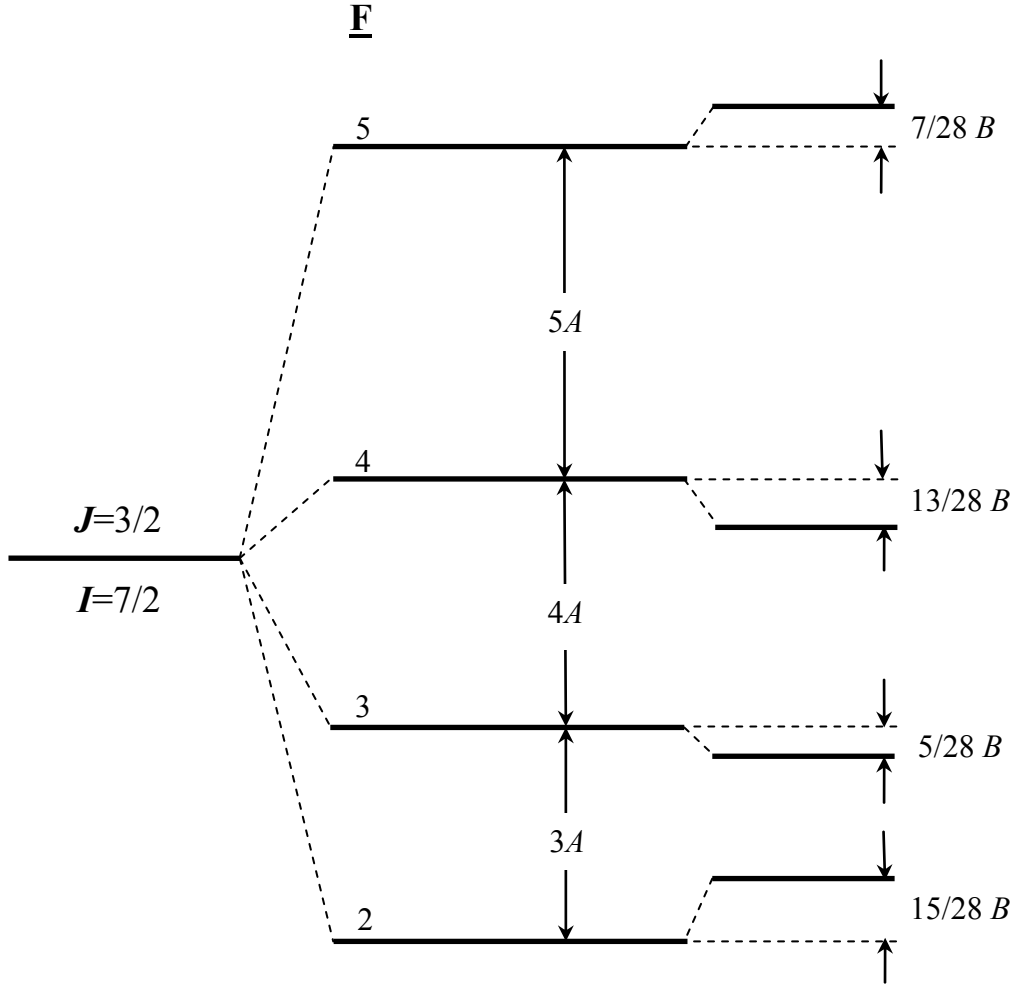
$$s = a + b + c,$$

a : Çekirdek spini I ,

b : Üst seviyenin F kuantum sayısı F_o ,

c : Üst seviyenin J kuantum sayısı J_o 'dır [2].

Örnek olarak; Şekil 3.5’de çekirdek spini $I = 7/2$ olan bir atomun, elektronlarının toplam açısal momentum kuantum sayısı $J = 3/2$ olan enerji seviyesi için manyetik ve elektrik aşırı ince yapı yarılımlarını göstermektedir. Aşırı ince yapı nedeniyle enerji seviyesindeki yarılımlar ve enerjiler arasındaki farklar manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A ve elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B cinsinden verilmiştir.



Şekil 3.5: Aşırı ince yapı nedeniyle enerji seviyesindeki yarılımlar ve enerjiler arasındaki farklar [3].

3.4. SPEKTRAL ÇİZGİLERDEKİ GENİŞLEMELER

Atomik ve moleküler geçişlerde, ışığın soğurma veya yayınlanmaya bağlı gözlenen spektral çizgileri tam olarak monokromatik değildir. Yüksek çözünürlüklü güce sahip interferometrelerle bile, üst ve alt enerji seviyeleri arasındaki bir geçişe karşılık gelen $\nu_0 = (E_i - E_f)/h$ merkez frekansı etrafında soğurulan veya yayınlanan şiddetin bir spektral dağılımı şeklinde gözlenir. ν_0 civarında soğurulan veya yayınlanan ışığın spektral dağılım fonksiyonu $I(\nu)$ “çizgi profili” olarak adlandırılır.

$I(\nu_1) = I(\nu_2) = I(\nu_0)/2$ değerlerine sahip ν_1 ve ν_2 frekansları arasındaki frekans aralığı $\delta\nu = |\nu_2 - \nu_1|$, spektral çizginin yarı maksimumdaki tam genişlik (FWHM) veya yarı şiddetteki çizgi genişliği olarak bilinir.

Çizgi profili veya spektral çizginin genişlemesi hem ölçme aletlerinin spektral çözünürlüğüne hem de geçişlerdeki atomik seviyelerin sonlu yaşam ömürleri, hareket eden atomların hız dağılımları ve gazın basıncı gibi temel fiziksel özelliklere bağlıdır. Bu genişleme mekanizmaları Doğal, Doppler ve çarpışma veya basınç genişlemeleridir.

Genişleme mekanizmaları homojen ve homojen olmayan genişleme mekanizmaları olarak da sınıflandırılabilir. Belirli bir ν frekanslı geçiş için ışınların yayılma veya soğurulma olasılığı ortam içindeki tüm atomlar için eşit ise, spektral çizgi profili homojen olarak genişler. Doğal çizgi genişlemesi ve basınç genişlemeleri homojen genişlemelere örnektir.

Işınların yayılma ve soğurulma olasılığı tüm atomlar için aynı değil ise, spektral çizgi genişlemesi homojen değildir. Doppler genişlemesi, farklı atomların çizgi profilinin farklı kısımlarına katkıda bulunduğu homojen olmayan genişlemeye bir örnektir [60].

3.4.1. Doğal Çizgi Genişlemesi

Heisenberg'in belirsizlik ilkesine göre ($\Delta E \cdot \Delta t > \hbar/2$), bir atom bir üst enerji seviyesinden alt enerji seviyesine düşmeden önce üst enerji seviyesinde ancak belirli bir zaman kalabilir.

Bir seviyenin sonlu yaşam ömrü $\tau_{bozunma}$ olarak alınırsa, çizgi genişliği yaklaşık olarak $\Delta E \sim \hbar/\tau_{bozunma}$ olacaktır. spektral geçişteki bir ya da iki seviyenin de sonlu yaşam ömrüne bağlı olan genişleme tipine “doğal çizgi genişlemesi” denir ve spektral çizginin ne kadar keskin olabileceğinin limitini gösterir. Herhangi bir t anında E_i uyarılmış seviyenin ortalama yaşam ömrü τ_i ise, seviyenin nüfusu N_i ,

$$N_i(t) = N_i(0)e^{-t/\tau_i} \quad (3.53)$$

olarak verilmektedir ve seviyenin nüfusu, $E_i > E_j$ olacak tüm seviyelere toplam kendiliğinden geçiş olasılığına bağlıdır.

τ_i yaşam ömrü,

$$\tau_i = \sum_j \frac{1}{A_{ij}} \quad (3.54)$$

ifadesi ile verilir. Burada A_{ij} , E_i enerji seviyesinden E_j enerji seviyesine kendiliğinden geçiş olasılığıdır.

Belirsizlik ilkesini kullanarak, enerjideki belirsizlik ΔE ,

$$\Delta E \approx \frac{\hbar}{\Delta t} = \frac{\hbar}{\tau_i} \quad (3.55)$$

olarak yazılabilir. Δt belirli bir seviyedeki atomun bulunması ile ilişkilendirilmiş zamandaki belirsizlik olup, τ_i ortalama yaşam ömrü ile verilir. Kararlı temel seviyede sonlanan bir geçişin frekansı ω_{ij} de enerjideki belirsizliğe karşılık $\Delta\omega_{ij}$ ile frekans sıçramasına sahiptir.

$$\Delta\omega_{ij} = \frac{\Delta E}{\hbar} = \frac{1}{\tau_i} \quad (3.56)$$

Hem uyarılmış seviye hem de temel seviyenin enerjideki belirsizlikleri E_i ve E_j çizgi genişliğine birlikte katkıda bulunurlar. Toplam belirsizlik,

$$\Delta E = \Delta E_i + \Delta E_j \quad (3.57)$$

ve

$$\Delta\omega = \left(\frac{1}{\tau_i} + \frac{1}{\tau_j}\right) \quad (3.58)$$

şeklinde yazılabilir.

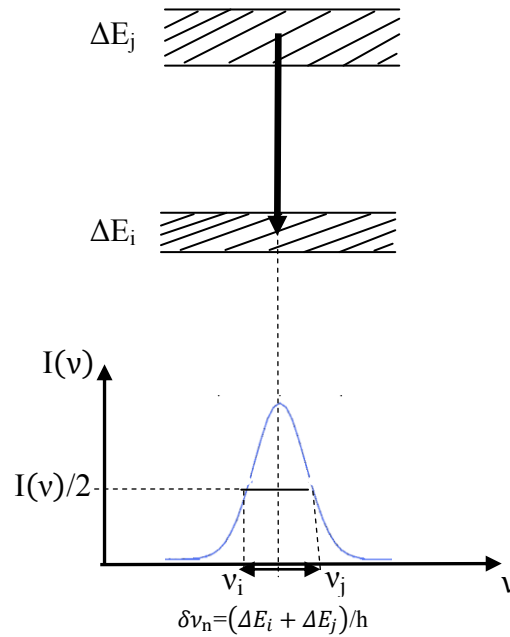
Şekil 3.6'da doğal çizgi genişlemesinin profili, alt ve üst enerji seviyelerindeki belirsizliklere bağlı olarak gösterilmiştir.

Bir spektral geçişin normalize olmuş çizgi şiddet profili Lorentz profilidir ve

$$g(\omega - \omega_0) = \frac{\frac{1}{2\pi}\gamma}{(\omega - \omega_0)^2 + \left(\frac{\gamma}{2}\right)^2} \quad (3.59)$$

eşitliğiyle belirlenir. γ foton salarak enerji kaybını karakterize eden bozunma veya sönüm sabitidir. $\delta\omega$ yarı değer genişliği aşağıdaki şekilde verilir:

$$\delta\omega = \omega - \omega_0 = \pm \frac{\gamma}{2} \quad (3.60)$$



Şekil 3.6: Bir spektral çizginin doğal çizgi genişleme profili.

Kendiliğinden emisyonla üstel olarak bozunan bir E_i atomik seviyesinin ortalama yaşam ömrü, A_i Einstein katsayısına $\tau_i = \frac{1}{A_i}$ ifadesi ile bağlıdır. Buna göre yarı genişlik,

$$\delta\nu_n = \frac{A_i}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\tau_i} \quad (3.61)$$

şeklinde yazılabilir.

Genelde, uyarılmış seviyeden bozunma sadece kendiliğinden emisyonla değil ışınımsız geçişle de oluşmaktadır. Bu yüzden, çizgi profil fonksiyonu γ_i ve γ_j toplam sönüm sabitleriyle elde edilebilir. γ_i ve γ_j ışınmalı ve ışınımsız geçişlerin katkılarının toplamıdır.

Yüksek uyarılmış seviyelerin yaşam ömürleri 10^{-6} - 10^{-9} saniye merteye aralığındadır. Bir uyarılmış seviyeden herhangi bir alt seviyeye yayınlanma ya da herhangi bir alt seviyeden uyarılmış bir seviyeye soğurma 0.1 ile 100 MHz aralığında bir çizgi genişliğine sahip olacaktır. Doğal çizgi genişliği kırmızı-altı ve mikrodalga bölgelerinde küçüktür [63].

3.4.2. Doppler Genişlemesi

Düşük sıcaklıklardaki gaz ortamlarında, spektral çizgi genişliğine baskın katkı Doppler genişlemesinden gelir. Doppler genişlemesi soğurulan veya yayınlanan atomların termal hareketine, dedektöre göre bağıl hızına göre değişir.

Doppler olayında, tek bir atomdan soğurulan veya yayınlanan ışın geçişin merkez frekansına bağlı olarak kaymış olarak gözlenir. Ancak, bir topluluk için tüm yönler ve hızlar mümkün olduğundan, Doppler profili simetrik oluşur.

Bir gözlemciye göre, bir uyarılmış seviyede $\vec{v} = \{v_x, v_y, v_z\}$ hızıyla hareket eden bir atom düşünelim. Gözlemci için, kendine doğru \vec{k} yayılma dalga vektörüne sahip yayınlanan ışığın ω_0 merkez frekansı Doppler kaymış olarak gözler ve,

$$\omega_e = \omega_0 + \vec{k} \cdot \vec{v} \quad (3.62)$$

olarak verilir.

Atom foton yayınlanma veya soğurma sırasında, gözlemciye doğru hareket ediyorsa ($\vec{k} \cdot \vec{v} > 0$) görünen frekans artar ve gözlemciden uzaklaşıyorsa görünen frekans ($\vec{k} \cdot \vec{v} < 0$) azalır.

ω frekansına ve \vec{k} dalga vektörüne sahip olan bir düzlem dalga hareket eden bir atomla etkileşir, ω frekansı atomun hareket eden kısmında kaymış olarak görünür.

Doppler kaymasına sahip çizginin şiddet profili $I(\omega)$ aşağıdaki şekilde verilir.

$$I(\omega) = I_0 e^{-\left(\frac{c(\omega - \omega_0)}{\omega_0 v_p}\right)^2} \quad (3.63)$$

Bu çizgi profili, ω_0 merkez frekansı etrafında simetrik olan bir Gauss fonksiyonudur.

Doppler genişliğine sahip bir spektral çizgi profilinde yarı genişliği $\delta\omega_D$,

$$\delta\omega_D = |\omega_1 - \omega_2| \quad (3.64)$$

olarak ifade edilir. Avagadro sayısı (N_A), molar kütle ($M = N_A m$) ve gaz sabiti ($R = N_A k_B$) ifadelerini kullanarak ve T sıcaklığını K ve M kütesini g/mol cinsinden Doppler genişlemesinin $\delta\omega_D$ frekans cinsinden formu,

$$\delta\omega_D = 2(\omega - \omega_0) = \frac{\omega_0}{c} \sqrt{\frac{8k_B T \ln 2}{m}} \quad (3.65)$$

Sabitler yerine konulduğunda Doppler genişlemesi için en kullanışlı aşağıdaki formu elde edilir [67]:

$$\delta\nu_D = 7.16 \times 10^{-7} v_0 \sqrt{\frac{T}{M}} \text{ s}^{-1} \quad (3.66)$$

- ❖ Doppler genişlemesi δv_D , merkez frekansı v_0 ile doğru orantılı olarak artar. Örneğin, Doppler genişlemesi kırmızı-altı bölgeyle karşılaştırıldığında, görünür ve morüstü bölgede daha geniş oluşur.
- ❖ Doppler genişlemesi sıcaklığın karekökü ile orantılı olarak artar. Örneğin, Doppler genişlemesi düşük sıcaklıklarda daha küçüktür. Bundan dolayı, incelenen bir spektral çizginin aşırı ince yapısını gözlemleyebilmek için, bu çalışmada kullanılan katot boşalımı sıvı azot ile soğutularak çizgi genişlemesinin ana kaynağı olan Doppler genişlemesi bir miktar azaltılabilir.
- ❖ Doppler genişlemesi atomik kütlelerin $M^{-1/2}$ oranında artmasıyla azalır. Kütleleri büyük olan atomlar, Doppler genişlemesinden daha fazla etkilenir.

Doppler genişlemesinin azaltıldığı Laser Spektroskopik yöntemler kullanılarak, Doppler genişlemesi büyüklüğü farklı mertebelerde azaltılabilir. Doppler genişlemiş bir spektral çizginin Gauss çizgi profili, $|\omega - \omega_0|$ farkının ω_0 merkez frekansından artmasıyla, logaritmik olarak azalır. Buna karşılık, doğal çizgi genişlemesi için Lorentz çizgi profili sadece $(\omega - \omega_0)^{-2}$ oranında azalır. Dolayısıyla Doppler genişliği daha büyük olmasına karşın, bir spektral çizgi kanatları hakkında doğal çizgi profilinden bilgi elde edebiliriz.

3.4.3. Çarpışma ve Basınç Genişlemesi

Uyarılmış enerji seviyesinde bulunan bir atom, diğer atomlarla çarpışmalar yaparak enerjilerini bu atomlara aktarır, ışımasız olarak alt enerji seviyesine geçiş yapabilir [64]. Gaz fazındaki atomlar arasında çarpışmalar olduğu zaman enerji aktarımı söz konusudur. Bu aktarım enerji seviyelerinin büyük ölçüde genişlemesine yol açar.

Çarpışmalar arasındaki ortalama zaman τ olarak alınırsa ve her çarpışma iki enerji seviyesi arasındaki spektral geçişte gerçekleşiyorsa, geçişin frekansında Δv kadarlık bir çizgi genişlemesi oluşur. Bu genişleme, Heisenberg'in belirsizlik ilkesinden türetilerek,

$$\delta v = (2\pi\tau)^{-1} \quad (3.67)$$

ifadesi ile verilir [63].

Uyarılmış seviyelerdeki atomun diğer atomlarla çarpışması sonucu spektral çizgi genişler ve uyarılmış seviyenin yaşam ömrü azalır. Bundan dolayı, basınç artışıyla birlikte atomlar daha net çarpışmalar yaparlar. Çarpışmaların sayısı sistemin basıncına da bağlı olduğu için, bu tip çizgi genişlemeleri “çarpışma genişlemesi” veya “basınç genişlemesi” olarak bilinir.

Çarpışma ve basınç genişlemesi, farklı çeşit atomlar arasındaki çarpışmalara bağlı olan “Lorentz genişlemesi” olarak ve aynı çeşit atomların arasındaki çarpışmalara bağlı olan “Holtsmark genişlemesi” olarak da adlandırılabilir.

Çarpışma ve basınç genişlemesi, atomlar arasındaki esnek olmayan çarpışmaların bir sonucu olarak oluşur. Gaz ve plazma boşalım sistemlerinde yüklü parçacıklar arasında uzun menzilli Coulomb etkileşmesi olduğundan, basınç genişlemesi bu sistemlerde önemli ölçüde daha büyüktür [66].

Basınç genişlemesi, doğal çizgi genişlemesi gibi homojendir ve simetrik olmayan çizgi profili gözlenen düşük frekanslardaki geçişler dışında Lorentz çizgi profili gösterir [63].

Basınç genişlemesini azaltmak için, spektral kaynaktaki basınç düşük tutulmalıdır. Basıncı değiştirerek ve çizgi genişliğinde karşılık gelen değişimi gözlemleyerek gaz içerisinde oluşan çarpışmalar hakkında bilgi elde edebiliriz. Büyük çarpışma parametresine sahip çarpışmalar farkedilebilir ölçüde çizgi genişlemesine sebep olur ve aynı zamanda çizgi merkezi kayabilir [66].

3.4.4. Saturasyon Genişlemesi

Atomik bir sistem yüksek şiddetli bir laserle uyarılırsa, bir spektral geçişin rezonans frekansı yakınlarında uyarılmış soğurma veya salınım yoluyla sistemin enerji seviyelerinin nüfus yoğunlukları önemli ölçüde değişebilir. Nüfus yoğunluklarındaki bu saturasyon ek bir çizgi genişlemesine yol açar ve bu genişleme “saturasyon genişlemesi” ya da “güç genişlemesi” olarak bilinir.

Saturasyon genişlemesinden kaynaklanan spektral çizgi profili, homojen olan ve homojen olmayan çizgiler için farklı olup, homojen çizgiler için Lorentz homojen olmayan çizgiler için Gauss profilindedir [66].

3.4.5. Birleşik Çizgi Genişlemeleri

Yapılan deneylerde, farklı çizgi genişleme mekanizmaları salınan ya da soğurulan spektral çizginin toplam çizgi genişliğine katkıda bulunur. Deneysel parametreleri değiştirerek, çizgi genişleme katkılarını azaltabiliriz.

Bir atomik sistemde Doppler genişlemesinden gelen katkının azalması için sıcaklık düşürülebilir, çarpışma ve basınç genişlemesinden gelen katkının azalması için basınç azaltılabilir, saturasyon genişlemesinden gelen katkının azalması için lazer ışığının şiddeti zayıflatılabilir. Bu yapılarla birlikte Doppler indirgenmiş Laser Spektroskopik yöntemler kullanılabilir. Ancak enerji seviyelerinin sonlu yaşam ömürlerine bağlı doğal çizgi genişlemesi ortadan kaldırılamaz.

Bir spektral çizgi profili $I(\omega)$, tüm genişleme mekanizmalarından gelen toplam dağılım katkılarını içeren Denklem (3.68)'deki gibi elde edilebilir:

$$I(\omega) = I_D(\omega) \cdot I_{D_0}(\omega) \cdot I_B(\omega) \cdot I_S(\omega) \quad (3.68)$$

$I_D(\omega)$ = Doğal çizgi profili,

$I_{D_0}(\omega)$ = Doppler çizgi profili,

$I_B(\omega)$ = Çarpışma ve basınç çizgi profili,

$I_S(\omega)$ = Saturasyon çizgi profilidir [66].

Homojen genişlemeye sahip spektral çizgiler Lorentz çizgi profiline, homejen olmayan spektral çizgiler ise Gauss çizgi profiline sahiptir. Buna göre, Doğal çizgi genişlemesi, çarpışma, basınç genişlemesi ve saturasyon genişlemeleri Lorentz çizgi profiline sahiptir. Çizgi profillerine bağlı olarak tüm genişleme mekanizmaları Lorentz ve Gauss

profili katkısına sahiptir. Böylece, bir spektral çizginin birleşik çizgi profili Lorentz ve Gauss çizgi profillerinin birleşimi olan Voigt profili ile tanımlanır:

$$I_{\text{Voigt}}(\nu) = I_{\text{Lorentz}}(\nu) \cdot I_{\text{Gauss}}(\nu) \quad (3.69)$$

Bir spektral çizginin Lorentz profili şiddet dağılımı $I_{\text{Lorentz}}(\nu)$ ve Gauss profili şiddet dağılımı $I_{\text{Gauss}}(\nu)$ sırasıyla,

$$I_{\text{Lorentz}}(\nu) = \frac{1}{2\pi} \frac{\delta\nu_L}{(\nu-\nu_0)^2 + \left(\frac{\delta\nu_L}{2}\right)^2} \quad (3.70)$$

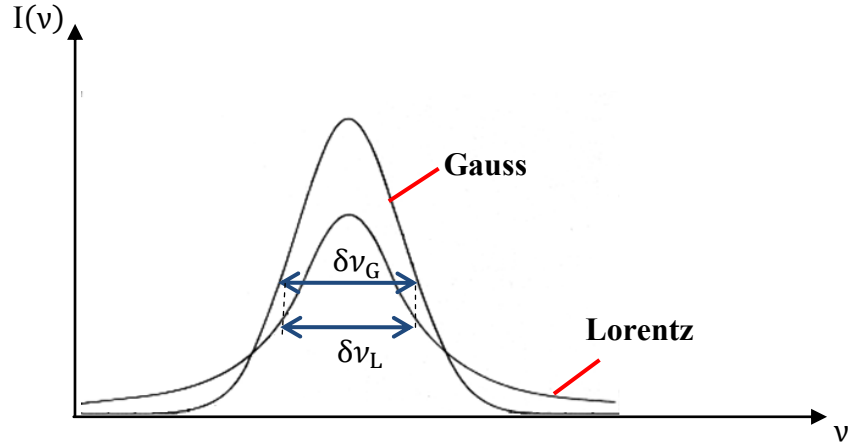
$$I_{\text{Gauss}}(\nu) = I_0 \sqrt{\frac{4\ln 2}{\pi}} \cdot \frac{1}{\delta\nu_G} e^{-4\ln 2 \cdot \left(\frac{\nu_0-\nu_G}{\delta\nu_G}\right)^2} \quad (3.71)$$

ile ifade edilebilir. Denklem (3.71)'deki Gauss yarı genişliği $\delta\nu_G$, Doppler genişliğidir:

$$\delta\nu_G = \delta\nu_{\text{Doppler}} = \frac{2\nu_0}{c} \sqrt{2\ln 2 \frac{kT}{m}} \quad (3.72)$$

Doppler genişliği $\delta\nu_{\text{Doppler}}$, geçişin frekansı ν_0 ile orantılıdır. Sıcaklık 300 *Kelvin* civarındayken, spektrumun mor üstü ve görünür bölgelerinde gözlenen spektral çizgiler Gigahertz mertebesinde genişliğe sahiptirler. Spektrumun görünür bölgesinde gözlenen spektral çizgiler için, Gauss yarı genişliği $\delta\nu_G$, Lorentz yarı genişliği $\delta\nu_L$ 'den çok daha büyüktür. Bu gibi durumlarda, spektral çizgi şekli Gauss çizgi profili ile çok iyi uyum gösterir. Ters olarak, mikrodalga bölgede gözlenen spektral çizgiler için, Gauss yarı genişliği $\delta\nu_G$, Lorentz yarı genişliği $\delta\nu_L$ 'den daha küçüktür. Bu gibi durumlarda, çizgi şekli Lorentz çizgi profili ile çok iyi uyum gösterir.

Şekil 3.7'de eşit yarı genişlikler için Lorentz ve Gauss çizgi profillerinin frekansa bağlı şiddet dağılımları gösterilmiştir. Bu durumda, Lorentz çizgi profili şiddetinin Gauss çizgi profili şiddetinden daha büyük olduğu görülmektedir. $I_{\text{Voigt}}(\nu)$ şiddeti sıfıra yaklaştığı zaman Gauss profili Lorentz profilinden daha hızlı azalma gösterir. Gauss Profili daha geniş bir profil çizmesine rağmen, Lorentz profili kanatlarda genişler [67].



Şekil 3.7: Eşit yarı genişliklere sahip Lorentz ve Gauss profillerinin karşılaştırılması [67].

Voigt profili hem Gauss hem de Lorentz profilini içerir. Voigt çizgi profili,

$$I_{\text{Voigt}}(\nu) = I_0 \int_{-\infty}^{+\infty} \sqrt{\frac{4\ln 2}{\pi}} \cdot \frac{1}{\delta\nu_G} e^{-4\ln 2 \cdot \left(\frac{\nu_0 - \nu_G}{\delta\nu_G}\right)^2} \cdot \frac{1}{2\pi} \frac{\delta\nu_L}{(\nu - \nu_0)^2 + \left(\frac{\delta\nu_L}{2}\right)^2} d\nu \quad (3.73)$$

şeklinde Gauss ve Lorentz fonksiyonlarını içerir. Bu çalışmada incelenen spektral çizgi genişlemelerinin büyük bir kısmı Voigt çizgi profiline uyduğu için, spektrumlar Voigt profili kullanılarak fit edilmiştir.

3.5. LANTAN ELEMENTİ

Atom numarası 57 olan Lantan elementi, 1839 yılında İsveçli kimyacı Carl Gustaf Mosander tarafından keşfedilmiştir. Seryum örnekleri içerisindeki kirlilikleri araştırırken, seyreltik nitrik asit (HNO_3) ile seryum nitratı ($\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$) işledi ve “lanthana (La_2O_3)” olarak adlandırdığı yeni bir madde buldu. Lantan’ın saf formu ancak 1923 yılında elde edildi. Lantan elementi adını yunanca lanthanien’den (gizli yalan) alır.

Periyodik tabloda 3-d kabuğu elementlerinden olan Lantan, Lantanit serisinin ilk elementidir. Lantan nadir toprak metallere birisi olsa da, hiç nadir değildir. Farklı ortamlarda Lantan elementi; yer kabuğunda % 0.0034 (~ 32 ppm), güneşte % 2×10^{-7} , meteoritlerde % 0.000028, okyanuslarda % 3.4×10^{-10} bolluklarına sahiptir. Oda sıcaklığında altıgen kristal yapıya sahip olup, gümüşümsü beyaz renkli bir metaldir. Kristal yapısı, 310°C ’den itibaren kübik bir yapıya dönüşmektedir.

Lantan elementi genellikle bazı nadir toprak elementleri ile seryumun birleşiminde bulunmaktadır. Havaya karıştığında hızla oksitlenebilen, yumuşak bir metaldir. Bu yüzden, element formunda sadece araştırma amaçlı kullanılır.

Lantan bileşikleri, katalizörler, stüdyo aydınlatmaları ve projeksiyon, çakmak ve meşaleler, ateşleme elemanları, elektron katotlar, karbon aydınlatma katkı maddesi gibi çeşitli uygulamalarda kullanılır. Lantan ikili bileşikler formunda, yüksek sıcaklıklarda azot, karbon, sülfür, fosfor, bor, selenyum, silisyum ve arsenik ile birleşir. Lantan soğuk su ile yavaşça, sıcak su ile oldukça hızlı bir şekilde tepkimeye girerek lantan hidroksit oluşturur. Buna ek olarak, Lantan bütün halojenlerle de (F, Cl, Br, I) tepkimeye girer.

Lantan elementi doğada %99.91 doğal bolluk oranına sahip bir kararlı ^{139}La izotopu ve 38 radyoaktif izotopu bulunmaktadır. Lantan elementinin izotoplarının atom ağırlıkları 116.95 - 154.96 *u* aralığındadır. Radyoizotoplardan en kararlıları sırasıyla yarı ömrü 102×10^9 yıl olan ^{138}La , 60×10^3 yıl olan ^{137}La ve 1.6781 gün olan ^{140}La izotoplarıdır. Geri kalan 35 radyoaktif izotopun yarı ömürleri 1 saatten daha kısadır.

^{139}La elementine ait temel fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: ^{139}La elementinin temel fiziksel ve kimyasal özellikleri [68].

Özellikler	^{139}La
Atom Numarası	57
Atom Ağırlığı	138.90547 (7) <i>u</i>
Çekirdek Spini	7/2
Çekirdek Dipol Momenti (μ_I)	2.7830455(9) μ_N
Çekirdek Kuadropol Momenti (Q)	-0.20(1) <i>barn</i>
Atom Yarıçapı	187 <i>pm</i>
Elektronik Konfigurasyonu	[Xe] 5d ¹ 6s ²
Kristal Yapı	Hekzagonal
Oda sıcaklığında Faz	Katı
Elektronegatiflik	1.10
Isı İletkenliği	13.4 <i>W/m.K</i>
Erime Noktası	918 °C
Kaynama Noktası	3464 °C
1. İyonlaşma Enerjisi	58.1 <i>kJ/mol</i> (5.577 <i>eV</i>)
1. İyonlaşma Potansiyeli	5.577 <i>V</i>
Yoğunluk	6.162 <i>g/cm³</i>
Kararlı İzotop Sayısı	1

Şekil 3.8’de Lantan elementinin periyodik cetveldeki yeri ve temel özellikleri gösterilmiştir.

3.6. VANADYUM ELEMENTİ

Atom numarası 23 olan Vanadyum elementi, Andrés Manuel del Rio tarafından 1801 yılında keşfedilmiştir. Del Rio, “kahverengi kurşun” diye adlandırdığı yeni bir kurşun davranışlı minerali analiz ederek, bu mineralin tuzlarının çoğunun ısıtma işlemi sonucunda esas renginden kırmızıya döndüğü için “eritronyum” adını vermiştir. Birkaç yıl sonra, bazı bilim adamları bu elementin kromla aynı olduğunu kanıtladılar. Element 1831 yılında Nils Gabriel Sefström tarafından tekrar keşfedilmiştir. Kimyasal birleşikleri değişik renkli olduğu için, İskandinavların güzellik tanrıçası Vanadis’ten esinlenerek vanadium adını almıştır.

Periyodik tabloda 3-d kabuğu elementlerinden olan Vanadyum, bir geçiş metalidir. Metalik vanadyum doğada bulunmaz, fakat 65 değişik minerali olduğu bilinir. Vanadyum iyonlarının büyük bir miktarı bazı organizmalarda bir toksin olarak bulunur. Farklı ortamlarda Vanadyum elementi; yer kabuğunda % 0.019, güneşte % 0.00004, meteoritlerde % 0.0061, okyanuslarda % 1.5×10^{-7} ve insanlarda % 3×10^{-6} bolluklarına sahiptir. Ayrıca, ham petrol, kömür ve katran kumu gibi fosil yakıt yataklarında mevcuttur.

Oda sıcaklığında kübik bir kristal yapıya sahip olup, sert, bükülebilir, gümüşümsü gri renkli bir metaldir. Çeliklerden ve çoğu metalden daha sert olduğu için kolay kırılabilir değildir. Ancak bükülebilir olduğu için bazı kaynaklarda yumuşak bir metal olarak tanımlanır.

Üretilen Vanadyum elementinin yaklaşık % 85’i bir katkı maddesi olarak kullanılır. Okyanuslarda bazı yaşam formları tarafından, kısmen enzimlerin aktif merkezi gibi kullanılırlar. Vanadyum demir ve titanyum ile uyumludur, bu yüzden Vanadyum folyo titanyum çelik titanyum kaplamada kullanılır. En önemli endüstriyel Vanadyum bileşiği, vanadyum pentoksit (V_2O_5), sulfirik asitin üretimi için katalizör olarak kullanılır. Diğer bir bileşiği, Vanadyum dioksit (VO_2), belirli bir sıcaklıkta kırmızı altı ışığı engelleyen cam kaplamaların üretiminde kullanılır. Bazı Vanadyum alaşımları süperiletkenlik davranışı gösterir. İlk A15 faz süperiletkeni, 1952’de keşfedilen V_3Si

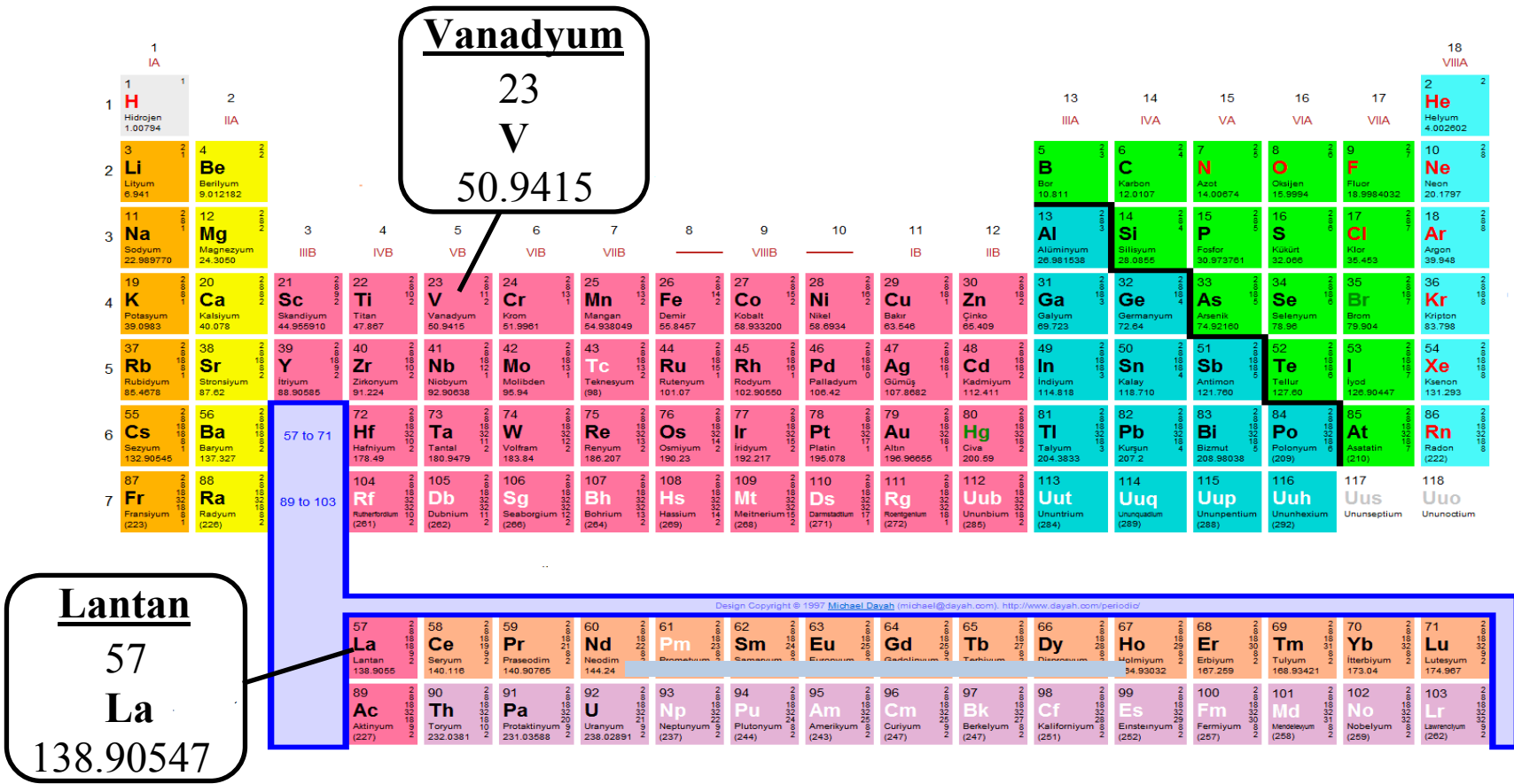
bileşigidir. Vanadyum tuzları bazı hastalıkların tedavisinde kullanılmaktadır, bu yüzden sağlık alanında da ilgi çekicidir. Vanadyumun kararlı formu süpernovalarda oluşturulur.

Vanadyum elementi doğada 99.75% doğal bolluğa sahip ^{51}V kararlı izotopu ve 24 radyoaktif izotopu bulunmaktadır. Vanadyum elementinin izotoplarının atom ağırlıkları 40 - 65 u aralığındadır. Radyoizotoplardan en kararlıları sırasıyla yarı ömrü 1.5×10^7 yıl olan ^{50}V , 330 gün olan ^{49}V ve 15.9735 gün olan ^{48}V izotoplarıdır. Geri kalan 21 radyoaktif izotopun yarı ömürleri 1 saatten daha kısadır. ^{51}V elementine ait temel fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2: ^{51}V elementinin temel fiziksel ve kimyasal özellikleri [68].

Özellikler	^{51}V
Atom Numarası	23
Atom Ağırlığı	50.9415 (1) u
Çekirdek Spini	7/2
Çekirdek Dipol Momenti (μ_I)	+5.1514 nm
Çekirdek Kuadropol Momenti (Q)	-0.052 $barn$
Atom Yarıçapı	192 pm
Elektronik Konfigurasyonu	[Ar] $3d^3 4s^2$
Kristal Yapı	Kübik
Oda sıcaklığında Faz	Katı
Elektronegatiflik	1.63
Isı İletkenliği	0.307 $W/m.K$
Erime Noktası	1910 $^{\circ}\text{C}$
Kaynama Noktası	3407 $^{\circ}\text{C}$
1. İyonlaşma Enerjisi	kJ/mol (6.746 eV)
1. İyonlaşma Potansiyeli	6.746 V
Yoğunluk	6.10 g/cm^3
Kararlı İzotop Sayısı	1

Şekil 3.8'de Lantan elementinin periyodik cetveldeki yeri ve temel özellikleri gösterilmiştir.



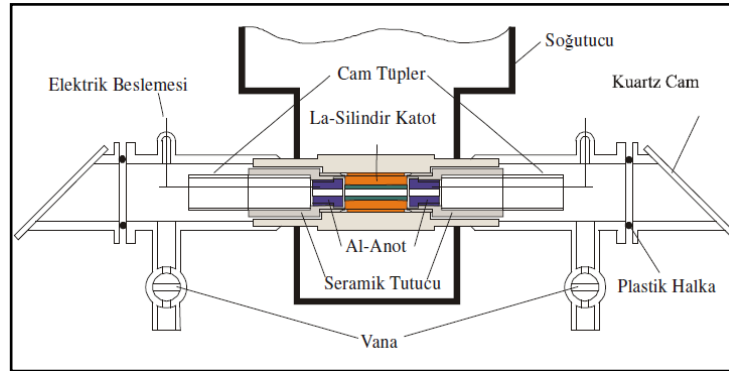
Şekil 3.8: Lantan ve Vanadyum elementlerinin periyodik cetveldeki yerleri [68].

3.7. KULLANILAN DENEYSEL YÖNTEMLER

Bu çalışmada La I elementinin aşırı ince yapısı Fourier Transform (FT) Spektroskopisi ve Laser Uyarılmış Floresans (LIF) Spektroskopisi olmak üzere iki farklı deneysel yöntem kullanılarak incelendi. V I elementinin aşırı ince yapısı ise Fourier Transform (FT) Spektroskopisi kullanılarak incelendi.

3.7.1. Silindir Katot

Silindir katot lambası iç deliğin çapı $\approx 3 \text{ mm}$ ve dış çapı $\approx 19 \text{ mm}$ genişliğindedir. La (veya V) elementi metal plaka halinde silindir katotun içine yerleştirilmiştir, dış kısmı ise bakırdan oluşmuş bir silindir şeklindedir. Katotun iki tarafına simetrik iki anot yerleştirilmiştir. Anotlarla katot arasındaki kontağı sağlamak için seramik tutucular kullanılır. Anot ve katot arasındaki ayırım $\approx 0.75 \text{ mm}$ civarındadır. Anotlar, katot ve seramik tutuculardan oluşan silindir katot lambasının şematik gösterimi Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Bu lamba $\approx 10^{-6}$ Torr mertebesinde vakumlanarak, silindir katot ortamında sadece Argon taşıyıcı gaz atomları ve Lantan (veya Vanadyum) atomlarının olması sağlanır. Silindir katot lambası 0.8 mbar basınç altında Argon gazı ile doldurulan bir cam tüp içerisinde bulunmaktadır. Uygulanan basınç incelenen atoma, spektral bölgeye ve boşalım koşullarına bağlı olarak değiştirilebilir.



Şekil 3.9: Fourier Transform Spektroskopisi deney düzeneğinde kullanılan silindir katot şematik gösterilişi.

Taşıyıcı gaz olarak Argon gazı kullanılır, asal gaz atomları kendi aralarında çarpışmalar yaparak iyon haline geçerler. Temel veya uyarılmış seviyede La (veya V) atomları ve iyonlarını içeren bir Silindir Katot deşarjı oluşturulur. Silindir katot ortamında belli bir basınçta bulunan asal gaz atomlarının bazıları aralarındaki çarpışmalarla iyonlaşırlar. Silindir katotun uçlarına gerilim uygulayarak pozitif asal gaz iyonları negatif katoda doğru hızlandırılır. Yüksek hızlarından dolayı sahip oldukları kinetik enerji ile katoda çarpan asal gaz iyonları katot yüzeyinden metal atomlarının koparak ortama katılmasına sebep olurlar. Katot yüzeyinden koparılan atomlar temel seviyede olduğu gibi yüksek hızlara sahip iyonların çarpması sonucunda serbest hale gelmişlerse uyarılmış durumda da olabilirler. Uyarılmış durumdan temel durumlarına geri dönerken ışık yayınlırlar. Silindir katot lambasından güçlü bir ışık yayılımı gözlenir.

İyonlar ve elektronlar elektrotlara ulaşırken sistemde oluşturulan boşalım akımı sinyalin kalitesine bağlı olarak yaklaşık 60 – 65 mA civarındadır. Uygulanan DC potansiyel farkı 350 – 650 V aralığında değişir.

Silindir katot boşalımı içerisinde uyarılmış seviyelerin nüfus yoğunluğu, elektronların atomlarla çarpışması yoluyla uyarılma olasılığı yüksek olduğundan elektronların kinetik enerjilerine ve sıcaklığına bağlıdır. Atomlar ve iyonların çarpışması sonucu ortamın sıcaklığı artar.

Yüksek sıcaklıklarda, sistemdeki iyonların enerji seviyeleri arasındaki geçişleri de gözlenebilmektedir ve iyon spektral geçişlerinin tanımlanması da mümkündür. Silindir katot içerisindeki atom ve iyonların çarpışmalarından dolayı spektral çizgilerdeki Doppler genişlemesini azaltmak, ortamın sıcaklığını düşürmek ve atom buharının silindir katot içinde kalmasını sağlamak için silindir katodun çelik haznesine sıvı azot konularak soğutulur [66].

Bu çalışmada FT Spektroskopisi ve LIF Spektroskopisi yöntemleri ile yapılan deneylerde incelenen elementin atom buharını elde etmek için silindir katot lambası kullanılmıştır.

3.7.2. Fourier Transform (FT) Spektroskopisi

Fourier Transform Spektroskopi yönteminde, incelenen element katodunu içeren silindir katod lambasından çıkan emisyon spektrumu, içinde Michelson interferometresinin bulunduğu Fourier Transform spektrometresi ile ölçüldü. Fourier Transform spektrometresinde dedektöre ulaşan ışınların şiddeti dispersif elemanların kullanıldığı spektrometrelere oranla daha büyüktür. Spektrumun tümü kısa bir süre içerisinde kaydedilir. Ayrıca spektrumun ayırıştırma güçleri yüksek ve dalgaboyu tekrarlanabilirliği iyidir.

Fourier Transform spektrometresinde bütün ayırıştırma elemanlarının gürültü ortalamaları alınmaktadır. Bu da her sinyalin eşit miktarda gürültü ile karışması demektir. Sinyal gürültü oranları pik şiddetine bağlı olacağı için şiddetli piklerin kalitesi iyileşir, zayıf pikler de iyice gürültüye karışır.

Kırınım ağı veya prizma gibi dispersif eleman içeren spektrometrelerde sinyal frekansına bağımlı olup spektrum, ışık şiddetinin frekansa yada dalgaboyuna karşı değişimi olarak elde edilmektedir. Fourier dönüşümünü uygulayan zaman bağımlı spektroskopide ise ışık şiddeti zamanın fonksiyonu olarak incelenir ve Fourier dönüşümü ile ışık şiddetinin dalgasayısına karşı değişimi elde edilir.

Spektrometreler, ışın şiddetini dalgaboyu veya frekansın fonksiyonu olarak belirleyen aletlerdir. Spektrumun belli bölgesini ölçmek için, ışınların izolasyonunda filtre veya monokromatörler kullanılır. Bazı spektrometrelerde ise, tek bir kanaldan sürekli birçok seri bilgi alınır ve analitik cevabın tüm bileşenleri aynı anda toplanır. Her bir bileşenin şiddetini saptayabilmek için analit sinyalinin uygun bir biçimde modüle edilmesi gereklidir. Bu aletlerin çoğu, Fourier Transform'a dayanır.

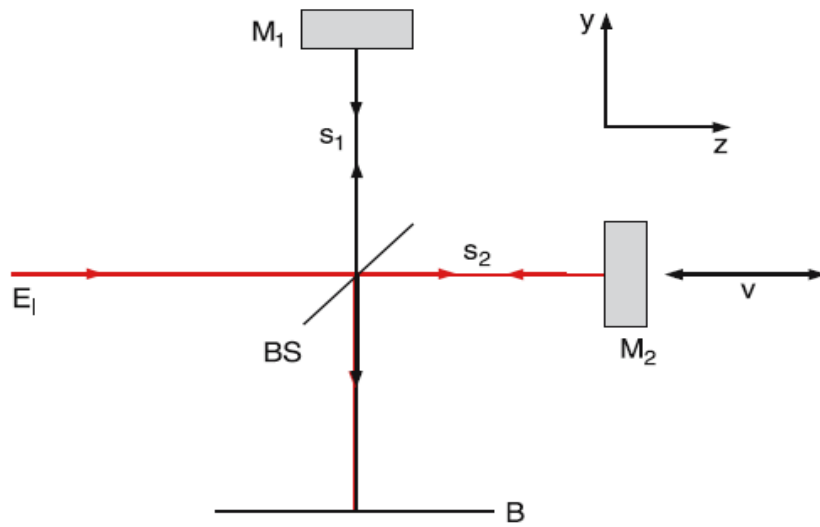
FT spektrometresi kullanılmasının bir çok avantajı vardır. Birincisi, bu cihazlarda çok az optik eleman kullanılır. Bunun sonucunda detektöre ulaşan ışınların şiddeti yüksek olup, büyük sinyal/gürültü gözlenebilmektedir. İkinci üstünlüğü, ayırma güçlerinin büyük olmasıdır. Üçüncü üstünlüğü, bu çalışmada özellikle geçerlidir, silindir katot

içerisindeki örnek elementin emisyonu sonucu gözlenebilecek tüm ince yapı spektral geçişlerini aynı zamanda dedektöre gelmesinden kaynaklanır.

Optik ışınların modülasyonu için kullanılan düzenek Michelson-Morley interferometresidir.

Hızlı optik salınımlar detektör tarafından izlenemez. Bu nedenle zamana bağlı sinyalleri elde edebilmek için yüksek frekans sinyalinin, sinyalin taşıdığı zaman ilişkilerini kaybetmeden, ölçülebilir bir frekansa dönüştürülmesi yani modüle edilmesi için bir yönteme ihtiyaç vardır. Modüle edilen sinyalin frekansı orijinali ile doğru orantılı olmalıdır. Michelson İnterferometresi optik bölgedeki ışınımın modüle edilmesinde kullanılır. Michelson İnterferometresinin şematik görünümü Şekil 3.10'da verildi.

Michelson interferometresi, ışın demetlerini yaklaşık eşit güçte iki demete ayırıp, daha sonra iki demetin ışık yolları farkının fonksiyonu olarak demetin şiddet değişimleri ölçülebilecek şekilde yeniden birleştirilmesini sağlayan bir düzenektir. İki demetin ışık yolları arasındaki farkın ışık şiddetine bağlı grafiğine interferogram denir. Fourier Transformu yardımıyla, ışık şiddeti ile dalga sayısı arasındaki ilişki elde edilir ve spektrum oluşur [66].



Şekil 3.10: Michelson interferometresi diyagramı E_1 gelen ışının genliği, M_1 sabit ayna, M_2 hareketli ayna, BS ışın ayırıcı, s_1 ve s_2 farklı optik ışın yolları ve B gözlem düzlemidir. Dedektör gözlem düzlemindedir.

Michelson interferometresi, ışın demetlerini ışın bölücü ayna (BS) ile yaklaşık eşit güçte iki demete ayırıp daha sonra iki demetin ışık yolları farkının fonksiyonu olarak demetin şiddet değişimleri ölçülebilecek şekilde yeniden birleştirilmesini sağlayan bir düzendir.

Işık kaynağından gelen ışın demetlerinin ışın bölücü ayna (BS) üzerinden yarısı geçerken yarısı yansıtılır. Oluşan demetlerden biri sabit (M_1) diğeri hareketli (M_2) aynaya gönderilir. Demetler daha sonra tekrar ışın bölücü aynada bir araya gelerek B ekran üzerinde gözlenir. Spektrometrelerde dedektor ekran düzlemi üzerindedir. Hareketli M_2 aynasının yatay hareketi, dedektöre ulaşan ışınların gücünde değişimlere yol açmaktadır. Eğer her iki ayna, bölücüden eşit uzaklıkta ise ayrılan demet birleştirildiğinde tam olarak aynı fazda olduklarından ışın gücü maksimum olacaktır. Aynanın hareketi her iki yönden birinde dalgaboyunun dörtte biri kadar hareket ettirilirse yansıtılan ışının ışık yolunda yarısı kadar bir değişime yol açmış olur ve tekrar birleştirilen demetlerin ışın gücünü sıfıra düşürerek yıkıcı girişim oluşacaktır.

Kollardan birindeki L_2 yol uzunluğu, M_2 aynasının v sabit hızı ile hareket etmesi ile sürekli düzgün olarak değişir. Işık kaynağı, genliği,

$$E(\omega) = A_0 \cos \omega_0 t \quad (3.74)$$

ve şiddeti de,

$$\begin{aligned} I(\omega) &= c \epsilon_0 E^2 = c \epsilon_0 A_0^2 \cos^2 \omega_0 t \\ &= I_0 \cos^2 \omega_0 t \end{aligned} \quad (3.75)$$

olan monokromatik bir dalga yayması durumundan girişen iki ışın,

$$A_i = \sqrt{RT} A_0 \quad (3.76)$$

genliklerine sahiptir.

Denklem (3.76)'de R ışın bölücü aynanın (BS) yansıması ve T de geçirgenliğidir. s_1 ve s_2 farklı optik yol uzunluklarından dolayı, dedektör düzlemindeki girişim şiddeti, $\Delta s = s_1 - s_2$ yol farkına bağlıdır. Şiddet,

$$I_t = c\varepsilon_0 R T A_0^2 \times [\cos(\omega_0 t + k s_1) + \cos(\omega_0 t + k s_2)]^2 \quad (3.77)$$

$$\begin{aligned} &= R T I_0 [\cos(\omega_0 t + k s_1) + \cos(\omega_0 t + k s_2) + \cos(2\omega_0 t + k(s_1 + s_2)) \\ &\quad + \cos(k(s_1 - s_2))] \end{aligned} \quad (3.78)$$

ifadesi ile verilir.

Dedektör sinyali $S(t)$, ortalama zamanla orantılıdır. $\langle I(t) \rangle$,

$$s_2 = s_1 + vt \quad (3.79)$$

$$k = \omega_0/c \quad (3.80)$$

olarak alındığında sinyal,

$$S(t) \propto \langle I(t) \rangle = R T I_0 \left[1 + \cos\left(\omega_0 \frac{v}{c} t\right) \right] \quad (3.81)$$

elde edilebilir.

Dedektör, ω_0 frekansı yerine dedektör zamanı üzerinden ortalama geçen şiddet için daha düşük frekans değerini $\Omega = \omega_0 v/c$ ölçer.

Düzenli hareket eden bir aynaya sahip Michelson interferometresinde, ışık kaynağının optik frekansı ω_0 , çıkış sinyalinin $\omega_0 v/c$ düşük frekansına dönüştürülür. Monokromatik ışık için sinyal $\langle I(t) \rangle$, faz farkı $\delta = \omega_0 (v/c) t$ 'nin vt çarpımına bağlı bir fonksiyonu olarak verilir. Maksimum yol farkı $\Delta s = vt$ 'in dalgaboyu λ 'nın tam katları olduğu durumda oluşur.

Işık kaynağının spektrumu $I(\omega)$, ölçülen sinyalin $S(t) \propto \langle I(t) \rangle$ Fourier dönüşümü ile elde edilebilir.

$$I(\omega) = \lim_{t \rightarrow \infty} \int_{t=0}^t S(t) \cos\left(\omega_0 \frac{v}{c} t\right) dt \quad (3.82)$$

Eğer ışık kaynağı ω_1 ve ω_2 frekanslarını yayarsa, ω_1 frekanslı ve ω_2 frekanslı iki ışın bağımsız olarak birbirleriyle girişir. ω_1 ve ω_2 arasındaki girişimin ortalaması sıfırdır çünkü farklı frekanslara sahip iki ışın arasındaki faz farkı 0 ve 2π arasında periyodik olarak değişir. Dedektörün zaman sabiti τ , $2\pi/(\omega_1 - \omega_2)$ değerinden daha büyüktür. Bir zaman periyodu τ üzerinde ortalama ölçülen şiddet,

$$\langle I(t) \rangle = \langle I_1 \rangle + \langle I_2 \rangle \quad (3.83)$$

olarak yazılabilir.

İnterferogram, iki monokromatik dalganın interferogramlarının süperpozisyonudur. Eşit genliğe sahip iki dalga durumu için geçen normalize ışığın şiddet eğrisi, Şekil 3.11b'de gösterilmiştir. $I_0 = I_1 \cos(\omega_1 t) + I_2 \cos(\omega_2 t)$ eşitliğini Denklem (3.83)'de yerine koyarsak,

$$S(t) \propto \langle I_T(t) \rangle = RT\bar{I}_0 \left[1 + \cos\left(\omega_1 \frac{v}{c} t\right) + \cos\left(\omega_2 \frac{v}{c} t\right) \right] \quad (3.84)$$

ω_1 ve ω_2 frekanslarını,

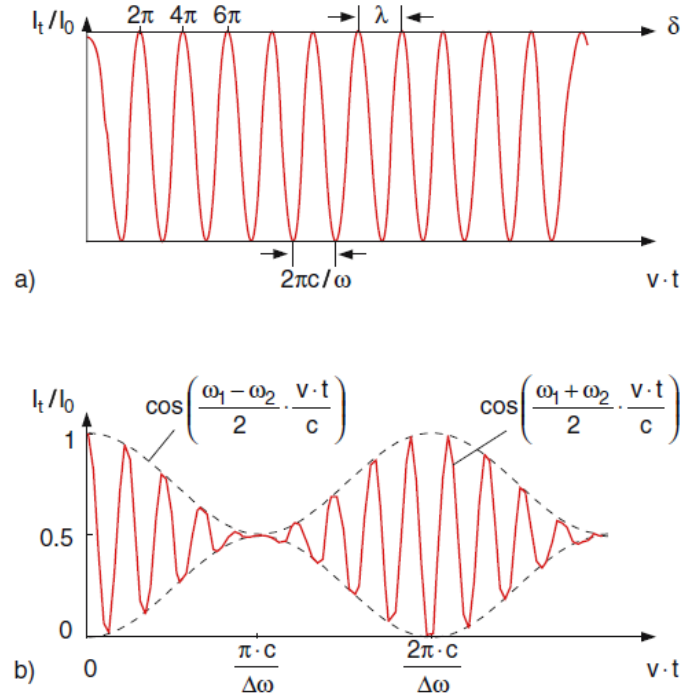
$$\omega_1 = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} + \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \quad (3.85)$$

$$\omega_2 = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} - \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \quad (3.86)$$

ile ifade edebiliriz. Sinyal,

$$S(t) \propto RT\bar{I}_0 \left[1 + 2 \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \frac{v}{c} t\right) \times \cos\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \frac{v}{c} t\right) \right] \quad (3.87)$$

şeklinde yazılır.



Şekil 3.11: Hareketli aynaya sahip bir Michelson interferometresinden geçen normalize ışık şiddeti I_t/I_0 , (a) Monokromatik ışık için, (b) $I_{01}(\omega_1)$ ve $I_{02}(\omega_2)$ şiddetlerinin süperpozisyonu için, yol farkı Δs 'e bağlı olarak gösterilmiştir.

Şekil 3.11b'den Fourier spektroskopisinin spektral çözünürlük gücünün gösterimini elde edebiliriz. Bir ölçüm için, minimum frekans aralığı $\delta\omega = (\omega_1 - \omega_2)$, minimum zamana bağlıdır.

$$\frac{v}{t} \delta\omega \geq \frac{2\pi}{\Delta t} \rightarrow \delta\omega \geq \frac{2\pi c}{\Delta s} \quad (3.88)$$

İnterferometrenin çözünürlük gücü $\omega/\delta\omega$, gelen iki dalga arasındaki minimum yol farkına ve dalgaboyu λ 'ya bağlıdır.

$$\frac{\omega}{\delta\omega} = \frac{2\pi\nu}{\delta\omega} = \frac{2\pi c\Delta s}{\lambda \cdot 2\pi c} = \frac{\Delta s}{\lambda} \quad (3.89)$$

Eğer ışık kaynağı çok frekanslı ışık yayarsa, dedektör sinyali $S(t)$ daha karmaşık olur.

$$S(t) = a \int_0^\infty \bar{I}_0(\omega) \left[1 + \cos\left(\omega \frac{\nu}{c} t\right) \right] d\omega \quad (3.90)$$

$\Delta t = \tau$ zaman aralığı boyunca ölçülen dedektör sinyali $S(t)$ 'nin Fourier dönüşümü, ışık kaynağının spektral şiddet spektrumunu,

$$\bar{I}(\omega) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{b}{\tau} \int_{t=0}^t S(t) \cos\left(\omega \frac{\nu}{c} t\right) dt \quad (3.91)$$

şekilde oluşturur [63].

3.7.2.1. Fourier Transform (FT) Spektroskopisi Deney Düzeneği

Bu çalışmada La elementinin $833 \text{ nm} - 1665 \text{ nm}$ ($6000 \text{ cm}^{-1} - 12000 \text{ cm}^{-1}$) dalgaboyu aralığındaki yakın kırmızı altı bölge spektrumu ve Vanadyum elementinin $366 \text{ nm} - 581 \text{ nm}$ ($20790 \text{ cm}^{-1} - 27290 \text{ cm}^{-1}$) dalgaboyu aralığındaki spektrumu, FT Spektrometresi kullanılarak Letonya Üniversitesi Laser Merkezi'nde incelendi.

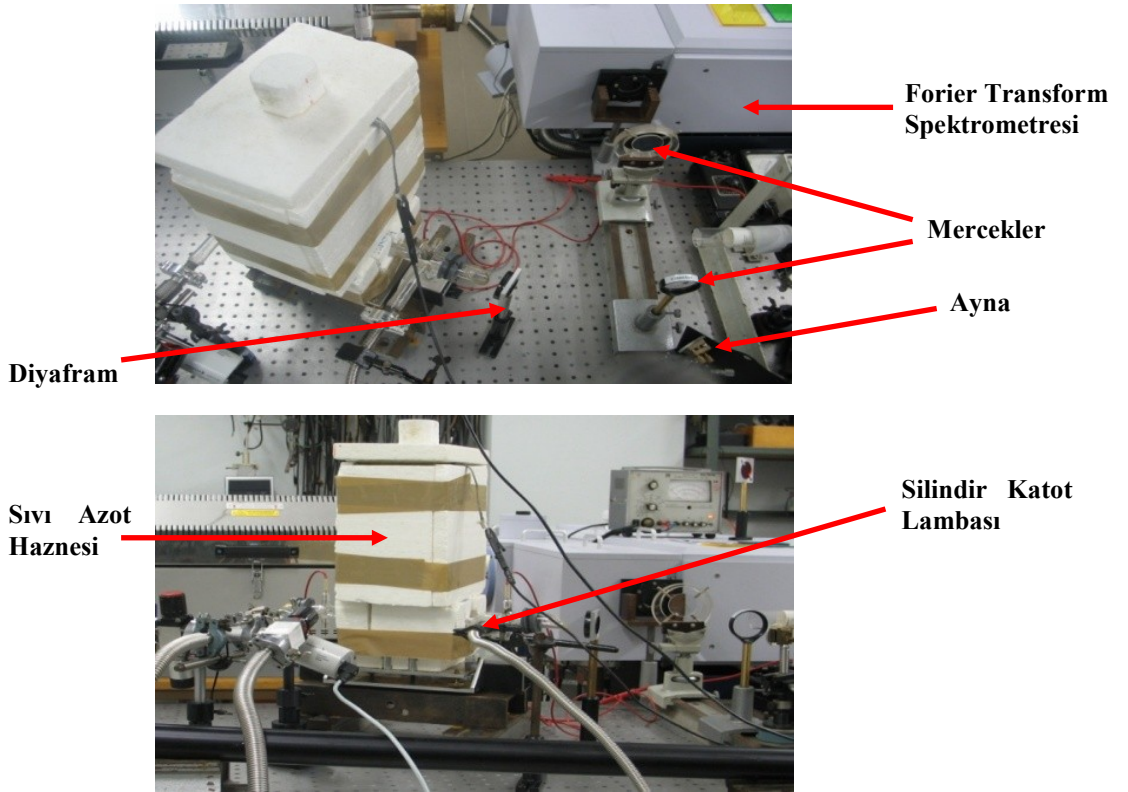
Deney düzeneğinde kullanılan FT spektrometresinin ayırma gücü 0.025 cm^{-1} 'dir. FT Spektroskopisi deney düzeneği Şekil 3.12'te gösterilmiştir.

Lantan elementinin buharlaştırılması için, içi oyuk olan Şekil 3.9'da verilen silindir katot lambası kullanılmıştır. Katot lambası 20 mm uzunluğunda ve 3 mm çapında olup bakırdan yapılmıştır. 0.25 mm kalınlığında plaka halinde bulunan Lantan/Vanadyum elementi ince bir rulo haline getirilip bu oyuğun içine yerleştirilmiştir.

Deney süresince ölçümlerdeki aşırı ince yapı bileşenlerinin çizgi genişlemesini azaltmak için silindir katot lambası sıvı azot eklenerek soğutulmuştur. Silindir katot içerisinde temel enerji düzeyinde bulunan atomlar kadar, yüksek enerji düzeylerine uyarılmış atomlar da bulunur. Özellikle yarı kararlı seviyelerin aşırı ince yapılarını incelemek için silindir katot boşalımı kullanışlı bir ışık kaynağıdır.

İncelenen elementlerin buharları katot boşalım ortamında saçılma ile üretilir. Katodun silindirik olmasından dolayı, katodun bir yüzeyinden gelen elektronlar katodun karşı yüzeyinden yansıyor daha etkin bir şekilde iyonizasyona ve ortamda bulunan atomların uyarılmasına sebep olurlar.

Tüm sistemin havası 10^{-5} Torr basınçta deney öncesinde boşaltılıp taşıyıcı gaz Argon ile doldurulmuştur. Taşıyıcı gaz olarak asal gazlar kullanılır. Katot, incelenecek elementi içerir.



Şekil. 3.12. Letonya Üniverstiesi Laser Merkezindeki Fourier Transform Spektroskopisi Deney sistemi

Vanadyum elementinin aşırı ince yapısını incelemek için yapılan FT Spektroskopisi deneylerinde, bazı spektral bölgeler için dar bantlı filtreler kullanıldı. Bunun amacı, spektrumdaki gürültüyü azaltmaktır. Bu durumda, beklenen sinyal frekans bandı dışında diğer floresans çizgilerinden gelen gürültüler filtrelenmiş olur.

Gürültünün büyüklüğü, sinyalin frekans bant genişliğinin karekökü ile orantılıdır. Bu yüzden, gürültünün azaltılması için giriş sinyalinin dar bir frekans bandında tutularak, spektral aralık daraltılır ve spektrum diğer kısımlardaki bozucu etkilerden elenmiş olur [61].

Fourier Transform Spektroskopisinin avantajları ve dezavantajları :

- i. FT spektrumu aşırı ince yapı deney sonuçlarını matematiksel fonksiyona fit ederken ve analiz ederken elektronik olarak elverişlidir.
- ii. Çözünürlüğü yüksektir, bazı durumlarda aşırı ince yapı örnekleri tam olarak ayırmıştır.
- iii. Çok geniş bir spektral bölgeyi kapsar ve spektrumu alınan bölgede bütün çizgiler bir anda ölçülür.
- iv. FT spektrumu gözlenen çizgilerin dalga sayılarını kesin olarak belirleyebilmek için kullanılır.
- v. FT spektrumu elementlerin spektrumlarının geniş çaplı incelemelerinde son derece yararlıdır.
- vi. FT spektrumunun dezavantajı, düşük şiddete sahip çizgilerin ayrıştırılamaması ve çözünürlüğünün Laser spektroskopik yöntemlere göre daha az olmasıdır.

3.7.3. Laser Uyarılmış Floresans (LIF) Spektroskopisi

Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopisinde, atomun soğurabileceği dalgalıboylarında bir laser ışığı ile atomlar bir alt ince yapı enerji seviyesinden bir üst ince yapı enerji seviyesine uyarılır. Uyarılan bu atomlar çarpışmalarla veya farklı yollarla daha yüksek enerji seviyelerine uyarılabilirler ya da kendiliğinden emisyonla alt seviyelere inerler. Işığın kendiliğinden yayınlanması floresans sinyalinin oluşturur. Bu yüzden, floresans sinyali atomların spektroskopik incelenmesinde “laser uyarılmış” adını alır.

LIF ölçümleri, laser ışığının frekansını atomik geçişlerin rezonans frekanslarına ayarlayarak ve floresans sinyallerini yakalayarak yapılabilir. LIF, soğurma spektroskopisinin özel bir formu olan uyarma spektroskopisidir. Belli bir spektral çizginin floresans şiddeti laserin dalgalıboyunun bir fonksiyonu olarak gösterilir.

Gözlenen floresans sinyalinin şiddeti üst enerji seviyesinin ya da alt enerji seviyesinin nüfusunun değişimine bağlıdır. Sinyal gücü laserin şiddetine, incelenen atomun konsantrasyonuna ve sıcaklığa bağlıdır. LIF sinyali faz-duyarlı bir lock-in güçlendirici ile görüntülenir. Uyarma ışığı ışın kesici tarafından kesilirken, Lock-in güçlendirici referans (değişen) frekansına ayarlanır.

Taban seviyede ya da bir uyarılmış seviyede bulunan bir atom E_i uygun bir dalgalıboya sahip laser fotonunu soğurur ve bir üst enerji seviyesine E_s bir geçiş yapar. Üst enerji seviyesinin nüfusu artar ve daha sonra birçok relaksasyon örneği yoluyla düşer. Floresans sinyali bu relaksasyon örneklerinden biridir ve laser dalgalıboyunun bir fonksiyonu olarak görüntülenir. Floresans dalgalıboyları izinli dipol geçişlerine göre alt enerji seviyelerine düşüşlere bağlı olarak gözlemlenir. LIF sinyalinin gücü, üst enerji seviyesinin dallanma (yayıma) oranı ile belirlenir. Floresans çizgilerinin aşırı ince yapılarının hiçbir rolü yoktur, çünkü monokromatör dalgalıboyu seçici olarak görev yapar ve seçilen tek bir dalgalıboya ayarlanır. Monokromatör tarafından seçilen şiddetin en yüksek olduğu floresans sinyali, bu çizginin aşırı ince yapısını ayırıştırılmaz, sadece boşalım ortamında diğer çizgileri filtreler.

LIF sinyalinin sayısal analizi:

Bir $E_i \rightarrow E_s$ soğurma geçişine ayarlanan laser dalgaboyu λ_L ise, bir soğurma yol uzaklığı Δx için saniye başına soğurulan fotonların sayısı ,

$$n_a = N_i \sigma_{is} n_L \Delta x \quad (3.92)$$

ile verilir. Denklem (3.92)'de,

n_L = Gelen laser fotonlarının sayısıdır.

σ_{is} = Atomun soğurma kesit bölgesi. Soğurmanın kesit bölgesi soğurma olasılığını belirler ve soğurma katsayısına α_{is} bağlıdır. Soğurma katsayısı α_{is} :

$$\alpha_{is} = \sigma_{is} \left(N_i - N_s \frac{g_i}{g_f} \right) \quad (3.93)$$

şeklindedir.

$N_i = E_i$ enerji seviyesindeki atomların yoğunluğudur.

$N_s = E_s$ enerji seviyesindeki atomların yoğunluğudur.

Uyarılmış enerji seviyesi E_s 'den saniyede yayınlanan floresans fotonlarının sayısı,

$$n_s = N_s A_s = n_a \eta_s \quad (3.94)$$

olarak ifade edilir. Denklem (3.94)'te,

$A_s = \sum A_{sm}$ olup, uyarılmış E_s üst enerji seviyesinden farklı E_m alt enerji seviyelerine kendiliğinden geçiş olasılıklarının toplamını temsil eder.

n_a = Saniyede soğurulan fotonların sayısıdır.

η_s = Uyarılmış seviyenin kuantum verimliliğidir. Kuantum verimliliği, Denklem (3.95)'deki gibi kendiliğinden geçiş oranının, ışınımsız geçişleri de içerebilen toplam etkisizleştirme oranına bölümü ile ifade edilebilir.

$$\eta_s = \frac{A_s}{A_s + R_s} \quad (3.95)$$

$\eta_s=1$ olduğu durumda; saniyede yayınlanan floresans fotonlarının sayısı, saniyede soğurulan fotonların sayısına eşittir.

Toplam floresans şiddeti, bir $E_i \rightarrow E_s$ soğurma geçişine ayarlanan λ_L laser dalgaboyunun bir fonksiyonu olarak görüntülenir. Toplam floresans şiddeti $I_{FL}(\lambda_L)$ ile λ_L laser dalgaboyu arasındaki orantı Denklem (3.95)'de verildiği gibidir.

$$I_{FL}(\lambda_L) \propto n_L \sigma_{is} N_i \quad (3.96)$$

Bu orantı, saniyede hesaplanan foto-elektronların sayısını ($\sigma_{is} N_i$) içerir. Orantı faktörü foton çoğaltıcının katodundaki kuantum verimliliğine bağlıdır [65].

LIF yönteminin karakteristik özellikleri:

- Tüm E_s uyarılmış seviyeleri için, η_s kuantum verimliliği aynı olmalıdır. Yeterince düşük sıcaklıklarda uyarılmış seviyedeki atom, başka bir atomla çarpışmadan önce ışımaya yapar.
- Yüksek basınçlarda, E_s uyarılmış seviyeleri için, η_s kuantum verimliliği çarpışmalara bağlı olarak azalır.
- λ_L laser dalgaboyunun artmasıyla hassasiyet azalır. Kırmızı-altı bölge için elde edilebilir sinyal/gürültü oranı, görünür bölge foto-dedektörüne göre daha düşüktür.

LIF sinyalinin dedekte edilmesi ve bozulma mekanizmalarının çeşitleri:

Laser frekansı bir spektral çizginin aşırı ince yapı bileşenleri üzerinden ayarlanır ve laser ışığı ile rezonansa olan atomlar uyarılırlar. Uyarılma ile geçişteki seviyelerin nüfusları değişir. Bu değişim geçişteki alt/üst enerji seviyelerinden yayınlanan floresans çizgilerinin şiddetinde değişime yol açar. Monokromatörü ayarlayarak, floresans çizgileri seçilir. Lock-in güçlendirici iki giriş sinyaline sahiptir. Bu giriş sinyallerinden biri floresans şiddetinin, diğeri de ışın bölücüden gelen laser ışığının kesme frekansının sinyalidir. Lock-in güçlendirici yardımıyla LIF sinyalinin dedekte edilmesi gerçekleştirilir. Bu iki sinyali birleştirmenin bir avantajı, sadece laser ışığının ayarlanan frekansıyla aynı fazda olan floresans çizgileri dedekte edilir. Bir floresans çizgisinin şiddeti, bu çizginin üst enerji seviyesinin nüfus yoğunluğu ya da alt seviyenin nüfus yoğunluğu ile orantılıdır.

Şekil 3.13, farklı seviyeler arasındaki geçişlerin şemasını göstermektedir. Gözlemlenen floresans çizgileri dört grupta kategorize edilebilir.

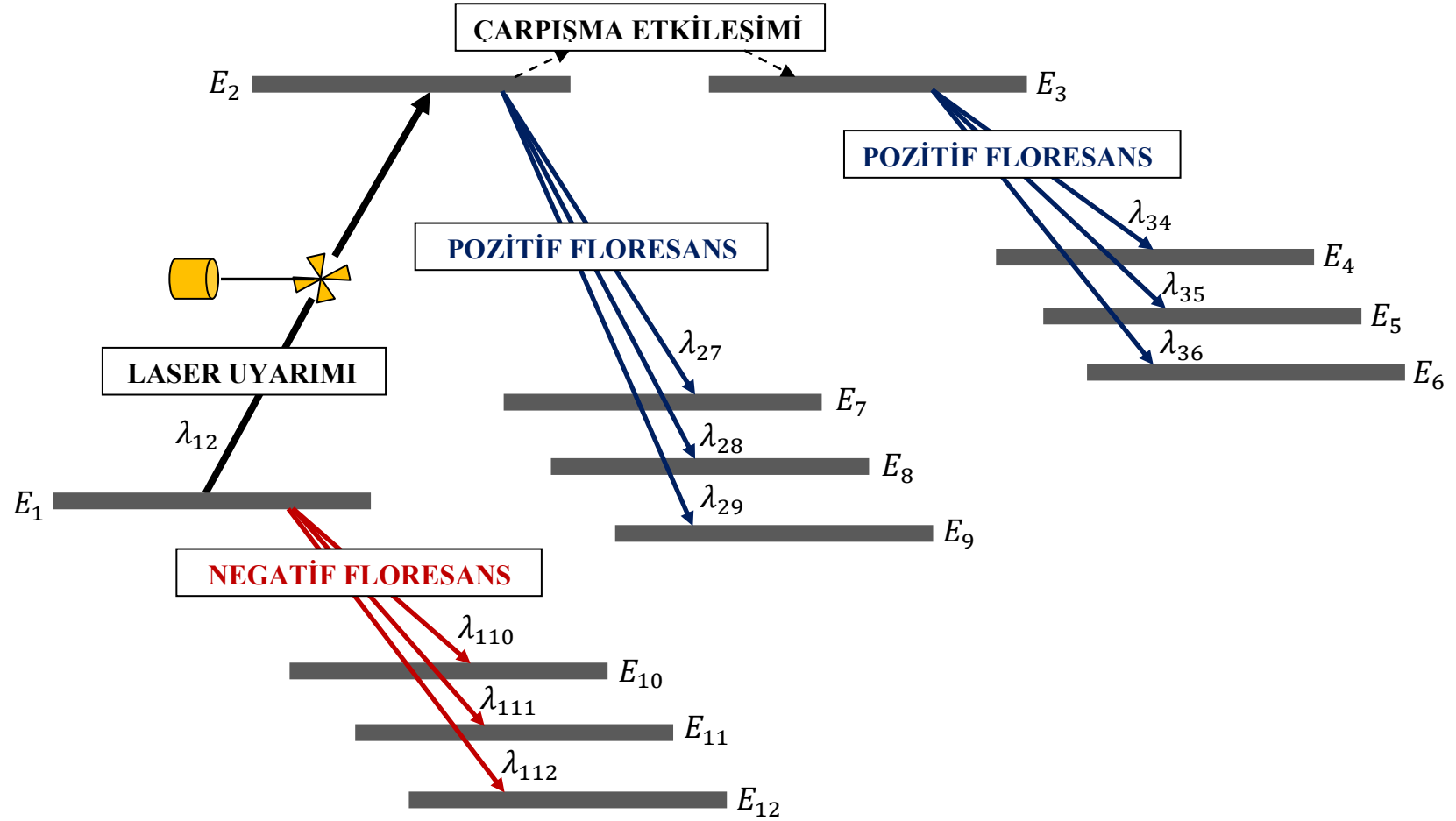
- i. *Pozitif Floresans* : Bir laser ışığı ile uyarılan atomun E_1 alt enerji seviyesinden E_2 üst enerji seviyesine geçişi sırasında, E_2 üst seviyenin nüfus yoğunluğu artar ve aynı anda E_1 alt seviyenin nüfus yoğunluğu azalır. Daha sonra atom, λ_{27} , λ_{28} ve λ_{29} dalgaboylu floresans ışıkları yayınlarken, E_7 , E_8 ve E_9 alt enerji seviyelerine geçer. Laser frekansı lock-in güçlendiricide bir referans frekansı olarak görev yapan kesme frekansının fazına ayarlanır. Eğer LIF sinyali ve referans frekansı aynı fazda ise, en yüksek LIF sinyali gözlenir. Bu durumda, laser ışığı açıkken LIF sinyalinin şiddeti arttığı için, bu çeşit floresans ışığı “pozitif floresans” olarak adlandırılır.
- ii. *Negatif Floresans* : Eğer incelenen spektral geçişin alt enerji seviyesi çok alçak seviyelere göre yüksek düzeyde ise, bu alt enerji seviyesinden floresans ışığı yayınlanarak daha alt enerji seviyelerine bozulmalar gözlenebilir. Bu gibi LIF sinyalleri lock-in güçlendiriciye gelen laser referans (kesme) frekansı ile zıt fazdadır (180° faz farkı) ve “negatif floresans” olarak adlandırılır. Şekil 3.13’de E_1 alt enerji seviyesinde bulunan atomların bazıları λ_{110} , λ_{111} ve λ_{112} dalgaboylu

floresans ışıkları yayınlayarak, E_{10} , E_{11} ve E_{12} alt enerji seviyelerine geçer. Bu durumda laser ışığı açıkken E_1 alt enerji seviyesinin nüfus yoğunluğu azalır. LIF sinyalinin şiddeti azalır ve bir pozitif floresansla karşılaştırıldığında lock-in güçlendiricide gözlenen sinyalde 180° faz kayması oluşur. Negatif floresanslar bir uyarılma geçişinin alt enerji seviyesini tanımlamada yararlıdır.

iii. *Çarpışma Etkileşimi* : Eğer incelenen spektral geçişin üst ya da alt enerji seviyeleri, laser ışığıyla nüfusu arttırılan ya da azaltılan farklı diğer enerji seviyelerine çok yakınsa, bu durumda çarpışma etkileşimi olma olasılığı yüksektir. Çarpışma etkileşimi olduğu durumlarda, Şekil 3.13'deki E_2 uyarılmış seviyesindeki atom enerjisini, yakın olan E_3 enerji seviyesindeki bir diğer atoma aktarır. , λ_{34} , λ_{35} ve λ_{36} dalgaboylu floresans ışıkları yayınlayarak, E_4 , E_5 ve E_6 alt enerji seviyelerine geçer. Bu çeşit floresans “pozitif floresans” olarak adlandırılır.

LIF spektroskopisinin avantajları :

- i. *Karışmış Çizgiler* : Yüksek enerji seviyesi yoğunluğu olan bazı elementlerde, laserin tek bir dalgaboyu için birden fazla enerji seviyesi aynı anda kendiliğinden uyarılır. Bu seviyelerin tümü floresans yayınlar. Bu durumda gözlenen spektrum örnekleri karışmış bir yapı gösterir. LIF spektroskopisi ile karışmış çizgileri birbirlerinden ayrı olarak gözlemleyebiliriz. Bu çizgilere karşılık gelen floresanslar aranarak, her bir çizginin aşırı ince yapısı ayrı ayrı incelenebilir. Bu çizgilerin aşırı ince yapı örnekleri birbirlerinden farklıdır.
- ii. *Serbest Atomların LIF Sinyali* : Silindir katot boşalımında, serbest atomları üretmek serbest iyonları üretmekten daha kolaydır. Bu nedenle, atomik bir çizginin LIF sinyali iyonik bir çizgiden daha güçlüdür.
- iii. *Yüksek Laser Şiddeti* : yüksek şiddetli laserlerin kullanımı ile, uyarılmış enerji seviyelerinde geniş nüfus yoğunluğu elde edebilmek mümkündür.
- iv. LIF yöntemi ile atomların bilinmeyen enerji seviyeleri bulunabilir [61].



Şekil 3.13: Bir spektral geçişin laser ışığı uyarımı ile, alt ve üst enerji seviyelerinden gözlenebilecek mümkün pozitif ve negatif floresanslar.

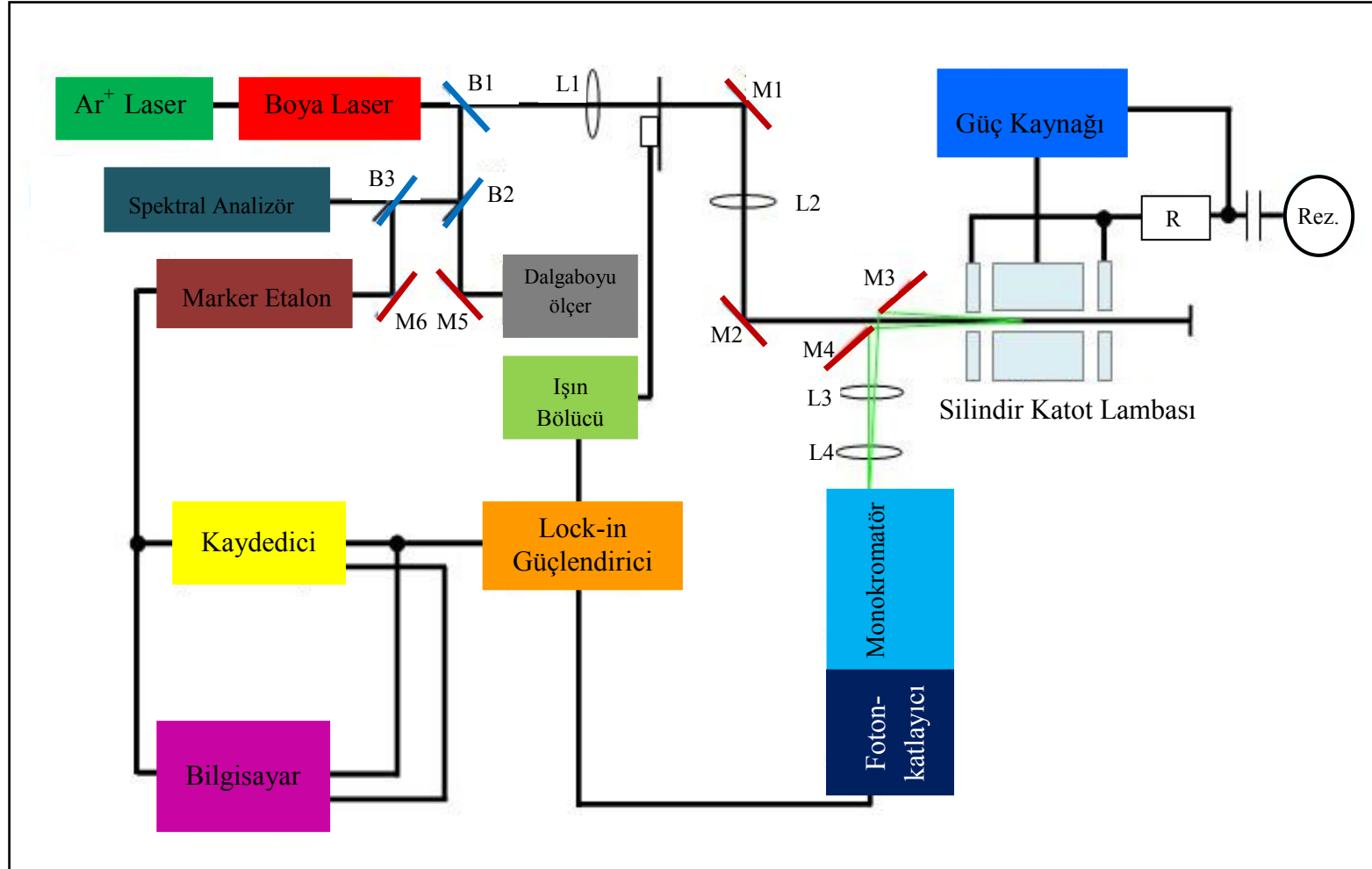
3.7.3.1. Laser Uyarılmış Floresans (LIF) Spektroskopisi Deney Düzeneği

Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopisi deney düzeneği Şekil 3.14'te gösterilmiştir. Bu düzenek üç bölüme ayrılabilir:

- i. Optik pompalama (uyarma) kaynağı,
- ii. İncelenen atomu içeren silindir katot boşalım lambası
- iii. Atomdan yayınlanan floresans ışığını dedekte eden sistem.

Bu çalışmada, Lantan elementinin aşırı ince yapısının LIF yöntemi ile incelenmesinde uyarma kaynağı olarak, Argon-iyon, Kripton-iyon ve bazı spektrumlarda Verdi laser sistemiyle pompalanan tek modlu taranabilir sürekli ışık veren boya laser kullanılmıştır. LIF spektroskopisi deney sisteminde ışık kaynağı olarak La elementini içeren silindir katot boşalım lambası (Bkz. 3.7.1) kullanıldı. Uyarılmış atomların yayınladığı floresans ışığı monokromatörden geçtikten sonra foton katlayıcıdan dedekte edildi.

Pompalama kaynağı olarak kullanılan Argon-iyon laser gibi soygaz iyon laserler, atomların ilk iyonizasyonları için yüksek enerji gerektirdiğinden çok verimli değildirler. Argon-iyon laserinin aktif ortamında iyonize olmuş argon kullanılır. Argon-iyon laseri, bir kez iyonlaşmış argon gazının farklı enerji seviyeleri arasındaki geçişlere karşılık gelen dalgaboylarında kendiliğinden ışık yayımlayabilir, fakat en güçlü yayınlanan ışığın dalgaboyları 488 nm ve 514.5 nm 'dir. Argon iyonunun en alt enerji seviyesi, nötr argon atomunun taban seviyesinin üzerinde 16 eV civarındaki taban seviyesidir. Ek olarak, üst enerji seviyeleri değerleri 20 eV 'un üzerindedir. Laser olayı için, nötr argon atomuna iyonize olması için ve üst seviyelere çıkabilmesi için önemli ölçüde yüksek enerji sağlanmalıdır. Kripton-iyon laseri, $476 \text{ nm} - 800 \text{ nm}$ aralığında ışık üretir, en güçlü yayınlanan ışığın dalgaboyu 647.1 nm 'dir. Verdi laser, 532 nm 'de tek frekanslı ışık üretir. Kullanılan pompa laserler ve dalgaboyları aşağıda verildi.



Şekil 3.14 : Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopisi deney düzeneği.

Pompalama Laser	Pompalama Bölgesi
Argon-iyon (Ar^+)	Görünür Bölge – Mor üstü (UV) Bölge- 532 <i>nm</i>
Kr-iyon (Kr^+)	Mor üstü (UV) Bölge
Verdi (V-18)	532 <i>nm</i>

Boya laser sistemini pompalamak için kullanılan pompalama laserinin gücü lasein cinsine göre 4 – 7.5 *W* aralığındadır.

Deney sırasında incelenen spektrum bölgelerine bağlı olarak aşağıda verilen farklı boyalar, boya laser sisteminde laserin aktif ortamı olarak kullanıldı:

Laser Boyaları	Spektral Bölge /nm
Stilbene 3	430 - 445
Rhodamine 6G	560 - 605
Sulforhodamine B (Kiton Red)	598 - 650
DCM	630 - 690
LD700	700 - 742

Boya laser sistemi açık bir sistemdir. Boya laserin çıkış gücü farklı spektral dalgaboyu aralıklarında değişiklik gösterebilir, bu yüzden maksimum çıkış gücü elde edebilmek için boya laser sisteminde güç ölçerler yardımıyla optik ayarlar yapıldı. Örnek olarak, Kiton –Red boyası kullanılarak ortalama 300 *mW*, Rhodamine 6G boyası kullanılarak ortalama 450 *mW* çıkış gücü elde edildi.

Boya laser içerisinde gerçekleşen laser olayı, kullanılan boyanın çeşidine bağlı olarak belirli bir dalgaboyu aralığına sahip laser ışığı üretir. Boya laserin spektral aralığı içinde sabit (kararlı) tek modlu bir laser ışığı elde etmek için, boya laser kavitesi içerisindeki çeşitli elemanlar eş zamanlı olarak ayarlanırlar. Sistemde frekans stabilizasyonu (kararlılığı), laser dalgaboyunu çok kararlı dış bir referans kavitesine bağlayarak elde edilir.

LIF deney düzeneğinde, laser ışığı B1 ışın bölücü ile ikiye ayrılır. Bir kısmı frekansı 45 Hz olan ışın kesiciden geçerek M1 ve M2 aynalarından yansıtılarak, katoda L1 ve L2 lensleri yardımıyla içinde incelenecek elementinin bulunduğu silindire odaklanır. İncelenen elementin atomları üst enerji seviyelerine uyarılır. B2 ışın bölücüye gelen laser ışığının bir kısmı M5 aynası ile laserin dalgaboyunun ölçüldüğü dalgaboyu ölçere gider. 0.001 nm okuma kesinliğine sahip dalgaboyu ölçer uyarma ışığının dalgaboyunu kesin olarak ayarlayabilmek için kullanılır.

Laser ışığının diğer kısmı, B3 ışın bölücü ile spektrum analizöre gider. Spektrum analizör, deneyler sırasında laser ışığı taranırken laserin sürekli olarak sabit güçte çalışmasının kontrol edilmesini sağlar. İncelenen bir spektral çizginin dalgaboyu ayarlanırken, boya laser sisteminde optik ayarlar yapılarak, çıkış gücünün maksimum olması sağlanır ve laser gücünün sürekli sabitliği kontrol edilir.

Silindir katottan çıkan floresans ışığı M4 aynası ile yansıtılarak L3 ve L4 lensleriyle monokromatörün giriş aralığına odaklanır. Kullanılan monokromatör bir 1200 çizgi/mm'ye sahip Jobin Yvon HR 640 grating monokromatördür. Tarama dalgaboyu aralığı 2000 – 8000 Å olup, dedekte edilen floresans sinyalinin dalgaboyunu okuma hassasiyeti ± 0.2 nm'lik belirsizliğe sahiptir. Monokromatörün çıkış kısmında bir foton katlayıcı bulunmaktadır. Silindir katot boşalım lambasından yayınlanan floresans sinyali foton katlayıcı (Hamamatsu R955) tarafından dedekte edilir ve lock-in güçlendiriciye gönderilir. Lock-in güçlendirici ışın bölücüden geçen sinyal yoluyla laser kesme frekansına ayarlanır ve sadece referans frekansındaki AC sinyalini güçlendirir. Monokromatör tarandıktan sonra uyarılan spektral geçişe ait sinyaller lock-in güçlendiricide pozitif olursa geçişin üst enerji seviyesine ait bir floresans olduğu, negatif olursa geçişin alt enerji seviyesine ait floresans olduğu anlaşılır.

Laser ışığının çok küçük bir kısmı, bir sıcaklık kontrollü Fabry-Perot interferometresi olan marker etalon içerisine gönderilir. Spektrumların şiddeti data sayısına bağlıdır ancak Fabry-Perot interferometresinde spektrum lineerize edilerek, şiddet frekansa bağlı olarak elde edilir. İnterferometreden çıkan ışının şiddetinde oluşacak değişimler laser frekansının değişiminden kaynaklanacağından, deneyler sırasında laserin frekansı

taranırken, frekans atlamalarını kontrol etmek için Fabry-Perot interferometresinin spektrumu incelenir.

Kaydedilen iki spektrumdan biri aşırı ince yapı sinyali, diğeri ise interferometrenin spektrum sinyali ile eş zamanlı frekansları veren girişim maksimumlarının spektrumudur. Fabry-Perot interferometresi çıkışındaki frekans maksimumları arasındaki fark interferometrenin serbest spektral bölgesi (FSR) olarak adlandırılır. Fabry-Perot interferometresinin serbest spektral bölgesi $\Delta\lambda$ ve maksimumların yarı genişliği $\delta\lambda$, Şekil 3.15'te gösterilmiştir. Bir Fabry-Perot interferometresinin serbest spektral bölgesi $\Delta\lambda$,

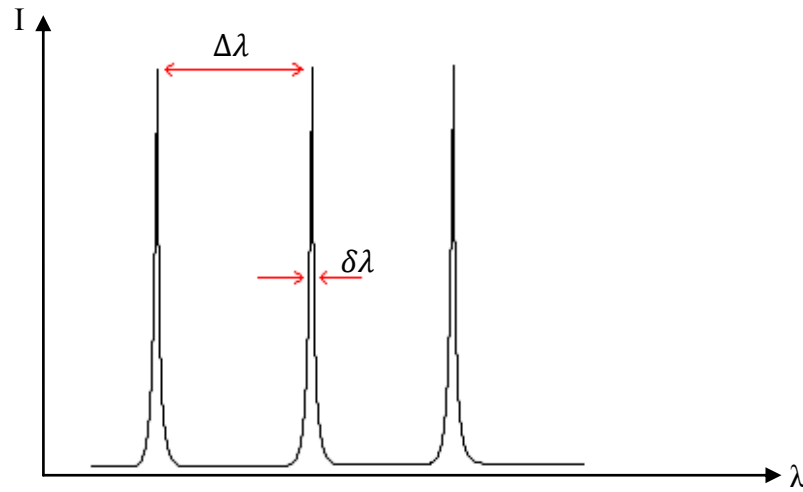
$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2nd} \quad (3.97)$$

olarak verilebilir.

λ : Spektral çizginin ağırlık merkezinin dalgaboyu,

n : İnterferometre ortamının kırılma indisi,

d : İnterferometrenin kalınlığıdır [67].



Şekil 3.15: Fabry-Perot interferometresinin serbest spektral bölge aralığı ve spektral çizgi genişliği.

Bu çalışmadaki deneylerde ölçülen farklı elektromanyetik bölgeler için kullanılan farklı Fabry-Perot interferometrelerinin serbest spektral bölgeleri aşağıda verilmiştir:

Fabry-Perot İnterferometresi	Serbest Spektral Bölgesi / MHz
Mavi Bölge (450 nm - 490 nm)	149.6
Kırmızı Bölge (630 nm - 760 nm)	197.6009 (3)
Sarı Bölge (560 nm - 590 nm)	367.33 (5)

Floresans sinyali ile marker sinyali birlikte eş zamanlı olarak kaydedilir ve incelenen çizginin spektrumu elde edilir. Daha sonraki adımda, deney datalarının Fabry-Perot interferometresinden gelen frekans maksimumları ile lineerize edilmesi gerekir.

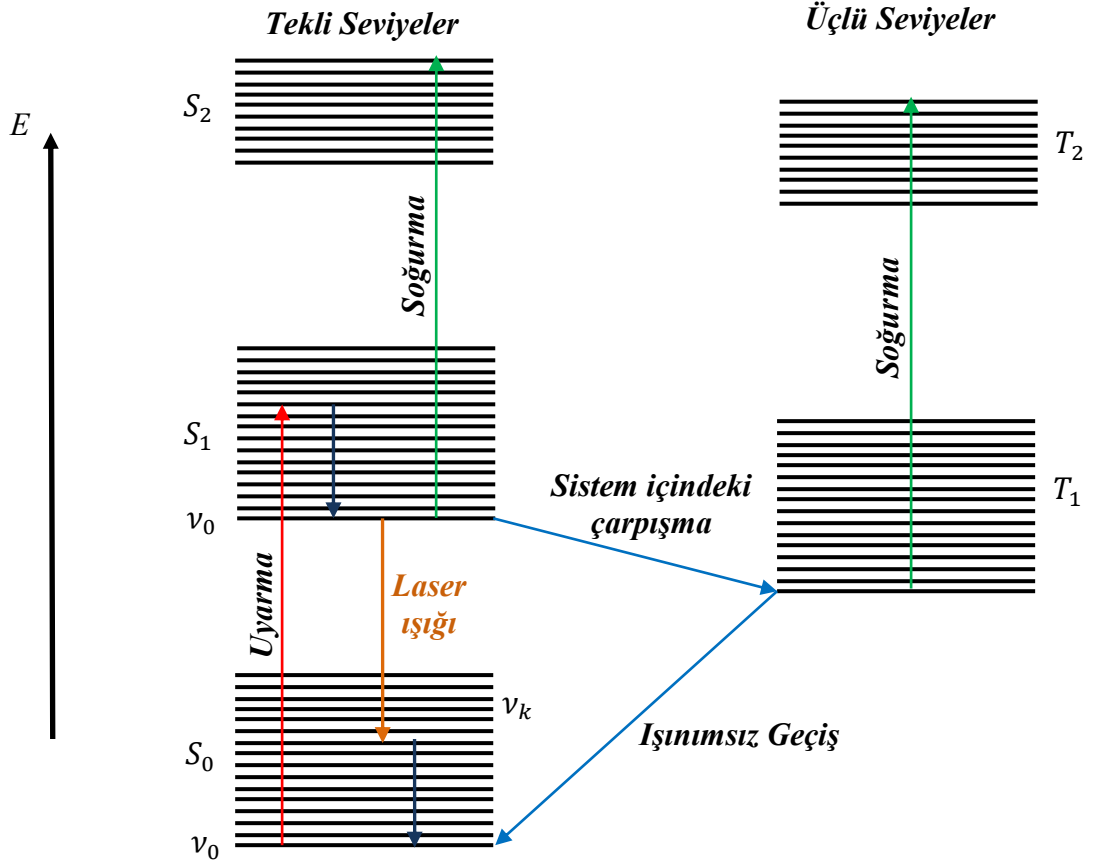
3.7.3.2. Boya Laser

Boya laserler, çok geniş bir frekans aralığında sürekli taranabilen tek modlu ışık veren laserlerdir.

Boya laserlerin aktif ortamları sıvı çözeltilerde çözünmeyen organik boyalardır ve güçlü geniş bant floresans spektrumu verirler. Bu moleküllerin tekli elektronik taban enerji seviyesi (S_0) ve tekli (S_i) veya üçlü (T_i) elektronik uyarılmış enerji seviyeleri çok sayıda dönü-titreşim seviyelerine sahiptir. Şekil 3.16, bir organik boya molekülünün enerji seviyelerini göstermektedir.

Boya laser ortamına pompa laser ışığı gönderilerek, boya molekülleri S_0 tekli elektronik taban enerji seviyesinin dönü-titreşim enerji seviyelerinden S_1 elektronik uyarılmış enerji seviyesinin dönü-titreşim enerji seviyelerine pompalanırlar. Boya laser ortamında sıvı çözücü molekülleri ile boya molekülleri arasındaki çarpışmalar sonucu S_1 uyarılmış seviyesindeki molekül çok kısa bir zaman içinde ($\approx 10^{-11} - 10^{-12}$ s) hızlı bir ışınımsız geçiş yaparak, S_1 elektronik uyarılmış enerji seviyesinin en düşük dönü-titreşim enerji seviyesine iner. Bu seviye S_0 taban seviyesinin farklı dönü-titreşim seviyelerine kendiliğinden yayınlanma ile boşalır ya da ışınımsız geçiş ile T_1 üçlü elektronik alt enerji seviyesine geçer. S_0 taban seviyesine geçiş laserin frekansını

belirler. Boya molekülleri ile çözücü molekülleri arasındaki güçlü etkileşime bağlı olarak, boya moleküllerin floresans spektrumu süreklidir.

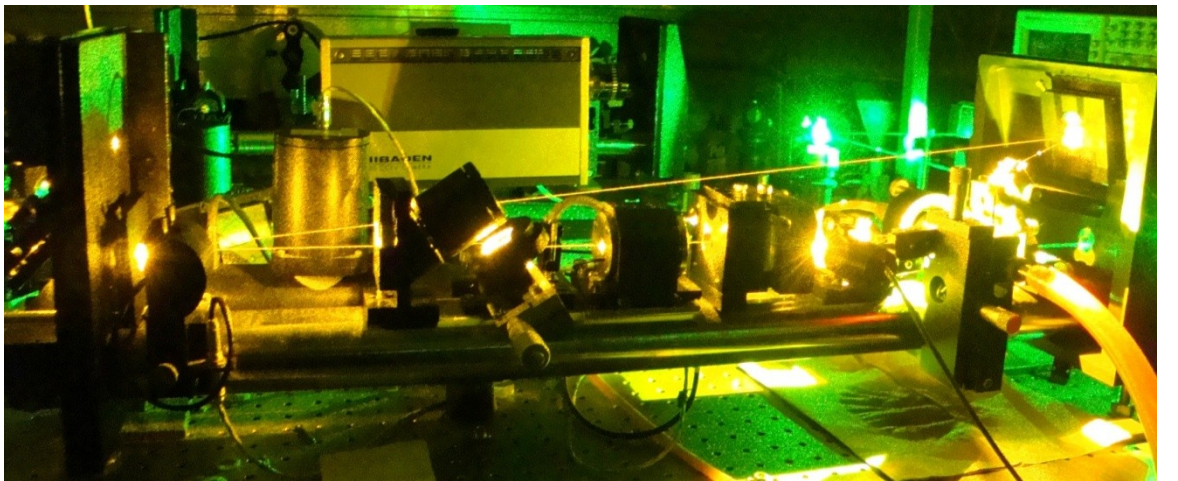
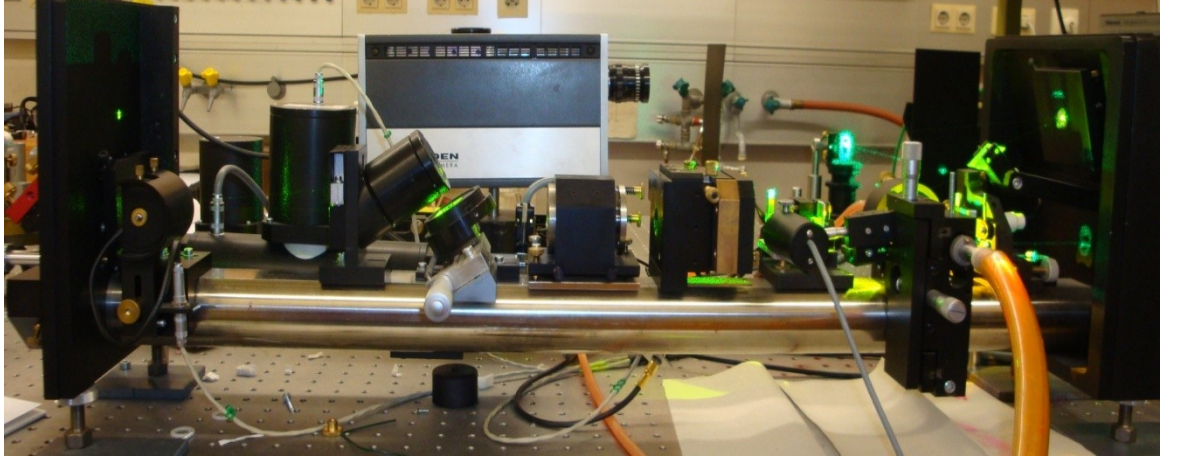


Şekil 3.16: Organik boya molekülünün enerji seviye diyagramı.

Yüksek bir pompa laser şiddeti, S_1 elektronik uyarılmış enerji seviyesinin ν_0 dönü-titreşim enerji seviyesi ile S_0 taban enerji seviyesinin ν_k dönü-titreşim seviyesi arasında bir nüfus terslenmesi oluşumunu sağlar. $\nu_0(S_1) \rightarrow \nu_k(S_0)$ geçişindeki kazanç kayıpları geçtiği anda, laser osilasyonu başlar. Kendiliğinden yayınlanma yoluyla dolan $\nu_k(S_0)$ alt enerji seviyesi çözücü molekülleri ile çarpışmalar yaparak, S_0 taban seviyesinin ν_0 en düşük titreşim seviyesine hızla boşalır. S_0 ile S_1 enerji seviyeleri arasındaki nüfus terslenmesi, S_1 'den uzun yaşam ömrüne sahip T_1 seviyesine hızlı ışınımsız geçişler yoluyla azalabilir veya T_1 üçlü alt seviyesinden üçlü üst enerji seviyelerine geçişler gerçekleşebilir. Bu, laser oluşumunda kayıplardan biridir. Bunu en aza indirmek ve laser ışınımının sürekli olmasını sağlayabilmek için, T_1 seviyesindeki moleküller T_1 'in

yaşam ömründen daha kısa bir zamanda laser aktif ortamından ayrılmalıdırlar. Bunu oluşturmanın bir yolu, boya çözeltisinin düz bir akış formunda olmasını sağlamaktır [66].

Bu çalışmada, Graz Teknik Üniversitesi, Deneysel Fizik Enstitüsü, Laser Spektroskopisi Laboratuvarında yapılan LIF deney düzeneğinde Şekil 3.17’de gösterilen Boya laser sistemi kullanılmıştır.



Şekil 3.17: Graz Teknik Üniversitesin Laser Spektroskopisi Laboratuvarında bulunan LIF deney düzeneğinde kullanılan boya laser sistemi.

3.7.4. Optogalvanik Spektroskopisi (OGS)

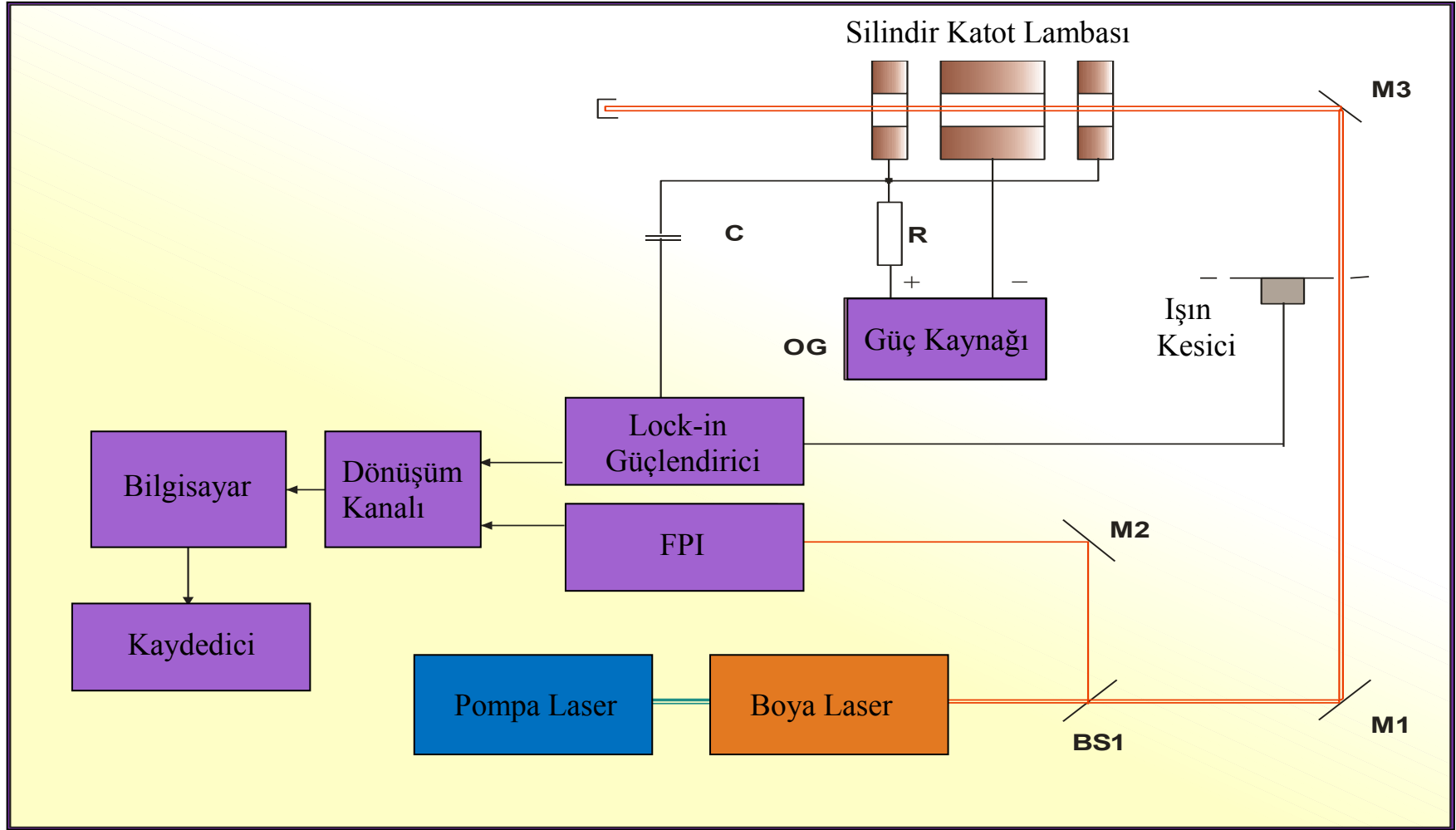
Optogalvanik Spektroskopisi lazer ışığının kararlı bir gaz boşalım ortamına gönderilmesi yoluyla, boşalım lambasından yayınlanan spektral geçişlerin alt ve üst enerji seviyelerinin nüfus yoğunluklarının (doluluk oranlarının) değişimi ile ortamın elektriksel özelliklerindeki değişimi inceler. OGS, bu esastan yararlanan basit bir lazer spektroskopisi tekniğidir. İlk defa 1928 yılında Penning tarafından optogalvanik etki incelenmiştir ve lazer ışık uyarımının boşalım ortamının elektriksel özelliklerine göre değişimini gözlemlemiştir.

Optogalvanik Spektroskopisinin standart deney düzeneği şeması Şekil 3.18'de gösterilmiştir. Kararlı bir gaz boşalım ortamı olduğu sürece sistemdeki atomların uyarma işlemi gerçekleşir ve iyonizasyon olasılığı büyük olan seviyelere uyarılabilirler, dolayısıyla akım artar. Optogalvanik Spektroskopisi yöntemiyle yapılan deneylerde gaz boşalım ortamı olarak silindirik katot (Bkz. 3.7.1) kullanılmıştır ve lazer ışığının dalga boyu iki enerji seviyeleri $E_i \rightarrow E_s$ arasındaki rezonans geçişine ayarlanır, ışın bölücüler ve aynalar yardımıyla silindirik katot içine gönderilir. Farklı enerji seviyelerindeki atomların iyonizasyon olasılıkları da farklı olduğundan, nüfus yoğunluklarında değişim oluşur. Bu değişim boşalım ortamının elektriksel özelliklerinin değişimine yol açar. Bir gaz boşalım ortamından yayınlanan optogalvanik sinyal lock-in güçlendirici ile dedekte edilir.

Ortamdaki potansiyel farkı ΔV ;

$$\Delta V = R \cdot \Delta I \quad (3.98)$$

olduğuna göre, ΔV değişim gösterdikçe boşalım akımı ΔI değişecektir. Nüfus değişimi ile birlikte ΔI kadar bir akım değişimi dedekte edilir. Lock-in güçlendirici yardımıyla AC sinyal voltajı elde edilir. Lock-in güçlendiricinin girişine C kapasitörü yardımıyla elektrotların birini bağlayarak dedekte edilebilen boşalım voltajı periyodik olarak değişir ve $E_i \rightarrow E_s$ arasındaki lazer uyarılmış geçişindeki alt ve üst enerji seviyelerine bağlı olarak sistemde pozitif ve negatif sinyaller gözlenir.



Şekil 3.18: Optoalvanik Spektroskopisi standart deney düzeneği şeması.

Aşağıdaki gibi farklı iyonizasyon olayları sonucunda optogalvanik sinyal gözlenebilir:

i. Elektron çarpmalarıyla oluşan direk iyonizasyon,



Elektron çarpmalarıyla oluşan iki ya da çok adımlı iyonizasyon,



ii. Taban enerji seviyesinde bulunan bir atomla uyarılmış seviyede bulunan bir atom arasındaki çarpışma sonucu oluşan iyonizasyon,



iii. Farklı yarı kararlı enerji seviyesindeki atomlar arasındaki çarpışma sonucu oluşan iyonizasyon,



iv. Boşalım ortamında farklı türden atomlar arası çarpışmalar sonucu oluşan iyonizasyon,



A : Taban enerji seviyesindeki atom,

A^* : Yarı kararlı enerji seviyesindeki atom,

A^+ : Bir kez iyonlaşmış atom,

A_2^+ : Bir kez iyonlaşmış molekül,

ΔE : Geçiş enerjisidir.

Optogalvanik Spektroskopisinin avantajları ve dezavantajları :

- İncelenen spektral geçişin spektrumunu elde etmek için, bir monokromatöre ve foton katlayıcıya (dedektör) gibi optik dedeksiyona ihtiyaç duymayan deneysel düzeneği çok basit olan bir tekniktir. Sistemde kullanılan boşalım lambası kendi başına bir dedektördür.
- Deneysel sadece uyarılma dalga boyunu bilmek yeterlidir, floresans sinyalini görüntülemeye gerek yoktur.
- Optogalvanik Spektroskopinin bir dezavantajı, boşalım lambası çoğu zaman kararsız olabilir. Kaydedilen elektrik sinyalinin gücü düşük olduğu için, iyi bir sinyal/gürültü oranında optogalvanik sinyali kaydedilmek için boşalım çok kararlı ışık yaymalıdır.

Optogalvanik Spektroskopi, tanımlanmış ve tanımlanmamış spektral çizgileri uyararak aşırı ince yapıları incelemek ve manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A ve elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B 'leri belirlemek için, gaz boşalımında çarpışma ve iyonizasyon olasılıklarını incelemek için, laser spektroskopisinde dalga boyu kalibrasyonunu yapmak için, laser frekans kararlılığını sağlamak için kullanılabilir [69].

3.8. SPEKTRAL DATA ANALİZ PROGRAMLARI

Bu çalışmada, Lantan ve Vanadyum elementi ile yapılan deneylerden elde edilen çizgi spektrumlarının şiddet dağılımları, Voigt profili ve Gauss profili kullanılarak fit edilmiştir.

Lantan elementinin, LIF ve FT Spektroskopisi yöntemleriyle yapılan deneylerin analizinde,

- Atomik dalgaboyu tablolarında [10,11,12,13,14] yer almayan spektral çizgilerin sınıflandırılmasında,
- Bu çizgilerin alt ve üst enerji seviyeleri belirlenmesinde,
- Bazı yeni spektral çizgilerin bilinmeyen üst enerji seviyelerini bulunmasında

Klasifikasyon [70] programı ile kullanıldı.

Lantan elementinin Fourier Transform Spektroskopisi, Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopisi ve Optogalvanik Spektroskopisi yöntemleriyle ve Vanadyum elementinin Fourier Transform Spektroskopisi yöntemiyle elde edilen aşırı ince yapı spektrumlarının spektral şiddet dağılımı hesaplamalarını yapmak için Hamburg Askeri Üniversitesi, Almanya'da geliştirilen Fitter [8] programı kullanıldı. Bu program yardımıyla, her iki elemente ait elde edilen tüm deneysel spektrumlar uygun matematiksel bir dağılım fonksiyonuna fit edildi ve spektral geçişlerin alt ve üst enerji seviyelerinin manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A değerleri belirlendi.

3.8.1. Klasifikasyon Programı

Klasifikasyon [70] programı Prof. Dr. Laurentius Windholz (Avusturya Graz Teknik Üniversitesi, Deneysel Fizik Enstitüsü) tarafından yazılmıştır.

Klasifikasyon [70] programının çalışabilmesi için, bazı giriş dosyaları oluşturmak gerekir. “wx” dosyası incelenen x elementin literatürde bilinen ve/veya bilinmeyen tüm spektral çizgilerin dalgaboyu tablosunu içerir. “Level_x” ve “Lev_xii” dosyaları sırasıyla incelenen x elementinin literatürde bilinen nötr ve iyonize tüm enerji seviyelerinin bulunduğu dosyadır. Bu dosyaya enerji seviyelerine ait J kuantum sayıları, pariteleri, eğer biliniyorsa A ve B aşırı ince yapı sabitleri yazılır.

Bu çalışmada, Lantan elementine ait spektral çizgileri tanımlamak için Klasifikasyon programı kullanıldı. La I elementine ait tüm enerji seviyeleri ve bu seviyelere ait fiziksel parametrelerin bulunduğu Level_La adlı dosyanın bir kesiti Şekil 3.19’da gösterilmiştir. La II elementine ait tüm enerji seviyeleri ve bu seviyelere ait fiziksel parametrelerin bulunduğu Level_Laii adlı dosyanın bir kesiti de Şekil 3.20’de gösterilmiştir. Şekil 3.19 ve Şekil 3.20’de ilk kolonda La I elementinin enerji seviyelerinin J toplam açısal momentum değerleri, 2. kolonda pariteleri, 3. kolonda enerji değerleri cm^{-1} cinsinden, 4. kolonda bu enerji seviyelerine ait literatürden bilinen A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti değerleri standart sapmalarıyla birlikte MHz cinsinden, 5. kolonda bu enerji seviyelerine ait literatürden bilinen B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti değerleri standart sapmalarıyla birlikte MHz cinsinden, 6. kolonda referans bilgileri yer almaktadır.

Level_la.dat											
1.5	,	e	,	0	,	141.1959(16)	,	44.781(14)	,	MZH78 NIST	A/B aus TY57
2.5	,	e	,	1053.164(3)	,	182.1706(6)	,	54.213(14)	,	MZH78 NIST	A/B aus TY57
1.5	,	e	,	2668.188	,	-480.312(2)	,	15.082(17)	,	MZH78 NIST	A/B aus CG71
2.5	,	e	,	3010.002	,	300.563(1)	,	10.873(25)	,	MZH78 NIST	A/B aus CG71
3.5	,	e	,	3494.526	,	462.868(1)	,	17.925(24)	,	MZH78 NIST	A/B aus CG71
4.5	,	e	,	4121.572	,	489.534(1)	,	32.180(34)	,	MZH78 NIST	A/B aus CG71
2.5	,	e	,	7011.909	,	304.372	,	28.091	,	MZH78	A/B aus CG71
3.5	,	e	,	8052.162	,	-197.066(6)	,	40.677(123)	,	MZH78 NIST	A/B aus CG71
0.5	,	e	,	7231.407	,	2460.16	,	0.00	,	MZH78	A/B from FSD07
1.5	,	e	,	7490.521	,	929.62	,	34.72	,	MZH78	A/B From FSD07
2.5	,	e	,	7679.939	,	802.172	,	-34.186	,	MZH78	A/B aus CN88
1.5	,	e	,	8446.039	,	-422.40	,	-6.01	,	MZH78	A/B from FSD07

Şekil 3.19: Klasifikasyon [70] programının giriş dosyası örneği, La I elementinin Level_La giriş dosyası.

Lev_laii.dat											
2	,	e	,	0	,	397.6(0.2)	,	19.8(1.8)	,	MZH78	A/B from HHW82
2	,	e	,	0	,	407.94	,	0.0	,	MZH78	A/B from NYMR09
3	,	e	,	1016.10	,	101.4(0.2)	,	25.7(3.3)	,	MZH78	A/B from HHW82
3	,	e	,	1016.10	,	107.03	,	-64.09	,	MZH78	A/B from NYMR09
4	,	e	,	1970.70	,	-18.6(0.1)	,	37.5(3.0)	,	MZH78	A/B from HHW82
4	,	e	,	1970.70	,	27.30	,	0.0	,	MZH78	A/B from NYMR09
2	,	e	,	1394.46	,	949.5(1.6)	,	49.8(12.6)	,	MZH78	A/B from HHW82
2	,	e	,	1394.46	,	943.56	,	47.02	,	MZH78	A/B from NYMR09
1	,	e	,	1895.15	,	-1128.1(0.9)	,	49.8(6.5)	,	MZH78	A/B from HHW82
1	,	e	,	1895.15	,	-1115.93	,	30.01	,	MZH78	A/B from NYMR09
2	,	e	,	2591.60	,	8.7(3.0)	,	56.7(6.5)	,	MZH78	A/B from HHW82
3	,	e	,	3250.35	,	1067.0(0.4)	,	60.3(9.3)	,	MZH78	A/B from HHW82
3	,	e	,	3250.35	,	1060.33	,	127.46	,	MZH78	A/B from NYMR09
0	,	e	,	5249.70	,	0.00	,	0.00	,	MZH78	A/B from NYMR09

Şekil 3.20 : Klasifikasyon [70] programının giriş dosyası örneği, iyonize olmuş La elementinin Level_Laii giriş dosyası.

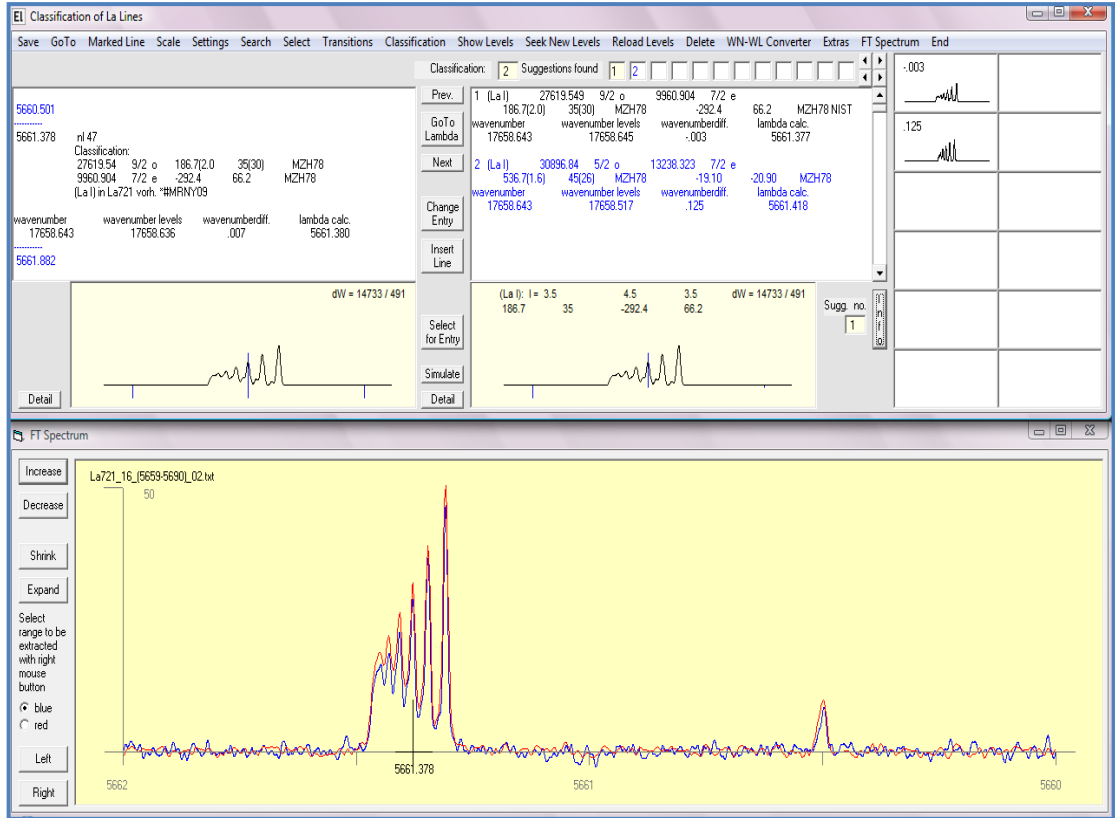
Nötr ve iyonize Lantan elementine ait literatürden bilinen tüm spektral çizgilerin dalgaboyları, ölçtüğümüz FT spektrumunda gözlenen fakat daha önceden bilinmeyen spektral çizgilerin tanımlandığı wLa adlı dosyanın bir kesiti de Şekil 3.21'de gösterilmiştir. Şekil 3.21'de ilk kolonda spektral geçişin dalgaboyu Å cinsinden, 2. kolonda spektral çizginin FT spektrumunda gözlenen sinyal/gürültü oranı (SNR), 3., 4. ve 5. kolonlarda spektral çizginin eğer varsa literatürden bilinen şiddet değerleri görülmektedir. diğer kolonlarda sırasıyla spektral geçişe ait üst enerji seviyesine ait enerji değeri cm^{-1} cinsinden, J değerleri, pariteleri, bu enerji seviyelerine ait literatürden bilinen A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti değerleri standart sapmalarıyla birlikte MHz cinsinden, literatürden bilinen B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti değerleri standart sapmalarıyla birlikte MHz cinsinden ve referans bilgileri yer almaktadır.

Programın esas amacı, incelenen elemente ait yeni spektral çizgilerinin tanımlanması ve spektral geçişlerin yeni alt ve/veya üst ince yapı enerji seviyelerinin bulunmasıdır. Bu çalışmada, Klasifikasyon [70] programı her iki amaç için de kullanılmıştır.

Bu program Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopisi yöntemiyle elde edilen deneysel spektrumların tanımlanmasında kullanılmıştır. Programın menüsü Şekil 3.22'de görülmektedir.

wla.dat														
5690.746	, nl 40													
5691.657	, nl 6													
5691.9	, nl 2													
5695.485	, nl 6													
5695.486	, nl 5													
5695.871	, nl 2													
5696.178	, 2957	B50		7										
5696.386	, nl 8													
5698.600	, nl 4													
5699.370	, 165			1.0										
5700.218	, nl 68													
5701.025	, nl 11													
5701.139	, nl 26													
5702.538	, nl 46													
5703.196	, nl 192													
5703.321	, 16			3.5										
5710.799	, 26			0.8										
5711.5	, nl 2													
5712.406	, 38			5										
5713.079	, nl 4													
5714.017	, 195			3.0										
5714.527	, 32			1.0										
5720.009				3.5										
5721.134	, nl 2													
5725.078	, nl 3													
5727.091	, nl 4													
5727.284	, 17			2.0										
5729.183	, nl 6													
5730.7	, nl 4													
5730.7	, nl 2													
5731.5	, nl 4													
5731.5	, nl 2													

Şekil 3.21: Klasifikasyon [70] programında, La elementinin dalgaboyu giriş dosyasının (wLa) bir kesiti.



Şekil 3.22: 566.1378 nm dalgaboylu spektral geçiş için Klasifikasyon [70] programının ana menüsü.

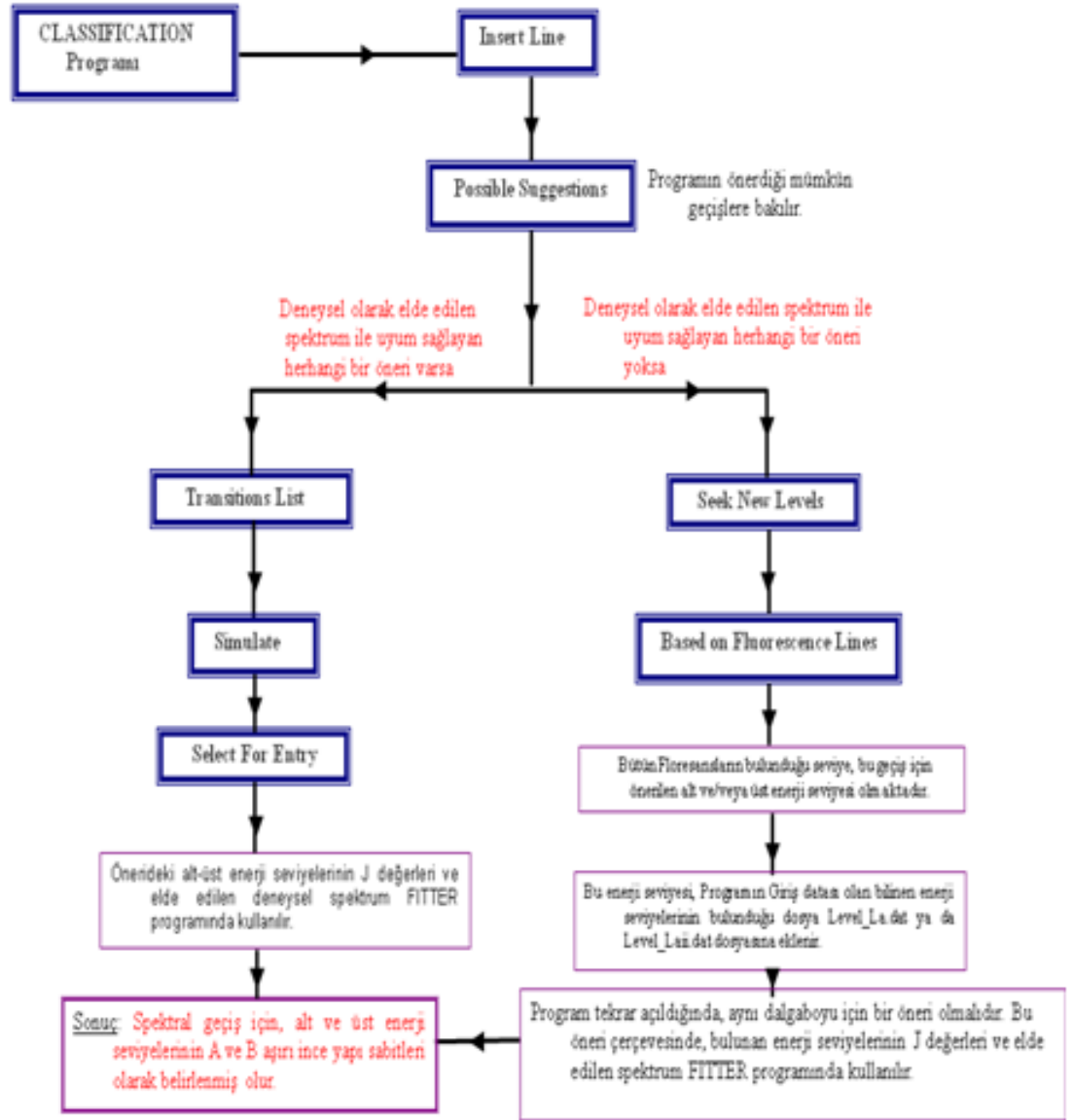
Klasifikasyon [70] programının ana menüsü dört kısımdan oluşur:

1. Alttaki pencerede FT Spektroskopisi ile alınmış La elementinin spektrumundan bir kesiti göstermektedir.
2. Üst orta pencere alt pencerede gözlenen ve seçilerek ağırlık merkezi dalgaboyu olarak belirlenen spektral çizginin program tarafından seçim kuralları dikkate alınarak hesaplanan ve tüm mümkün olan tüm spektral çizgi önerilerinin bir listesini içerir.
3. Sağ üst köşedeki pencere, önerilen tüm çizgilerin aşırı ince yapı spektrum örneklerini gösterir. Bu spektrumlar önerilen çizginin alt ve üst enerji seviyelerinin A ve B değerleri biliniyorsa program tarafından simülasyon yöntemi ile oluşturulur.

Eğer orta pencerede mümkün olan bir geçişin alt ve üst enerji seviyelerine ait A ve B değerleri bilinmiyorsa sağdaki simülasyon penceresi o çizgi için boş kalır. Simülasyon şeklinin sol üst köşesindeki rakamlar da, FT’de bulunan çizgi ile simüle edilen çizginin ağırlık merkezleri arasındaki farkı verir. Bu fark ne kadar küçükse tanımlanan çizginin doğru olma olasılığı o kadar yüksektir.

FT programında gözlenen bir spektral geçişin ağırlık merkezinin dalgaboyu eğer literatürden biliniyorsa, programın “wx” giriş dosyasında vardır ve geçişin dalgaboyu değeri programın ana sayfasında “Go to Lambda” seçeneğine Å cinsinden yazılır. Eğer incelenen spektral çizgi literatürde bilinmiyorsa, programın “wx” giriş dosyasında yoktur ve geçişin dalgaboyu değeri programın ana sayfasında “Insert Line” seçeneğine Å cinsinden yazılır. Program öncelikle incelenen elemente ait tüm bilinen enerjilerinin yazıldığı giriş dosyasını kullanır ve seçim kurallarını göz önüne alarak, enerji çiftleri aralarındaki farkla spektral geçişlerin dalgaboylarını karşılaştırır. Geçişlerin dalgaboylarına karşılık gelebilecek tüm mümkün geçişleri hesaplar.

Klasifikasyon [70] programının temel çalışma mantık şeması Şekil 3.23’te gösterilmiştir.



Şekil 3.23 : Klasifikasyon [70] programının temel çalışma mantık şeması.

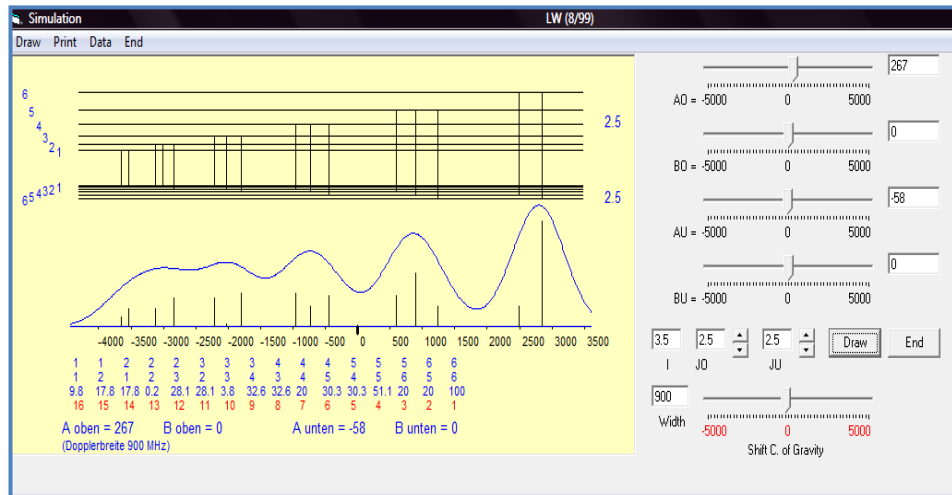
3.8.2. Simülasyon Programı

İncelenen spektral çizginin alt ve/veya üst ince yapı enerji seviyeleri bilinmiyorsa ya da ince yapı enerji seviyeleri biliniyor fakat bu seviyeye ait A manyetik dipol ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitleri bilinmiyorsa, LIF spektroskopisi yöntemiyle elde edilen spektruma benzer spektrumu veren J değerleri ile manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A ve elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B 'nin yaklaşık değerleri, Klasifikasyon [70]

programının içeriğinde bulunan simülasyon programı yardımıyla belirlenebilir. Bu yaklaşık değerler spektrumun fit edilmesi için, Fitter [8] programının giriş dosyasında kullanılarak başlangıç datası oluşturulur.

Şekil 3.24, $\lambda = 582.4504 \text{ nm}$ dalgaboylu, $J = 5/2$, $36543.480 \text{ cm}^{-1} \rightarrow J = 5/2$, $19379.397 \text{ cm}^{-1}$ spektral geçişinin simülasyon programı ile simüle edilen spektrumu örnek verilmiştir.

Simülasyon programında J değerleri, deneysel spektrumun yarı genişliği ile manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A ve elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B değerleri değiştirilerek spektrumun nasıl değişeceği görülebilir.



Şekil 3.24 : Simülasyon programı.

3.8.3. Fitter Programı

İncelenen elemente ait aşırı ince yapı spektrumları, laser frekansı değişiminin fonksiyonu olarak dijital ortamda kaydedilir. FT Spektroskopisi yönteminde, Fourier dönüşümü ile spektral geçişlerin şiddet dağılımı dalga sayısının bir fonksiyonu olarak kaydedilirken; Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopisi yönteminde, uyarılmış geçişin şiddet dağılımı zaman aralıklarının bir fonksiyonu olarak kaydedilmiştir.

LIF yöntemiyle uyarılmış bir çizginin ya da FT spektrumunda gözlenen bir çizginin kaydedilen aşırı ince yapısı, geçiş ile ilgili fiziksel bilgileri içerir. Fitter [8] programı, elde edilen spektrumu en küçük kareler metodunu kullanan en iyi fit değerlerini verebilen matematiksel bir fonksiyonla fit eder, aşırı ince yapı sabitlerini ve spektral çizginin ağırlık merkezini hesaplar.

Deneysel bir spektrumun data noktaları için en iyi fit durumu matematiksel en küçük kareler metodudur. Program her bir aşırı ince yapı bileşeninin pozisyonunu ve aşırı ince yapı sabitlerini Denklem (3.105) ifadesi ile hesaplar.

$$\nu = \nu_c + \alpha_o \cdot A_o + \beta_o \cdot B_o - \alpha_u \cdot A_u - \beta_u \cdot B_u \quad (3.105)$$

ν_c : İncelenen spektral geçişin frekansıdır. α_o , β_o , α_u , β_u katsayıları spektral geçişin sırasıyla üst ve alt ince yapı enerji seviyelerinin Casimir faktörleridir. Her bir seviye için Casimir faktörleri Denklem (3.106) ve (3.107) ifadeleri ile hesaplanır.

$$\alpha = \frac{1}{2} [F(F + 1) - I(I + 1) - J(J + 1)] \quad (3.106)$$

$$\beta = \frac{\frac{3}{4}C(C+1) - I(I+1) \cdot J(J+1)}{2I(2I-1) \cdot J(2J-1)} \quad (3.107)$$

Denklem (3.105) her bir aşırı ince yapı bileşeni için oluşturulur ve giriş parametreleri olarak spektral çizgi ile ilgili fiziksel başlangıç durumları alınır ve bu parametre değerlerini değiştirerek, model deneysel elde edilen data noktaları için en küçük kareler metoduna göre uygun bir matematiksel fonksiyon bulunur.

$$\sum_{k=1}^n [I_k(k) - I_k(\nu_k, \vec{a})]^2 \quad (3.108)$$

Denklem (3.108)'de $I_k(k)$ ifadesi, verilen bir ν_k frekans noktasında ölçülen şiddettir. $I_k(\nu_k, \vec{a})$ fit parametrelerinin seti olan \vec{a} vektörü ve bu duruma karşılık hesaplanan şiddettir. Denklem (3.108) ifadesini minimum yapacak şekilde bir fonksiyon aranır. Denklem (3.108)'deki her bir karenin toplamının minimum olması için, hataların da küçük olması gerekir. Bu ifade Taylor serisine açıldığında, lineer olmayan ve homojen

olmayan denklemler oluşur. Bu oluşan denklemlerin sayısı \vec{a} vektöründeki parametrelerin sayısına bağlıdır. oluşan yeni parametreler seti, yeni bir iterasyon için başlangıç değerlerini kapsar. Bu iterasyon, elde edilen parametreler arası fark minimuma ulaşınca kadar tekrar eder. \vec{a} vektörü içindeki parametreler, incelenen spektral çizginin aşırı ince yapı bileşenlerinin frekansları, şiddeti, spektral geçişin yarı genişliği, geçişin alt ve üst ince yapı enerji seviyelerinin manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A ve elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B değerleridir.

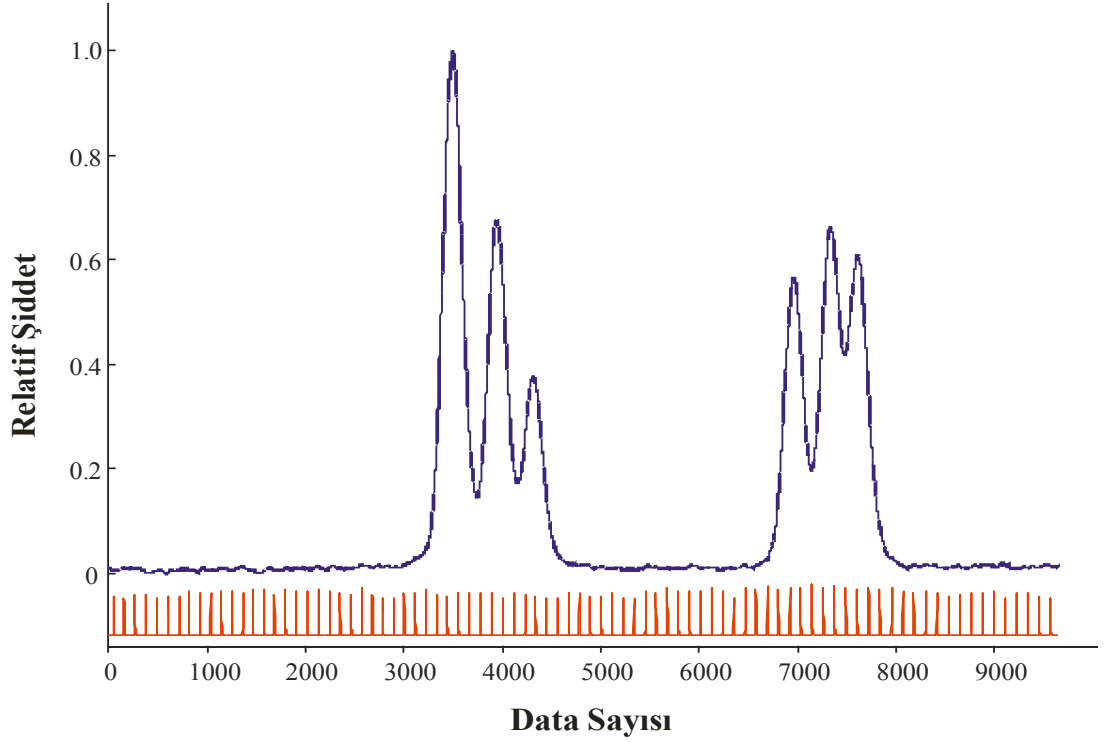
Bu hesaplamaları yapabilmek için, deney sonucunda kaydedilmiş dosya data noktalarını içerdiğinden, spektrum fit edilmeden önce Fitter [8] programına uygun hale dönüştürülmelidir. Spektral dataların şiddet dağılımının, frekansın bir fonksiyonu olarak dönüştürülmesi gerekir. Dataların frekansa dönüştürülme işlemi spektrumu lineerize etmek olarak adlandırılır [61].

Lineerize işlemi :

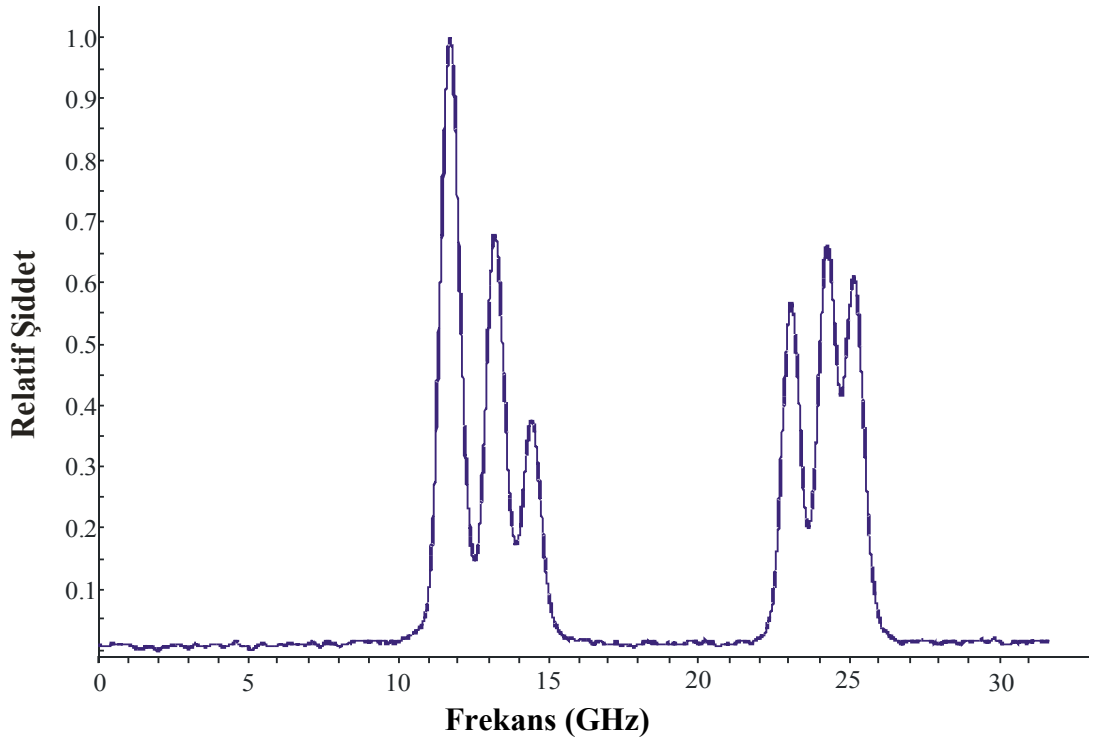
Lineerize işlemi Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopisi yönteminde deney düzeneğinde yer alan Fabry-Perot interferometresinden alınan girişim maksimumlarının spektrumu kullanılarak gerçekleştirilir.

Şekil 3.25’de Lantan elementinin LIF yöntemi ile elde edilen dalga sayılı spektral geçişinin lineerize edilmemiş spektrumu ve alt kısımda (kırmızı spektrum) Fabry-Perot interferometresinden alınan maksimumlar görülmektedir.

LIF yönteminde elektronik olarak kaydedilen her spektrum, spektrum lineerize programında laser tarama başlangıç ve bitiş dalgaboyu değerlerini ve kullanılan Fabry-Perot interferometresinin serbest spektral bölgesinin frekans değeri yazılarak lineerize edilir. Böylece, her bir dataya karşılık frekans (MHz cinsinden) değerleri hesaplanır ve spektrumun yatay eksenindeki data sayısı frekans değerine dönüşür. Şekil 3.26’da örnek verilen 565.4871 nm spektral çizgisi için, lineerize işlemi yapılırken, incelenen bölgeye göre kullanılan Fabry-Perot interferometresinin serbest spektral bölgesi $\Delta\lambda = 197.6009 \text{ MHz}$ değerindedir. Örnek verilen spektral geçişin, lineerize edilmiş hali Şekil 3.26’da görülmektedir.



Şekil 3.25: La I elementinin Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopi yöntemi ile elde edilen $24910.375 \text{ cm}^{-1}(J = 3/2) \rightarrow 7231.416 \text{ cm}^{-1}(J = 1/2)$ ($\lambda = 565.4871 \text{ nm}$) spektral geçişinin lineerize edilmemiş spektrumu.



Şekil 3.26: La I elementinin Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopi yöntemi ile elde edilen $24910.375 \text{ cm}^{-1}(J = 3/2) \rightarrow 7231.416 \text{ cm}^{-1}(J = 1/2)$ ($\lambda = 565.4871 \text{ nm}$) spektral geçişinin Fitter [8] programı ile lineerize edilmiş spektrumu.

Fitter programının giriş ve çıkış dataları :

Fitter [8] programının çalışabilmesi için “mes, lin, ein, arb” gerekli klasörlerdir. Her bir klasör her spektral çizgi için ayrı oluşturulmalıdır.

Mes dosyası, çizgi spektruma ait x eksenindeki dalga sayısına karşılık y eksenindeki şiddetleri verir ve her bir spektral çizgi için en az 5 tane mes datası mes klasöründe olmalıdır.

Lin klasörü içinde “lin, par” dosyaları bulunmaktadır. Lin dosyası, spektrumun sadece dalga sayısının olduğu dosyadır. Par dosyası, spektrumun başlangıç dalgaboyunu, LIF yönteminde her spektral çizgi için bulunan floresansın dalgaboyunu, spektrumdaki data sayısını ve ardarda gelen her iki data arasındaki frekans cinsinden fark değerini içerir.

İncelenen tüm spektral çizgiler için beş ölçüm alınmıştır. Fitter [8] programında her biri için ayrı ein dosyaları oluşturulmalıdır. Ein dosyasında her spektral geçişe ait sabit ve değişken parametreler girilir. Ein dosyasındaki sabit parametreler, incelenen elementin izotop sayısı, izotopların katkı oranları, çekirdek spini, fit edilecek spektral çizginin alt ve üst ince yapı enerji seviyelerinin J değerleridir. Bu parametreler fit işlemi boyunca sabit tutulurlar.

Spektral çizginin ağırlık merkezi, spektral çizginin alt ve üst ince yapı enerji seviyelerinin manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A ve elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B değerleri, spektrumun düşey eksenindeki gürültü başlangıç ve bitiş yerleri, çizginin yarı genişliği, Voigt profilindeki Gauss ve Lorentz katkılarının yarı genişlikleri değişken parametrelerdir.

$\lambda = 565.4871 \text{ nm}$ dalgaboylu $24910.375 \text{ cm}^{-1} (J = 3/2) \rightarrow 7231.416 \text{ cm}^{-1} (J = 1/2)$ spektral geçişi için oluşturulan Fitter [8] programının giriş (ein) dosyası Şekil 3.27’de verilmiştir.

Giriş datasında sabit tutulan parametreler için “0” yazılmalıdır değiştirilecek olan serbest parametreler için “1” yazılmalıdır. Eğer incelenen spektral geçişin alt ya da üst

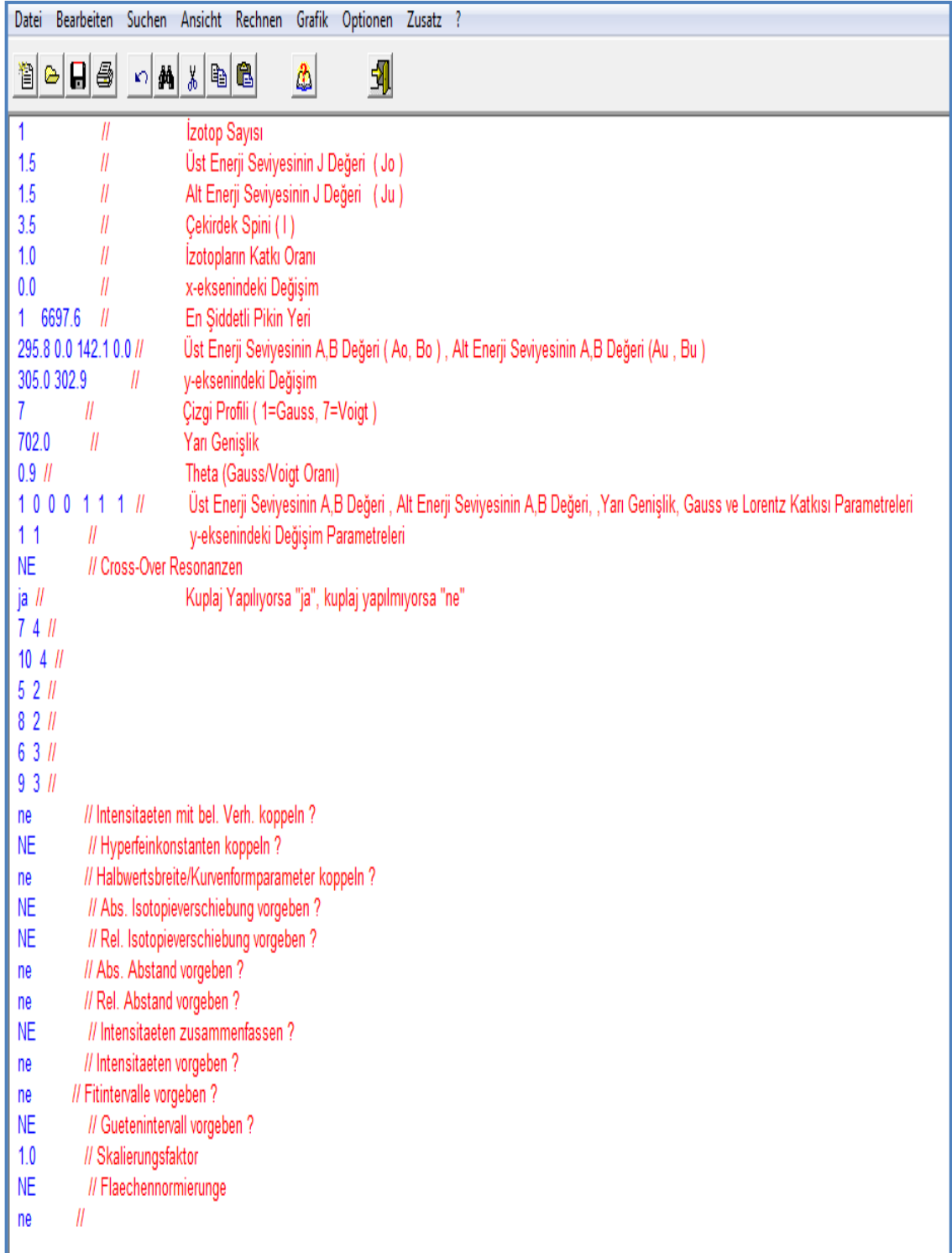
ince yapı enerji seviyelerinin manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A ve elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B değerlerinden bir tanesi literatürden biliniyorsa, bu değerler fit süresince sabit tutulur. Bu durumda geçişin diğer enerji seviyesinin A ve B aşırı ince yapı sabiti değerleri daha doğru olarak bulunabilir. FT ve LIF yöntemleri ile yapılan deneylerde ölçülen spektrumlarda Doppler genişlemesine sahip olduklarından, Lantan elementinin küçük bir değere sahip olan elektrik kuadropol momenti sebebi ile meydana gelen etkileşmeler sonucundaki yarılmaları gözlemlemek mümkün değildir. Bu nedenle fit işlemi sırasında B değerleri sıfır alındı.

Tamamen ayrışmamış ya da kısmen ayrışmış spektrumlar için bunu yapmak elde edilebilecek aşırı ince yapı sabitlerinin doğruluğunu arttırır. Bu çalışmada incelenen hemen hemen bütün alt enerji seviyelerinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti değerleri literatürden bilinen değerlerinde sabit tutuldu.

Çizgilerde LIF yöntemi ile alınan spektrumlarda spektrumun aşırı ince yapı bileşenleri ayrışmamış ya da kısmen ayrışmış ise, bu bileşenlerin şiddetleri geçiş seçim kuralları (Bkz. 3.1.5) çerçevesinde ayrışmış bileşenlerle kuplaj yapılır. Deneysel bileşen değerleri ile matematiksel fonksiyonun verdiği teorik değerlerin uyum içinde ve birbirleriyle orantılı olması sağlanır. Aşırı ince yapı bileşenleri tamamen ayrışmış spektrumlarda, her bir bileşenin şiddeti serbest bırakılarak fit edildi.

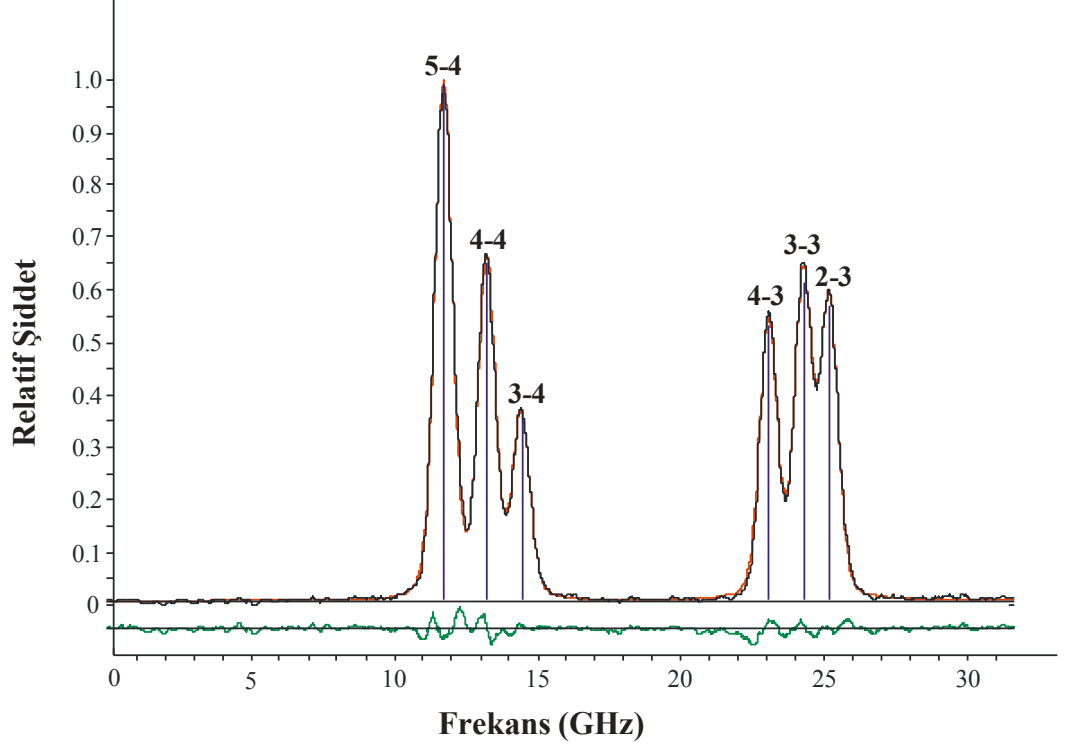
LIF yönteminde laserin neden olduğu saturasyondan kaynaklanan spektrumun bileşenlerinin şiddetlerindeki artış, FT yönteminde yapılan deneylerde gözlenmemektedir. LIF yöntemiyle elde edilen spektrumlarda düşük şiddete sahip hfs geçişlerinin deneysel şiddetleri saturasyon sebebi ile teorik şiddetlerden daha yüksektir.

LIF yöntemi ile yapılan deneylerde $\Delta F = 0, \pm 1$ seçim kuralına göre teorik şiddetle deneysel şiddet arasında kuplaj uygulanırken, FT yöntemi ile yapılan deneylerde tüm aşırı ince yapı bileşenleri en şiddetli bileşen ile kuplaj yapılmıştır.



Şekil 3.27: $\lambda = 565.4871 \text{ nm}$ dalgaboylu $24910.375 \text{ cm}^{-1} \rightarrow 7231.416 \text{ cm}^{-1}$ spektral geçişi için Fitter [8] programının giriş (ein) dosyası.

Şekil 3.28’de $\lambda = 565.4871 \text{ nm}$ dalgaboyundaki spektral geçişin Fitter [8] programı yardımıyla fit edilmiş spektrumu gösterilmiştir. Siyah spektrum LIF yöntemi ile elde edilen deneysel, kırmızı spektrum Fitter [8] programının teorik olarak hesapladığı, yeşil spektrum ise deneysel ile teorik arasındaki farkı vermektedir.



Şekil 3.28: La I elementinin Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopi yöntemi ile elde edilen $24910.375 \text{ cm}^{-1} \rightarrow 7231.416 \text{ cm}^{-1}$ ($\lambda = 565.4871 \text{ nm}$) spektral geçişinin Fitter [8] programı ile fit edilmiş spektrumu her bir aşırı ince yapı bileşenleri ile gösterilmiştir.

Bu hesaplanan değerleri arb klasöründe yer alır. Arb klasörü içinde “aus, bf,bw,stw” dosyaları bulunmaktadır. Aus dosyası, spektrum fit edildikten sonra oluşan çıkış dosyasıdır. Spektrum fit edildikten sonra elde edilen spektral çizgi fit edildikten sonra, spektrumun gözlenen aşırı ince yapı bileşenlerinin F kuantum sayıları, aşırı ince yapı bileşenlerinin şiddetleri ve yerleri, çizginin Voigt profilinde hesaplanan yarı genişliği, Gauss ve Lorentz çizgi profillerinin katkıları, çizginin ağırlık merkezi, deneysel ve teorik arasındaki farkının döngü sonucunda minimuma ulaştığı durumda alt ve üst ince yapı enerji seviyelerinin manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A ve elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B değerleri “aus” dosyasından görülür.

Şekil 3.29’da $\lambda = 565.4871 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin fit edilme işleminden sonra elde edilen “aus” çıkış dosyasının bir kısmı gösterilmiştir. Rel. Schwerpunkt ve abs. Schwerpunkt değerleri incelenen spektral geçişin ağırlık merkezini, vakuumwellenlänge ve luftwellenlänge sırasıyla vakumdaki ve havadaki incelenen spektral geçişin dalgaboyunu verir. HWB çizginin yarı genişliği, theta ise Gauss/Voigt oranıdır. A_o, B_o, A_u, B_u değerleri sırasıyla spektral geçişin üst ince yapı enerji seviyesinin ve alt enerji seviyesinin manyetik dipol ve elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitleridir. Untergrund, spektrumun gürültüsünün dikey eksendeki başlangıç ve bitiş yerleridir. Guete, elde edilen deneysel spektrum ile Fitter [8] programı tarafından elde edilen teorik spektrumun birbiriyle uyum içinde olup olmadığını gösteren fit parametresidir.

Datei Bearbeiten Suchen Ansicht Rechnen Grafik Optionen Zusatz ?							
Isotop 1 : I = 7/2 Jo = 3/2 Ju = 1/2							
Nr	Fo ->	Fu	Lage/MHz	Intensitaet	rel. Int.	lfit/lth.	Flaeche
1	5 ->	4	8499.92	683.05	1.000000	1.00	5.704e+05
2	4 ->	4	10004.64	434.69	0.636398	1.33	3.630e+05
4	3 ->	4	11208.41	231.23	0.338524	2.13	1.931e+05
3	4 ->	3	19845.44	338.23	0.495182	1.45	2.824e+05
5	3 ->	3	21049.21	393.63	0.576289	1.21	3.287e+05
6	2 ->	3	21952.04	372.51	0.545366	1.20	3.111e+05
Summe der Intens. =				2453.344			
rel. Schwerpunkt =				14385.221 MHz			
abs. Schwerpunkt =				17678.756 1/cm			
Vakuumwellenlänge =				5656.506 A			
Luftwellenlänge =				5654.935 A			
Profiffunktion: Voigtfunktion							
Nr	HWB(Voigt)	HWB(Gauss)	HWB(Lor.)	theta(G/V)			
1	726.99	651.68	135.89	0.896			
Hyperfinestrukturkonstanten :							
Isotop 1 :		Ao = -300.94 MHz		Au = 2460.20 MHz			
		Bo = 0.00 MHz		Bu = 0.00 MHz			
Untergrund (links) =				246.00			
Untergrund (rechts) =				232.07			
Untergrundsteigung =				-0.00 MHz^-1			
Fehlerquadratsumme =				170862.058373			
Intervall-Guete =				24.74			

Şekil 3.29: $\lambda = 565.4871 \text{ nm}$ dalgaboylu $24910.375 \text{ cm}^{-1} \rightarrow 7231.416 \text{ cm}^{-1}$ spektral geçişi için Fitter [8] programında elde edilen aus çıkış dosyasının bir kısmı.

Bu çalışmada kullanılan Fourier Transform Spektroskopisi yönteminde ise, her spektral çizgi elde edilen spektrumlardan kesilir ve spektrumun şiddete bağlı dalgasayılarını içeren “mes” dosyaları oluşturulur. Spektrumun sadece dalgasayılarını içeren “lin” dosyası da “mes” dosyasından elde edilir. Spektumun Fitter [8] programı için çalışabilir hale dönüştürülme işlemi incelenen her spektral çizgi için “par” dosyasına spektrumun ardışık iki dalgasayı arasındaki fark MHz cinsinden yazılır. FT yöntemiyle elde edilen spektral çizgilerin lineerize edilme işlemi yapıldıktan sonra, fit işlemi Fitter [8] programı ile her iki yöntemde de aynı şekilde yapılır.

4. BULGULAR

4.1. LANTAN ELEMENTİNİN AŞIRI İNCE YAPI ANALİZİ

Bu çalışmada Lantan elementinin aşırı ince yapısı iki farklı spektroskopik yöntemle incelendi. Biri Fourier Transform Spektroskopisi diğeri ise Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopisi yöntemidir.

FT Spektroskopi yöntemi ile Lantan elementinin tüm yakın kırmızı altı spektral bölgesinin ($833 \text{ nm} - 1665 \text{ nm}$) aşırı ince yapı analizi yapılarak, FT spektrumunda gözlenen tüm spektral çizgiler sınıflandırıldı. FT Spektroskopisinde silindir katot boşalım ortamı La-Ar plazması olduğundan, FT spektrumunda gözlenen çizgilerin bazıları Argon elementine aittir. Analiz yapılırken, hem nötr ve iyonize olmuş Lantan elementine ait hem de nötr ve iyonize olmuş Argon elementine ait spektral çizgiler sınıflandırılmıştır.

Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopi yöntemi ile Lantan elementine ait deneysel olarak sınıflandırılmamış yeni spektral çizgileri incelendi. Bu geçişlere ait üst enerji seviyelerinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri belirlendi. İncelenen yeni spektral geçişlerin bazılarının üst enerji seviyeleri bilinmiyordu. Lantan'a ait 18 ince yapı enerji seviyeleri ilk kez bu çalışmada bulundu.

4.1.1. Fourier Transform Spektroskopi Yöntemi ile İncelemeler

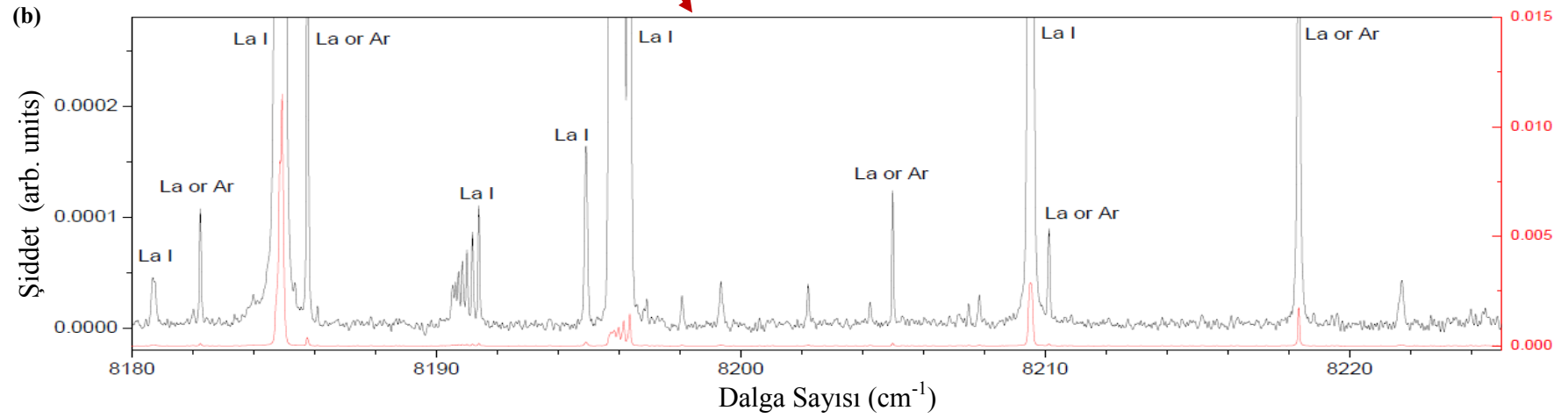
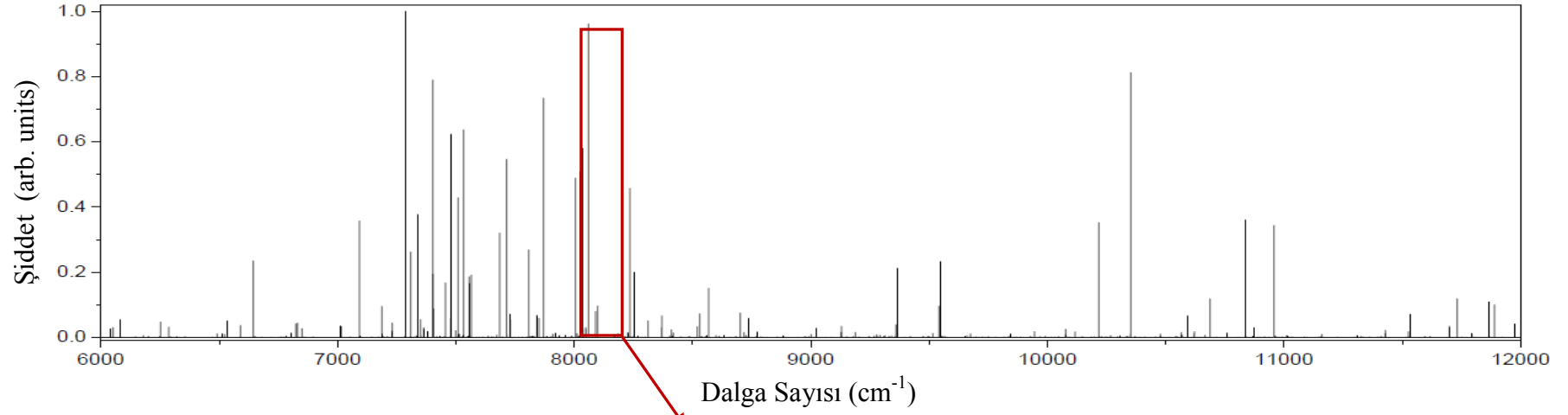
Lantan elementine ait incelenen yakın kırmızı altı spektral bölgesindeki çizgilerin tanımlanmasında ref. [11,12,13,14] atomik dalgaboyu tablolarından yararlanıldı. Boşalım ortamında bulunan Argon elementine ait spektral çizgiler için de ref. [13,74,75,76,77,78,79,80,81] atomik dalgaboyu tablolarından kullanıldı.

Lantan elementine ait $833 \text{ nm} - 1665 \text{ nm}$ ($6000 \text{ cm}^{-1} - 12000 \text{ cm}^{-1}$) aralığındaki yakın kırmızı altı spektral bölgedeki çizgileri, Letonya Üniversitesi Laser Merkezi'nde, yüksek çözünürlüklü Fourier Transform Spektroskopisi ile elde edilmiştir. FT Spektroskopi yöntemi ile alınan spektrumların x eksenini dalga sayısını (cm^{-1}), y eksenini şiddeti verir.

Şekil 4.1a'da FT Spektroskopi yöntemi ile ölçülen $6000 \text{ cm}^{-1} - 12000 \text{ cm}^{-1}$ aralığındaki tüm spektrum gösterilmiştir. Şekil 4.1b'de bu bölge $8180 \text{ cm}^{-1} - 8225 \text{ cm}^{-1}$ aralığındaki spektrumun iki farklı ölçekle alınmış örneği verilmiştir.

^{139}La yaygın izotopu Fourier transform spektroskopik yöntemiyle Lantan buharı silindir katot lambası içerisinde oluşturulmuştur. Katot lambası sıvı azot ile soğutuldu. Silindir katot, iç materyali lantan foilden (99.7%) ve dış materyali de silindir bakırdan oluşan bir yapıdır ve birbirine simetrik iki alüminyum anot arasına yerleştirildi. Katot ve anotlar arası uzaklık 1.5 mm civarındadır. Silindir katot boşalmasını üretmek için, 1 mbar civarında argon gazı kullanıldı ve yaklaşık 80 mA boşalım akımı oluşturuldu.

Spektrometrenin girişi 1 mm olup ve çözünürlük 0.025 cm^{-1} değerine sabitlenmiştir. Her bir spektrum 20 taramadan elde edilmiştir. Kuartz bir ışın bölücü, bir InGaAs diyot ve bir Hamamatsu R928 foton katlayıcı, spektrumu dedekte etmek için kullanıldı. Elde edilen spektrumda Ar çizgileri görülmektedir. Bu çizgiler NIST [12] atomik dalgaboyu tablosundan yararlanılarak, kalibre edildi. Çizgilerin konumu, giriş dalgaboyu bölgesi için 0.003 cm^{-1} değerinden daha iyi bir şekilde elde edilebildi.



Şekil 4.1 : La-Ar plazmasının elementinin Fourier Transform Spektrumu. (a) $6000\text{ cm}^{-1} - 12000\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki tüm spektrum, (b) $8180\text{ cm}^{-1} - 8225\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki spektrumun iki farklı ölçekle alınmış örneği.

Deney süresince ölçümlerdeki aşırı ince yapı bileşenlerinin çizgi genişlemesini azaltmak için silindir katot lambası sıvı azot ile soğutulmuştur.

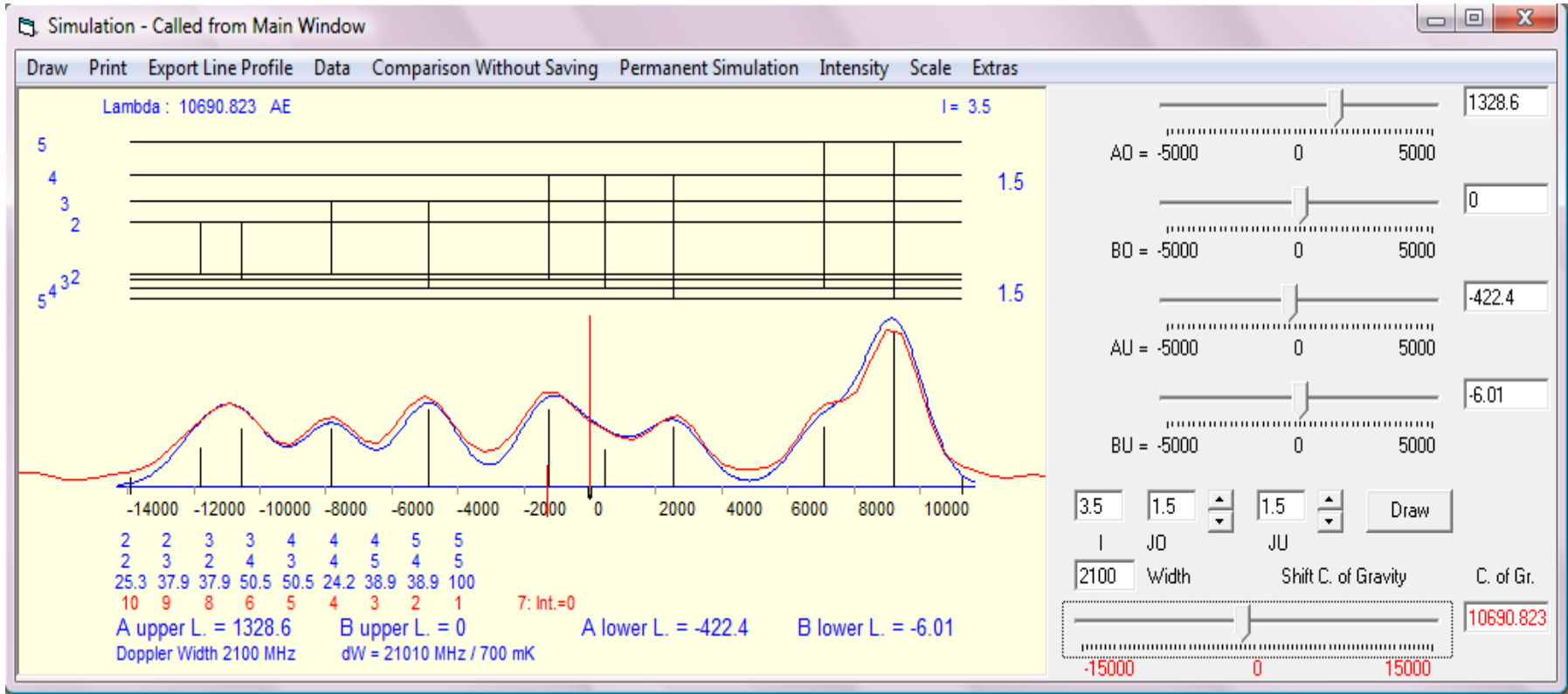
İncelenen spektral bölgede atomik dalgaboyu tablolarında yer alan spektral çizgilerin yanı sıra, şimdiye kadar tanımlanmamış bir çok spektral çizgi olduğu gözlemlendi. Yeni spektral çizgileri tanımlamak için, Klasifikasyon [70] programı kullanıldı. Bu program yardımıyla, FT spektrumunda gözlenen tüm spektral geçişler dalgaboyları, şiddetleri, alt ve üst ince yapı enerji seviyeleri ve bu enerji seviyelerinin J değerleri bulunarak sınıflandırıldı. İncelenen spektral geçişlere ait tüm alt ve üst enerji seviyeleri daha hassas bir kesinliğe sahip olarak belirlendi.

Eğer bir spektral geçişe ait alt ve üst enerji seviyelerinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri biliniyorsa, beklenen aşırı ince yapı örneği simülasyon (bkz. 3.8.2) programı tarafından simüle edildi ve simüle edilen örnek FT spektrumunda görülen deneysel örnekle karşılaştırıldı. Eğer iki aşırı ince yapı örneği arasında iyi bir uyum varsa, bu geçiş programın verdiği öneri ile sınıflandırıldı, programın sunduğu diğer tahminler elendi. Örnek olarak, Şekil 4.2'de 9351.255 cm^{-1} dalga sayılı ($\lambda = 1069.0823 \text{ nm}$) spektral çizgi için Klasifikasyon [70] programının ana menüsü FT spektrumundaki görünüşü gösterilmiştir. Program bu spektral çizgi için seçim kurallarına göre 3 tane mümkün olası geçiş önermiştir. Bu önerilerden ilkinin alt ve üst ince yapı enerji seviyelerinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri daha önceden belirlenmiş olan bir geçiştir. Bu geçişin aşırı ince yapı örneği FT spektrumunda gözlenen 9351.255 cm^{-1} dalga sayılı çizgi ile şekil olarak benzer gözükmektedir. Daha sonra, programın sunduğu teorik aşırı ince yapı örneği ile FT spektrumunda gözlenen deneysel spektrum simüle edilir. Şekil 4.3'de, Şekil 4.2'de verilen örnek spektral geçişin simüle edilmiş hali görülmektedir. Simülasyon işlemi sonucunda teorik ve deneysel spektrumlar arasında uyum gözleniyorsa, bu geçiş doğru olarak sınıflandırılır.

Bu durumda, örnek olarak alınan 9351.255 cm^{-1} dalga sayılı çizgi, $17797.301 \text{ cm}^{-1}$, $J = 3/2 \rightarrow 8446.039 \text{ cm}^{-1}$, $J = 3/2$ geçişi olarak sınıflandırıldı.



Şekil 4.2: 9351.255 cm^{-1} dalga sayılı ($\lambda = 1069.0823 \text{ nm}$) spektral çizgi için Klasifikasyon [70] programının ana menüsü ve FT spektrumundaki görünüşü



Şekil 4.3: 9351.255 cm^{-1} dalga sayılı ($\lambda = 1069.0823 \text{ nm}$) spektral çizgini FT spektrumundaki aşırı ince yapı örneği ile 2100 MHz yarı genişlikte simüle edilmiş hali.

Eğer bir spektral geçişe ait alt ve üst enerji seviyelerinden sadece birinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri biliniyorsa, simülasyon programındaki kaydırma çubuğunu kullanarak, simülasyon programında bilinmeyen A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti değiştirilerek FT spektrumunda gözlenen deneysel spektrum ile uyum içinde olmasını sağlayacak uygun yaklaşık bir değer elde edilir.

Eğer bir spektral geçişe ait alt ve üst enerji seviyelerinin her ikisinin de A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri bilinmiyorsa, klasifikasyon programında sadece bir tahmin olsa bile kesin bir sınıflandırma mümkün değildir. Bu gibi spektral çizgilerin alt ve/veya üst ince yapı enerji seviyelerinin bilinmiyor demektir. Bu durumdaki bazı spektral geçişler, LIF Spektroskopisi yöntemiyle incelendi.

Bu çalışmada, yakın kırmızı altı spektral bölgedeki FT spektrumunda Lantan-Argon plazmasına ait toplam 2387 aşırı ince yapı gösteren çizgi gözlemlendi.

Lantan-Argon plazmasına ait FT spektrumunda aşırı ince yapı ayrışması gösteren tüm spektral çizgiler Ek-1’de verildi. Ek-1’de verilen tablonun bir kesiti Tablo 4.1’de görülmektedir.

Tablo 4.1’de sırasıyla, 1. kolonda FT spektrumundaki sinyal/gürültü oranları (SNR) verilmiştir. Sinyal/gürültü oranını (SNR) elde etmek için, tüm spektrum gürültü seviyesini 1’e eşitleyerek ölçümlendirildi. SNR, bir çizginin genliğine karşılık gelir. FT spektrumunda gözlenen her spektral çizgi için SNR aşırı ince yapı örneklerinin en yüksek pikinin genliği olarak ifade edildi. 2. kolonda tüm spektral çizgilerin FT spektrumdan bulunan ağırlık merkezi dalga boyları ($\lambda(hava)$) nm cinsinden, 3. kolonda tüm spektral çizgilerin vakum dalga sayıları ($\sigma(hava)$) cm^{-1} cinsinden verilmiştir. Sınıflandırması yapılabilen çizgilerin verilen sınıflandırmalarının doğru olduğunu belirlemek için, sınıflandırmadaki enerji seviyeleri arasındaki farkın spektral geçişe ait dalga sayısı ile aynı ya da oldukça yakın olması gerekir. Bu yüzden Ek-1’de sınıflandırılan her bir spektral geçiş için, $[(E_{üst} - E_{alt}) - \nu_{den.}] (cm^{-1})$ değeri hesaplandı ve 4. kolonda verildi. Bu değerlerin $0.08 cm^{-1}$ ’den düşük olduğu gözlemlendi. 5. kolonda ardarda gelen bazı çizgilerin FT spektrumunda çok yakın ya da üstüste binmiş çizgiler olduğu durumlar “Blend” olarak belirtilmiştir. 6. kolonda eğer varsa literatürden bilinen ağırlık merkezi

dalga boyları λ_{ref} . nm cinsinden, 7. kolonda 2. ve 6. kolondaki dalgaboyları arasındaki fark ($\Delta\lambda$) nm cinsinden verildi. 8. kolonda spektral çizgiler için, eğer daha önce bilinen çizgiler ise referansları, eğer yeni bulunan çizgiler ise “bu çalışma” açıklaması yazılmıştır. 9. kolonda yeni çizgiler için “nl”, daha önce bilinen fakat sınıflandırılması yapılmamış çizgiler için “nc” ifadesi kullanılmıştır. 10. kolonda spektral çizginin hangi elemente (Lantan ya da Argon) ait olduğu belirtilmiştir. Klasifikasyon [70] programı yardımıyla tanımlanamayan çizgiler, “La ya da Ar” olarak ifade edildi. 11-12-13-14. kolonlarda spektral geçişe ait Klasifikasyon [70] programı yardımıyla belirlenen sınıflandırma yer almaktadır. Sınıflandırmada sırasıyla geçişe ait çift pariteli enerji seviyesi, bu enerji seviyesinin J değeri, tek pariteli enerji seviyesi, bu enerji seviyesinin J değeri verilmiştir.

Çalışmanın sonucunda 545 spektral çizginin nötr ve iyonize Lantan elementine ait olduğu belirlendi. 434 tane La I geçişi, 6 tane La II geçişi ilk kez görüldü ve sınıflandırıldı. Diğer spektral geçişler literatür atomik dalgaboyu tablolarında [11-14, 74-81] yer alan çizgilerdir.

Spektrumdaki 827 spektral çizginin, nötr ve iyonize Argon elementine ait olduğu belirlendi. Argon elementine ait bu çizgilerden 239 tanesi yeni spektral çizgi olarak ilk kez bu çalışmada tanımlandı ve geçişleri sınıflandırıldı. FT spektrumunda gözlenen ve Ek1’de nötr Ar ve iyonize olmuş Ar çizgileri olarak tanımlanmış spektral geçişler de sınıflandırıldı.

Ek-1’de verilen bazı ardışık spektral çizgiler FT spektrumunda üst üste geldiği gözlemlendi. Bu çizgiler blend durumundadır. Bu çizgiler için 5. kolonda “B” ifadesi verilmiştir.

Ek-1’de verilen tüm spektral çizgilerin dalgaboyları dalga sayısına çevrilmeden önce ref. [71]’e göre vakum dalgaboyuna çevrildi.

Eğer çizgiler atomik dalgaboyu tablolarında [11-14, 74-81] varsa, bu çizgiler de eklenerek sınıflandırılmaları yapılmıştır. Atomik dalgaboyu tablolarında [11-14, 74-81] yer almayan spektral çizgiler için yorum kısmında “nl” ifadesi konulmuştur. İlk kez bu

çalışmada Klasifikasyon [70] programı yardımıyla sınıflandırılan çizgiler için “nc” ifadesi yazılmıştır.

Yakın kırmızı altı spektral bölgede gözlenen bazı Argon elementine ait spektral çizgilerin çok yüksek sinyal/gürültü oranına (SNR) sahip oldukları fakat simetrik olmadıkları saptandı. Bu spektral çizgilerin moleküler bant olabileceğini gösterir.

Bu çalışmada LIF yöntemi ile bulunan 18 yeni çift pariteli La I enerji seviyesinden yararlanarak, yakın kırmızı altı FT spektrumunda gözlenen yeni spektral geçişler sınıflandırıldı.

781 tane düşük şiddetli spektral çizgi “La ya da Ar” geçişi olarak belirlendi fakat bu geçişlere ait sınıflandırmalar Klasifikasyon [70] programı yardımıyla yapılamadı.

Bu çalışmada, analiz sırasında yakın kırmızı altı spektral bölgede, 900 nm civarındaki incelenen spektral çizgilerin yaklaşık 2500 MHz ve 1600 nm civarındaki incelenen spektral çizgilerin yaklaşık 1700 MHz yarı genişliğe sahip olduğu gözlemlendi. Bu yarı genişlik Doppler genişlemesinden ve FT spektrometresinin genişliğinden kaynaklanmaktadır.

4.1.2. Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopisi Yöntemi ile İncelemeler

Çalışmanın LIF Spektroskopisi yöntemi ile yapılan kısmında, Lantan elementinin aşırı ince yapısını analiz ederek, FT spektrumunda zayıf şiddetli gözlenen fakat sınıflandırılmayan spektral çizgilerin bilinmeyen alt/üst ince yapı enerji seviyelerinin araştırılması amaçlandı.

LIF deneyleri sırasında incelenen dalgaboyları aralıklarında kullanılan boyalar ve pompa laserler aşağıdaki gibidir:

- 430 nm – 445 nm aralığındaki spektral bölge için Stilbene 3 boyası kullanıldı ve boya laser Ar-iyon laserle pompalandı.
- 560nm – 605 nm aralığındaki spektral bölge için Rhodamine 6G boyası kullanıldı ve boya laser Nd-YAG (Verdi 18) laserle pompalandı.
- 598 nm – 650 nm aralığındaki spektral bölge için Kiton-Red boyası kullanıldı ve boya laser Nd-YAG (Verdi 18) laserle pompalandı.
- 630 nm – 690 nm aralığındaki spektral bölge için DCM boyası kullanıldı ve boya laser Ar-iyon laserle pompalandı.
- 700 nm – 742 nm aralığındaki spektral bölge için LD700 boyası kullanıldı ve boya laser Kr laserle pompalandı.

Lantan elementinin yeni spektral çizgileri incelemek için, FT spektrumunda gözlenen şimdiye kadar sınıflandırılmamış çizgiler seçildi. Bu çizgiler FT spektrumunda (sinyal/gürültü oranı 20'den küçük olan) düşük şiddetli çizgiler olduğu görüldü. Bu spektral çizgilerin ağırlık merkezleri FT spektrumundan elde edildi ve LIF yöntemi ile ölçüldü. LIF Spektroskopisi yönteminde Doppler genişlemesi FT Spektroskopisindeki genişlemeden daha az olduğundan, FT spektrumunda düşük şiddetli gözlenen tüm spektral çizgiler, daha iyi ayrılmış olarak gözlemlendi.

Tüm incelenen spektral çizgiler için 5 kez ölçüm alındı. Ölçümlerin fit işleminden sonra Tüm incelenen spektral çizgiler, Bölüm 3.8.3’de anlatıldığı şekilde lineerize edildikten sonra, Fitter [8] programı kullanılarak, incelenen tüm spektral geçişlerin üst enerji seviyelerine ait A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri elde edildi. Spektral geçişlerin alt enerji seviyelerinin literatürde daha hassas yöntemlerle elde edilmiş A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitlerini kullanıldı ve bu değerler fit işlemi sırasında sabit tutuldu. A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitleri sabit tutulan ince yapı enerji seviyeleri ve alındıkları referansları genel kısımlarda Tablo 2.1 ve Tablo 2.2’de verildi.

430 nm – 742 nm aralığındaki spektral bölgede LIF ve OGS ile 96 tane spektral çizgi incelendi. Bu çizgilerden 94 tanesi atomik dalgaboyu tablolarında [11,12,13,14] ve şu ana kadar Lantan elementine ait yayınlarda yer almamaktadır. Bu yeni çizgiler Klasifikasyon [70] programı ile sınıflandırıldı.

Spektral çizgilerin aşırı ince yapılarının incelenmesi sonucunda, 18 yeni çift pariteli La I ince yapı enerji seviyesi bulundu.

LIF yöntemi ile yapılan deneylerde laserle uyarılan seviyeden meydana gelen floresans çizgilerinin incelenmesi ile 31 tane yeni floresans çizgisi Fourier Transform spektrumundaki ağırlık merkezi dalgaboylarından ve aşırı ince yapı şekillerinden yararlanılarak sınıflandırıldı.

Fourier Transform spektrumunda gözlenen fakat sınıflandırılmayan 51 spektral geçiş bu çalışmada bulunan 18 çift pariteli ince yapı enerji seviyesi yardımıyla sınıflandırıldı. Bu işlem sırasında spektral çizgilerin FT spektrumundaki ağırlık merkezi dalgaboylarından ve aşırı ince yapı şekillerinden yararlanılarak sınıflandırıldı. Böylece yeni bulunan seviyeler kanıtlandı.

Bu çalışmada bulunan enerji seviyelerinin doğruluğunu kanıtlamak için, ikinci kez uyarma dediğimiz işlem yapıldı. Yeni bulunan bu seviyeye mümkün olan spektral geçişler hesaplanarak bu çizgilerden en yüksek sinyali veren çizgi Optogalvanik

Spektroskopi yöntemiyle ölçüldü ve fit işlemi sonucunda elde edilen, yeni bulunan seviyeye ait aşırı ince yapı sabiti karşılaştırılarak yeni seviye kanıtlandı.

Bu çalışmada, toplam 176 tane spektral geçiş sınıflandırıldı. Bu geçişlerin alt ve üst enerji seviyeleri ve J değerleri saptandı. 73 tane üst enerji seviyesinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti belirlendi ve literatürde bilinen değerlerle karşılaştırılarak, daha az hata payıyla elde edildi. 23 tane A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti ilk kez bu çalışmada belirlendi. Bunlardan 22 tanesi çift pariteli ve bir tanesi tek pariteli enerji seviyesine aittir.

Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopi ve Optogalvanik Spektroskopi yöntemiyle incelenen 96 tane La I spektral çizgisi Tablo 4.2’de görülmektedir. Tablo 4.3’te sırasıyla çizginin nm cinsinden hava dalgaboyu, cm^{-1} cinsinden dalga sayısı değeri, sinyal/gürültü oranı (SNR), hangi yöntemle ölçüldüğü, hangi profil fonksiyonu ile fit edildiği, alt ve üst enerji seviyelerinin cm^{-1} cinsinden değerleri ve alt ve üst enerji seviyelerinin J değerleri verildi.

Tablo 4.1: La-Ar plazmasının yakın kırmızı altı spektral bölgesine ait FT spektrumunda gözlenen tüm spektral geçişlerin bir kesiti. $\lambda(\text{hava})$: Spektral geçişin ağırlık merkezi dalgaboyu, λ_{ref} : Spektral çizginin literatürden bilinen vakum dalga sayıları, $\Delta\lambda$: Spektral geçişin FT’ de gözlenen ve referanstaki dalgaboyları arasındaki fark nm cinsinden verilmiştir. $\sigma(\text{hava})$: Spektral çizginin vakum dalga sayısı, $\Delta\sigma$: Dalga sayıları arasındaki fark cm^{-1} cinsinden verilmiştir. SNR: Spektral geçişin FT’de gözlenen şiddet/gürültü oranıdır. nl: Yeni spektral çizgidir. nc: yeni sınıflandırmadır. Enerji seviyeleri cm^{-1} cinsinden verilmiştir.

SNR	$\lambda(\text{hava}) / \text{nm}$	$\sigma(\text{vakum}) / \text{cm}^{-1}$	$\Delta\sigma / \text{cm}^{-1}$	$\lambda_{ref}(\text{hava}) / \text{nm}$	$\Delta\lambda / \text{nm}$	Referans	Yorum		Element	Sınıflandırma			
										$E_{cift} / \text{cm}^{-1}$	J_{cift}	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
34	833.2230	11998.291	-0.001	833.2237	0.0007	81			Ar I	124137.214	3	112138.924	2
30	833.4404	11995.161	0.006	833.441	0.0006	73		nc	La I	29905.331	2.5	17910.164	3.5
9	833.5936	11992.957	0.000			Bu çalışma	nl	nc	La I	40172.000	5.5	28179.043	5.5
15	833.7255	11991.059	-0.010			Bu çalışma	nl	nc	La I	36400.733	4.5	24409.684	3.5
3	833.8389	11989.429	0.006	833.8384	-0.0005	74			Ar II	189040.9351	1.5	201030.3698	0.5
4	833.929	11988.15				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
21	834.4995	11979.938	-0.004			Bu çalışma	nl	nc	La I	13238.331	3.5	25218.265	2.5
10189	834.6555	11977.699	0.005	834.653	-0.0025	11,13		nc	La I	4121.572	4.5	16099.276	3.5
4	834.829	11975.21				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
5	835.755	11961.95				Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
10	835.8401	11960.723	0.009			Bu çalışma	nl	nc	La I	34400.079	2.5	22439.347	1.5
3	836.3076	11954.037	0.016	836.3074	-0.0002	74			Ar II	189654.8487	2.5	201608.9017	3.5
4	836.7013	11948.412	0.001			Bu çalışma	nl	nc	Ar I	107496.4166	1	119444.83	2
7	836.7387	11947.878	0.011			Bu çalışma	nl	nc	La I	18037.619	1.5	29985.508	0.5
125	837.9650	11930.394	0.001	837.980	0.0150	13,73		nc	La I	19129.307	4.5	31059.702	3.5
6	838.0141	11929.695	0.008			Bu çalışma	nl	nc	La I	34369.050	1.5	22439.347	1.5
8	838.1451	11927.826	0.001			Bu çalışma	nl	nc	La I	29874.962	1.5	17947.135	2.5
157	838.4727	11923.170	0.000	838.4723	-0.0004	81			Ar I	107289.7001	2	119212.87	3
62	839.2262	11912.464	-0.013	839.2270	0.0008	75		nc	Ar I	124051.375	3	112138.924	2
6	839.2722	11911.812	0.003	839.2722	0.0000	Bu çalışma			La ya da Ar	37786.315	4.5	25874.500	5.5
14	839.5725	11907.551	0.002	839.5724	-0.0001	77			Ar II	189437.7396	0.5	201345.2925	1.5
16	839.934	11902.43				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
6	840.2385	11898.113	0.009			Bu çalışma	nl	nc	La I	28754.915	2.5	16856.793	2.5
5	840.2803	11897.521	0.008			Bu çalışma	nl	nc	La I	20392.631	0.5	32290.16	0.5
3	840.305	11897.17				Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
4	840.346	11896.59				Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
24986	840.8213	11889.866	0.006	840.8210	-0.0003	76			Ar I	107289.7001	2	95399.8276	1
4	841.1252	11885.571	0.001			Bu çalışma	nl	nc	La I	28742.365	1.5	16856.793	2.5
8	841.1890	11884.670	0.010	841.1880	-0.0010	74			Ar II	196076.4715	1.5	184191.7917	0.5

Tablo 4.2: Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopisi ve Optogalvanik Spektroskopisi yöntemleriyle incelenen yeni La I spektral geçişleri. SNR: FT spektrumunda gözlenen çizgilerin Sinyal/gürültü oranı. Dalgaboyu λ_{Hava} “nm”, dalga sayısı $\bar{\nu}$ ve enerjiler “ cm^{-1} ” cinsinden verilmiştir.

λ_{Hava}	$\bar{\nu}$	SNR	Yöntem	Fit Profili	Spektral Geçiş			
					Çift Pariteli Seviye		Tek Pariteli Seviye	
					E	J	E	J
431.3760 ^c	23175.114	1	OGS	V	38206.750 ⁿ	5/2	15031.634	3/2
431.549 ^c	23165.824	1	OGS	V	38185.340 ⁿ	7/2	15019.499	7/2
432.945 ^{b,c}	23091.128	17	LIF	V	37186.805 ⁿ	3/2	14095.677	1/2
434.4731 ^b	23009.915	4	OGS	V	38206.750 ⁿ	5/2	15196.822	5/2
434.8774 ^d	22988.524	10	OGS	V	38185.340 ⁿ	7/2	15196.822	5/2
435.3724 ^d	22962.387	8	OGS	V	39242.660 ⁿ	5/2	16280.255	3/2
436.450 ^d	22905.694	1	OGS	V	40852.85 ⁿ	5/2	17947.135	5/2
441.8915 ^d	22623.635	24	OGS	V	38903.885 ⁿ	5/2	16280.255	3/2
443.0931 ^{b,c}	22562.285	4	OGS	V	40472.456 ⁿ	5/2	17910.164	7/2
444.7567 ^c	22477.892	14	OGS	V	37186.805 ⁿ	3/2	14708.913	3/2
564.2088	17719.016	11	LIF	V	35875.976	3/2	18156.960	5/2
564.8042 ^a	17700.337	7	LIF	V	7679.945	5/2	25380.280	7/2
565.3616	17682.887	14	LIF	V	35839.845	7/2	18156.960	5/2
565.4871	17678.962	195	LIF	V	7231.416	1/2	24910.375	3/2
569.5487 ^d	17552.890	6	LIF	V	32749.715 ⁿ	3/2	15196.822	5/2
570.0218	17538.322	68	LIF	V	7679.945	5/2	25218.265	5/2
570.1025 ^a	17535.839	15	LIF	V	35446.006	9/2	17910.164	7/2
575.5683	17369.315	8	LIF	V	32872.945	5/2	15503.630	5/2
575.7166	17364.840	4	LIF	V	35537.177	1/2	18172.337	3/2
577.6161	17307.736	8	LIF	V	36687.140	5/2	19379.397	5/2
577.7289	17304.357	3	LIF	V	7679.945	5/2	24984.294	5/2
578.0919	17293.491	4	LIF	V	34861.01	1/2	17567.517	1/2
578.4289 ^d	17283.416	3	LIF	V	41532.41 ⁿ	7/2	24248.994	9/2
578.4665	17282.293	3	LIF	V	42123.70	9/2	24841.410	11/2
578.6152	17277.851	10	LIF	V	30908.886	5/2	13631.032	5/2
578.8082	17272.090	4	LIF	V	7490.521	3/2	24762.602	3/2
579.2338	17259.399	14	LIF	G	35169.566	9/2	17910.163	7/2
580.2338 ^a	17229.654	4	LIF	V	37248.626	3/2	20018.977	3/2
580.6845	17216.281	5	LIF	V	17023.342	7/2	34239.623	9/2
580.7263	17215.042	64	LIF	G	33753.424	9/2	16538.382	7/2

Tablo 4.2'nin devamı

λ_{Hava}	$\bar{\nu}$	SNR	Yöntem	Fit Profili	Spektral Geçiş			
					Çift Pariteli Seviye		Tek Pariteli Seviye	
					E	J	E	J
582.2192	17170.900	10	LIF	V	8446.039	3/2	25616.928	1/2
582.2306	17170.564	4	LIF	V	35117.700	5/2	17947.135	5/2
582.277 ^d	17169.196	4	LIF	G	40472.456 ⁿ	5/2	23303.257	7/2
582.2874 ^d	17168.889	8	LIF	G	36298.200 ⁿ	9/2	19129.307	9/2
582.3234 ^d	17167.828	6	LIF	V	37186.805 ⁿ	3/2	20018.977	3/2
582.4504 ^d	17164.085	4	LIF	V	36543.480 ⁿ	5/2	19379.397	5/2
583.5957	17130.401	6	LIF	G	43004.90	13/2	25874.500	11/2
584.4893	17104.211	4	LIF	G	17140.90	9/2	34245.05	11/2
585.2268	17082.657	120*	LIF	V	7679.945	5/2	24762.602	3/2
586.0525	17058.589	6	LIF	V	34968.760	7/2	17910.164	7/2
586.7901	17037.146	7	LIF	G	8052.163	7/2	25089.316	9/2
587.2876	17022.714	14	LIF	V	32219.536	7/2	15196.822	5/2
587.325 ^b	17021.630	5	LIF	V	34968.760	7/2	17947.135	5/2
589.2310	16966.570	7	LIF	V	35570.492	7/2	18603.922	7/2
590.1843 ^a	16939.165	16	LIF	V	35096.124	7/2	18156.960	5/2
590.382	16933.493	1	LIF	V	34880.630	5/2	17947.135	5/2
591.2210 ^a	16909.463	15	LIF	V	30169.834	3/2	13260.369	3/2
591.3383	16906.108	9	LIF	V	9044.212	1/2	25950.323	3/2
593.7425	16837.652	8	LIF	V	35009.990	3/2	18172.337	3/2
597.4704	16732.595	16	LIF	G	34529.896	5/2	17797.301	3/2
598.8808	16693.189	14	LIF	V	7011.904	5/2	23704.816	3/2
599.5497	16674.565	14	LIF	G	30305.597	5/2	13631.032	5/2
600.8029 ^d	16639.785	5	LIF	V	40106.64 ⁿ	7/2	23466.834	9/2
601.6433	16616.542	24	LIF	G	34526.709	9/2	17910.164	7/2
602.0697	16604.774	5	LIF	G	41014.465	9/2	24409.684	7/2
603.2561	16572.118	15	LIF	G	34482.280	7/2	17910.164	7/2
604.4714 ^a	16538.800	60	LIF	G	30169.834	3/2	13631.032	5/2
604.5275	16537.265	6	LIF	V	13238.331	7/2	29775.588	5/2
604.878	16527.682	4	LIF	G	35907.065	7/2	19379.397	5/2
605.3298	16515.347	6	LIF	G	36853.596	3/2	20338.250	5/2
606.4984	16483.525	3	LIF	V	31287.605	7/2	14804.067	5/2
607.0419	16468.767	22	LIF	G	31688.660	3/2	15219.890	1/2

Tablo 4.2'nin devamı

λ_{Hava}	$\bar{\nu}$	SNR	Yöntem	Fit Profili	Spektral Geçiş			
					Çift Pariteli Seviye		Tek Pariteli Seviye	
					E	J	E	J
607.2570	16462.934	5	LIF	V	12430.605	3/2	28893.526	5/2
607.3950	16459.193	11	LIF	G	9183.806	5/2	25643.001	3/2
607.9665	16443.722	5	LIF	V	31247.796	3/2	14804.067	5/2
608.7943	16421.363	34	LIF	V	31924.993	7/2	15503.630	5/2
612.5768	16319.966	14	LIF	G	31351.600	5/2	15031.634	3/2
615.0011	16255.634	5	LIF	G	31059.702	7/2	14804.067	5/2
620.3478	16115.530	18	LIF	V	34272.490	7/2	18156.960	5/2
622.1793	16068.091	13	LIF	G	32348.346	5/2	16280.255	3/2
622.5242 ^d	16059.189	8	LIF	G	41148.51 ⁿ	11/2	25089.316	9/2
623.1689	16042.575	2	LIF	G	36159.953	11/2	20117.368	11/2
629.0365 ^c	15892.933	2	LIF	V	32749.715 ⁿ	3/2	16856.793	5/2
634.875 ^d	15746.778	1	OGS	V	39792.88 ⁿ	5/2	24046.095	5/2
636.8900 ^c	15696.958	1	LIF	V	40106.64 ⁿ	7/2	24409.684	7/2
638.338 ^d	15661.352	1	OGS	V	39707.46 ⁿ	7/2	24046.095	5/2
640.3460 ^c	15612.241	1	OGS	V	39079.070 ⁿ	11/2	23466.834	9/2
640.823 ^c	15600.620	1	LIF	V	38903.885 ⁿ	5/2	23303.257	7/2
641.9935	15572.177	15	OGS	V	39276.99 ⁿ	5/2	23704.816	3/2
646.127 ^c	15472.557	1	OGS	V	40852.85 ⁿ	5/2	25380.280	7/2
650.535 ^c	15367.716	1	OGS	V	39242.660 ⁿ	5/2	23874.946	5/2
654.055 ^c	15285.011	1	OGS	V	39792.88 ⁿ	5/2	24507.871	5/2
656.379 ^c	15230.893	1	OGS	V	39276.99 ⁿ	5/2	24046.095	5/2
657.287 ⁿ	15209.852	1	OGS	V	40852.85 ⁿ	5/2	25643.001	3/2
657.731 ^c	15199.585	1	OGS	V	39707.46 ⁿ	7/2	24507.871	5/2
657.995 ^c	15193.487	1	OGS	V	41532.41 ⁿ	7/2	26338.934	5/2
662.2605 ^c	15095.629	4	LIF	V	36543.480 ⁿ	5/2	21447.854	7/2
669.9238 ^d	14922.950	25*	LIF	V	39764.360 ⁿ	13/2	24841.410	11/2
670.3164 ^c	14914.210	5	LIF	V	36298.200 ⁿ	9/2	21383.994	9/2
674.1194 ^d	14830.073	19	LIF	V	39079.070 ⁿ	11/2	24248.994	9/2
689.7407 ^c	14494.203	5	LIF	V	38903.885 ⁿ	5/2	24409.684	7/2
710.2744	14075.185	4	LIF	V	29578.815	5/2	15503.630	5/2
713.5306	14010.953	7	LIF	V	39391.234	9/2	25380.280	7/2
740.2851	13504.589	8	LIF	G	32108.512	7/2	18603.922	7/2

Tablo 4.2'nin devamı

λ_{Hava}	$\bar{\nu}$	SNR	Yöntem	Fit Profili	Spektral Geçiş			
					Çift Pariteli Seviye		Tek Pariteli Seviye	
					E	J	E	J
740.8481	13494.326	10	LIF	V	31061.838	1/2	17567.517	1/2
741.6607	13479.541	8	LIF	V	29578.815	5/2	16099.276	7/2

* - Atomik dalgaboyu tablolarında [11,12,13,14] yer alan La I spektral çizgi

^a - Tablo 4.3'te yer alan diğer spektral çizgi ile çok yakın olup, aşırı ince yapı bileşenleri üst üste gelmeyen çizgi

^b - Tablo 4.3'te yer alan diğer çizgi ile blend durumdaki çizgi

^c - Yeni ince yapı enerji seviyesinin doğrulanması için uyarılan çizgi

^d - Yeni ince yapı enerji seviyesinin bulunduğu, yeni spektral çizgi

ⁿ - Yeni ince yapı enerji seviyesi

OGS - Optogalvanik Spektroskopisi

LIF - Laser Uyarılmış Floresans Spektroskopisi

V - Voigt profili

G - Gauss profili

LIF yöntemiyle incelenen ve Tablo 4.2'de, Tablo 4.3'te verilen bazı çizgilerin aşırı ince yapıları bir başka şiddetli çizginin aşırı ince yapı bileşenleri ile üst üste binmiş olarak gözlemlendi. Bunlara "blend durumu" denir. Ya da bazı şiddetli bir başka çizginin aşırı ince yapısı ile üst üste binmeyip hemen yanında gözlemlendi. Bu çizgiler de "yakın çizgiler" olarak adlandırıldı. Tablo 4.3'te blend durumunda olan ve ayrıca yakında bulunan çizgiler ve bunlara ait sınıflandırılmaları ile verildi. Tablo 4.3'te sadece 5 tane spektral çizgi sınıflandırılmadı.

Yeni bulunan 18 ince yapı enerji seviyesi kullanılarak sınıflandırılan 51 spektral çizgi Tablo 4.4'te dalgaboyları, ağırlık merkezlerinin enerjileri, alt ve üst enerji seviyeleri ve bunlara ait J değerleri verildi.

Tablo 4.3: FT spektrumunda, Tablo 4.2, Tablo 4.4'te a, b, c üst indisleriyle belirtilmiş olan spektral çizgiler (λ_{hava}), daha şiddetli çizgilerle ($\lambda_{\text{hava,n}}$) çok yakın olarak gözlenmiştir. Yakın çizgilerin geçiş bilgileri yorumlarıyla birlikte verilmiştir. Yakın çizgilerin bazılarının sınıflandırılması bilinmemektedir. SNR: FT spektrumunda gözlenen çizginin sinyal/gürültü oranıdır. $\Delta\lambda$, spectral çizgiler arasındaki dalgaboyu farkıdır ($\Delta\lambda = \lambda_{\text{hava}} - \lambda_{\text{hava,n}}$). Blend durumlarının çeşitleri, a ve b olarak verilmiştir. Dalgaboyları λ_{hava} , $\lambda_{\text{hava,n}}$ ve $\Delta\lambda$ “nm”, enerjiler $E_{\text{üst}}$ ve E_{alt} “cm⁻¹” cinsinden verilmiştir.

Tablo 1'deki Çizgi			Yakın Çizgi							
λ_{hava}	SNR		$\Delta\lambda$	$\lambda_{\text{hava,n}}$	SNR	Sınıflandırma				Yorum
						$E_{\text{üst}}$	J	E_{alt}	J	
414.8239	15	b	0.0054	414.8185	12					La
417.8299	20	b	0.0048	417.8251	20	13747.276	9/2	37673.94	7/2	La I
432.945	4	b	0.0014	432.9436	15					Ar ya da La
443.0931	4	b	-0.0065	443.0996	440					Ar II
564.8042	7	a	-0.0196	564.8238	800	27169.548	9/2	9919.826	9/2	La I
570.1025	11	a	-0.0114	570.1139	26	27455.312	7/2	9919.826	9/2	La I
580.2338	4	a	0.0260	580.2078	55	24910.375	3/2	7679.945	5/2	La I
582.2192	10	a	0.0215	582.1977	640	27132.434	7/2	9960.904	7/2	La I
587.325	3	b	-0.0050	587.3300	4	39307.26	7/2	22285.766	9/2	La I
590.1843	16	a	-0.0098	590.1941	8	39221.65	4	22282.90	5	La II
591.2210	15	a	0.0125	591.2085	160					Ar I

Tablo 4.3'ün devamı

Tablo 1'deki Çizgi			Yakın Çizgi							
λ_{hava}	SNR		$\Delta\lambda$	$\lambda_{\text{hava},n}$	SNR	<i>Sınıflandırma</i>				Yorum
						$E_{\text{üst}}$	J	E_{alt}	J	
591.5690	2	b	0.0051	591.5639	6	33756.45	7/2	16856.739	5/2	La I
604.4714	60	a	0.0200	604.4914	55	24984.294	5/2	8446.039	3/2	La I
714.5678	4	b	-0.0043	714.5721	3	44978.90	1/2	30988.239	3/2	La I
719.7517	9	b	-0.0140	719.7657	12	30169.834	3/2	16280.255	3/2	La I
1275.2696	15	b	0.0244	1275.2452	5					Ar ya da La

a: Aşırı ince yapı bileşenleri üst üste gelmeyen çizgiler (Yakın çizgi)

b: Aşırı ince yapı bileşenleri üst üste gelen çizgiler (Blend durumu)

Tablo 4.4: FT spektrumunda gözlenen ve bu çalışmada bulunan yeni ince yapı enerji seviyelerini içeren “klasifikasyon programı” ile doğrulanan yeni spektral geçişler. Dalgaboyu λ_{hava} “nm”, dalga sayısı $\bar{\nu}$ ve enerjiler “ cm^{-1} ” cinsinden verilmiştir.

λ_{hava}	$\bar{\nu}$	SNR	Çift Pariteli Enerji		Tek Pariteli Enerji	
			E	J	E	J
401.3350	24909.798	3	40106.64	7/2	15196.822	5/2
406.3395	24603.014	5	40106.64	7/2	15503.630	5/2
406.4546	24596.047	3	39792.88	5/2	15196.822	5/2
412.1275	24257.491	7	39276.99	5/2	15019.496	7/2
412.7114	24223.173	7	39242.660	5/2	15019.496	7/2
414.8239 ^b	24099.818	15	38903.885	5/2	14804.067	5/2
417.6969	23934.058	7	40472.456	5/2	16538.378	7/2
417.8299 ^b	23926.440	15	37186.805	3/2	13260.369	3/2
418.7784	23872.249	11	38903.885	5/2	15031.634	3/2
435.8714	22936.099	3	39792.88	5/2	16856.793	5/2
440.3219	22704.280	7	39242.660	5/2	16538.378	7/2
443.0929	22562.295	5	40472.456	5/2	17910.164	7/2
446.6475	22382.738	17	37186.805	3/2	14804.067	5/2
448.3027	22300.099	4	40472.456	5/2	18172.337	3/2
451.1471	22159.503	10	40106.64	7/2	17947.135	5/2
453.4473	22047.097	24	38903.885	5/2	16856.793	5/2
454.6250	21989.985	7	37186.805	3/2	15196.822	5/2
455.1028	21966.899	4	37186.805	3/2	15219.890	1/2
464.9273	21502.718	9	40106.64	7/2	18603.922	7/2
466.1707	21445.365	14	39242.660	5/2	17797.301	3/2
481.8642	20746.936	5	38903.885	5/2	18156.960	5/2
482.2219	20731.547	14	38903.885	5/2	18172.337	3/2
492.5563	20296.581	4	38206.750	5/2	17910.164	7/2
496.5288	20134.199	6	40472.456	5/2	20338.250	5/2
515.1877	19404.995	7	40852.85	5/2	21447.854	7/2
519.6146	19239.674	3	37186.805	3/2	17947.135	5/2
520.9509	19190.323	4	40852.85	5/2	21662.504	7/2
522.9030	19118.683	5	32749.715	3/2	13631.032	5/2

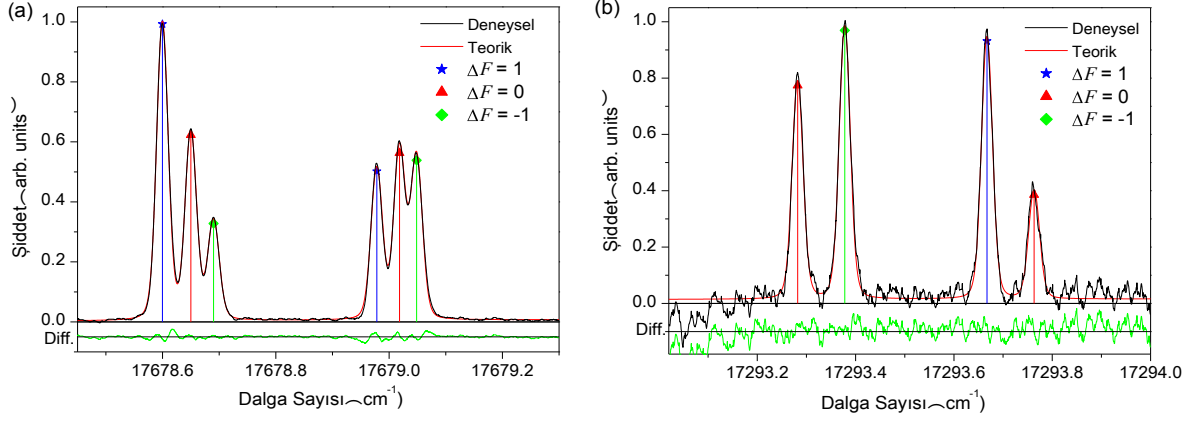
Tablo 4.4'ün devamı

λ_{hava}	$\bar{\nu}$	SNR	Çift Pariteli Enerji		Tek Pariteli Enerji	
			E	J	E	J
536.5238	18633.320	5	36543.480	5/2	17910.164	7/2
572.7091	17456.028	4	38903.885	5/2	21447.854	7/2
573.8233	17422.134	7	38185.340	7/2	20763.214	7/2
591.5690 ^b	16899.515	2	41148.51	11/2	24248.994	9/2
617.8443	16180.829	5	36298.200	9/2	20117.368	11/2
685.8054 ^b	14577.373	23	32749.715	3/2	18172.337	3/2
698.5997	14310.402	6	38185.340	7/2	23874.946	5/2
709.1849	14096.808	4	38185.340	7/2	24088.541	7/2
709.3484	14093.559	22	41148.51	11/2	27054.940	9/2
713.4554	14012.430	160*	36298.200	9/2	22285.766	9/2
714.4191	13993.528	6	38903.885	5/2	24910.375	3/2
714.5678 ^b	13990.616	4	39764.360	13/2	25773.78	13/2
735.1094	13599.670	4	39242.660	5/2	25643.001	3/2
738.9502	13528.985	4	41148.51	11/2	27619.548	9/2
839.8078	11904.215	3	36543.480	5/2	24639.262	3/2
848.8403	11777.543	15	32749.715	3/2	20972.166	5/2
872.3521	11460.113	14	36543.480	5/2	25083.356	7/2
1092.5475	9150.413	5	36543.480	5/2	27393.027	5/2
1151.9377	8678.649	22	36298.200	9/2	27619.548	9/2
1165.7417	8575.882	10	32749.715	3/2	24173.830	3/2
1251.6744	7987.113	9	32749.715	3/2	24762.602	3/2
1275.2696 ^b	7839.334	15	32749.715	3/2	24910.375	3/2
1419.8054	7041.294	9	36543.480	5/2	29502.176	5/2

* - Atomik dalgaboyu tablolarında [11,12,13,14] yer alan La I spektral çizgi

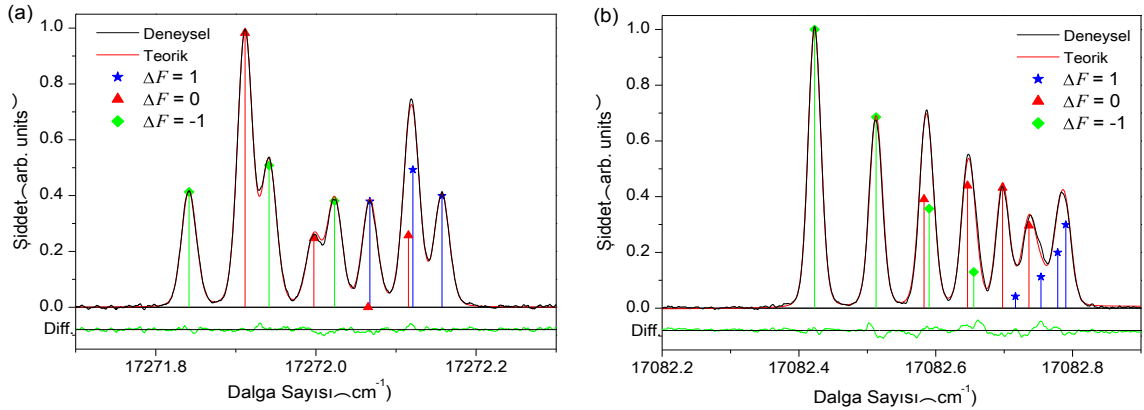
^b - Tablo 4.2'de yer alan diğer çizgi ile blend durumundaki çizgi

LIF yöntemiyle incelenen tamamen ayrılmış spektral çizgilere örnek olarak, dalgaboyları $\lambda = 565.4871 \text{ nm}$ ve $\lambda = 578.0919 \text{ nm}$ olan spektral çizgiler Şekil 4.4'te verildi.



Şekil 4.4: Tamamen ayrılmış çizgi örnekleri: (a) ($\lambda = 565.4871 \text{ nm}$) $17678.962 \text{ cm}^{-1}$ dalga sayılı spektral geçişin en iyi fit edilmiş hali. $7231.416 \text{ cm}^{-1}, J = 1/2 \rightarrow 24910.375 \text{ cm}^{-1}, J = 3/2$
 (b) ($\lambda = 578.0919 \text{ nm}$) $17293.491 \text{ cm}^{-1}$ dalga sayılı spektral geçişin en iyi fit edilmiş hali. $17567.517 \text{ cm}^{-1}, J = 1/2 \rightarrow 34861.01 \text{ cm}^{-1}, J = 1/2$

Şekil 4.5'te, kısmen ayrılmış çizgilere örnek olarak dalgaboyları $\lambda = 578.8082 \text{ nm}$ ve $\lambda = 585.2268 \text{ nm}$ olan spektral çizgiler verildi. Bu şekillerde siyah spektrum deneysel, kırmızı spektrum fit sonucu oluşan teorik, yeşil spektrum ise deneysel ve teorik arasındaki farkı gösteren spektrumlardır. Her bir spektral çizginin aşırı ince yapı geçişlerinde $\Delta F = 0, \pm 1$ kuralı geçerlidir. Şekillerde bu kurala göre, $\Delta F = 0$ geçişleri kırmızı, $\Delta F = +1$ geçişleri mavi, $\Delta F = -1$ geçişleri yeşil renkle gösterildi.



Şekil 4.5: Kısmen ayrılmış çizgi örnekleri: (a) ($\lambda = 578.8082 \text{ nm}$) $17272.090 \text{ cm}^{-1}$ dalga sayılı spektral geçişin en iyi fit edilmiş hali. $7490.521 \text{ cm}^{-1}, J = 3/2 \rightarrow 24762.602 \text{ cm}^{-1}, J = 3/2$
 (b) ($\lambda = 585.2268 \text{ nm}$) $17082.657 \text{ cm}^{-1}$ dalga sayılı spektral geçişin en iyi fit edilmiş hali. $7679.945 \text{ cm}^{-1}, J = 5/2 \rightarrow 24762.602 \text{ cm}^{-1}, J = 3/2$

LIF ve OGS yöntemiyle incelenen 96 tane La I spektral geçişinin fit işlemi gerçekleştirildi. Her bir spektral çizgi alınan 5 ölçümün analizi Voigt veya Gauss profili ile fit edildi. Tamamen ayrılmış spektral çizgilerin Voigt çizgi profili ile fit edilme işlemi sonucunda Gauss/Voigt oranının 0.9 civarında olduğu görüldü. Çok az ayrılmış çizgilerin analizi yapılırken bu oran 0.9'a sabitlendi. Fit işlemi sırasında bu çizgilerin alt enerji seviyelerine ait aşırı ince yapı sabitleri referanslardan bilinen değerleri ile sabit tutuldu. Spektral çizgilerin tamamında elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B , "0" olarak alındı.

LIF ve OGS yöntemi ile ölçülen her bir spektral çizgiye ait en iyi fit sonuçlarını veren spektrumlar EK-2'de verildi. Bu grafiklerde siyah spektrum deneysel, kırmızı spektrum fit sonucu oluşan teorik, yeşil spektrum ise deneysel ve teorik arasındaki farkı gösteren spektrumlardır. Her bir spektral çizginin aşırı ince yapı geçişlerinde $\Delta F = 0, \pm 1$ kuralı geçerlidir. Grafiklerde bu kurala göre, $\Delta F = 0$ geçişleri kırmızı, $\Delta F = +1$ geçişleri mavi, $\Delta F = -1$ geçişleri yeşil renkle gösterildi.

Analiz sonucunda üst enerji seviyelerine ait 73 manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A değerleri elde edildi. Bulunan A değerleri hatalarıyla birlikte Tablo 4.5'te verildi. E enerji seviyeleri, J toplam açısal momentum değerleri ve pariteleri sırasıyla 1., 2. ve 3. sütunda verilmiştir. 4. sütunda bu çalışmada belirlenen A sabitleri yazıldı. Eğer literatürde varsa, her A sabitinin yanına referans değerleri yazılarak karşılaştırma yapıldı. Geçişlerin üst enerji seviyelerine ait 5 ölçümün ortalama A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri standart sapmalarıyla birlikte verildi. Bu çalışmada elde edilen A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitlerinin literatürde olan değerleriyle uyum içinde oldukları gözlemlendi ve karşılaştırıldıklarında standart sapmalarının daha az olduğu görüldü. Farklı geçişlerle birden çok kez ölçülen üst enerji seviyelerinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri ağırlıklı ortalama değeri hesaplanarak verildi.

Tablo 4.5'te yer alan aşırı ince yapı sabitlerinden bir tane tek pariteli ve dört tane çift pariteli ince yapı enerji seviyesinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti ilk defa bu çalışmada bulundu.

Tablo 4.5: La I ince yapı enerji seviyelerinin belirlenen manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A değerleri hataları ile birlikte ve literatürdeki değerlerle (referans bilgileri ile) karşılaştırmalı olarak verilmiştir. λ_{hava} uyarma dalgaboyudur. Enerjiler cm^{-1} , A değerleri MHz, λ dalgaboyları nm cinsinden verilmiştir.

E	J	Parite	A	$A_{\text{ref.}}$	Ref.	λ_{hava}
20117.368*	11/2	o	61.9 (1.1)			623.1689
23704.816	3/2	o	105.8 (1.0)	105.1 (2.0)	[34]	598.8808
24762.602	3/2	o	418.9 (2)	418.0 (1.0)	[34]	578.8082, 585.2268
24910.375	3/2	o	-300.7 (2)	-301.3 (5)	[34]	565.4871
24984.294	5/2	o	283.7 (4)	284.5 (1.7)	[34]	577.7289
25089.316	9/2	o	3.0 (7)	5.0 (3.4)	[34]	586.7901
25218.265	5/2	o	99.9 (5)	100.7 (5)	[24]	570.0218
25380.280	7/2	o	389.8 (3)	391.0 (5)	[34]	564.8042
25616.928	1/2	o	-297.3 (6)	-297.3(1.5)	[34]	582.2192
25643.001	3/2	o	275.09 (3)	273.3 (2)	[36]	607.3950
25950.323	3/2	o	480.3 (1.3)	478.5 (1.9)	[34]	591.3383
28893.526	1/2	o	-455.5 (4)	-451.3 (7.5)	[34]	607.2570
29578.815*	5/2	e	-43.9 (5.2)			710.2744, 741.6607
29775.588	5/2	o	469.9 (3)	467.9 (3.9)	[34]	604.5275
30169.834	5/2	e	409.4 (5)	407 (3)	[38]	591.2210, 604.4714
30305.597	5/2	e	-180.1 (6)	-187.3 (3.0)	[37]	599.5497
30908.886	5/2	e	935.0 (1.9)	932 (7)	[37]	578.6152
31059.702	7/2	e	209.8 (7)	210.3 (3.0)	[37]	615.0011
31061.838*	1/2	e	-871.0 (5.6)			740.8481
31247.796	3/2	e	-420.8 (2)	-425.3 (1.5)	[37]	607.9665
31287.605	7/2	e	805.6 (4)	799 (5)	[37]	606.4984
31351.600	5/2	e	307.7 (7)	308.5 (4.0)	[37]	612.5768
31688.660	3/2	e	-208.4 (7)	-204 (4)	[38]	607.0419
31924.993	7/2	e	514.4 (3)	513 (2)	[38]	608.7943
32108.512	7/2	e	-68.5 (3.0)	-69.5 (3.0)	[37]	740.2851
32219.536	7/2	e	162.4 (5)	160 (9)	[36]	587.2876
32348.346	5/2	e	217.0 (1.0)	210.4 (2.6)	[37]	622.1793
32872.945	5/2	e	563.4 (5)	562 (5)	[36]	575.5683
33753.424	9/2	e	163.0 (2)	160.9 (3.3)	[37]	580.7263
34239.623	9/2	o	-94.3 (1)	-99.3 (2.0)	[34]	580.6845
34245.05	11/2	o	417.0 (8)	419.5 (2.1)	[34]	584.4893

Tablo 4.5'in devamı

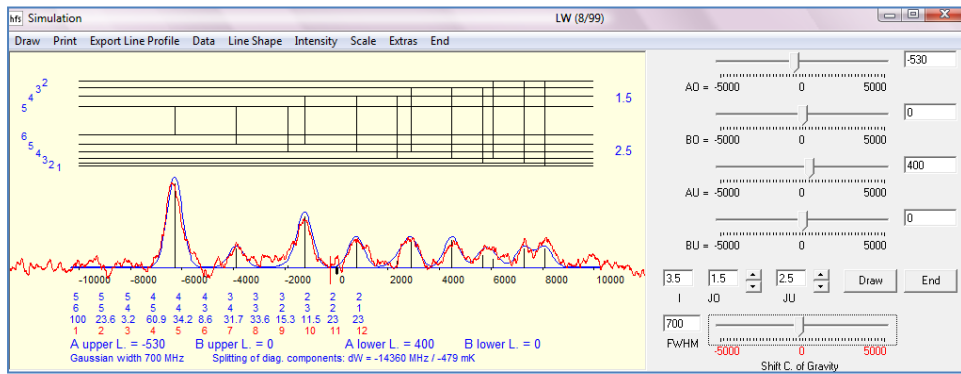
E	J	Parite	A	$A_{\text{ref.}}$	Ref.	λ_{hava}
34272.490	7/2	e	269.1 (9)	262 (1)	[38]	620.3478
34482.280	7/2	e	487.6 (9)	489 (2)	[38]	603.2561
34526.709	9/2	e	49.3 (3)	48 (1)	[38]	601.6433
34529.896	5/2	e	56.3 (1.8)	59 (2)	[38]	597.4704
34861.01	1/2	e	-718.1 (1)	-716 (5)	[38]	578.0919
34880.760	5/2	e	-26.6 (8)	-21 (2)	[38]	590.382
34968.760	7/2	e	162.9 (1.1)	163 (3)	[38]	586.0525, 587.325
35009.990	3/2	e	-111.5 (1.7)	-105 (2)	[38]	593.7425
35096.124	7/2	e	183.7 (1.2)	180 (2)	[38]	590.1843
35117.700	5/2	e	158.2 (9)	160.5 (1.5)	[38]	582.2306
35169.566	9/2	e	170.1 (5)	186 (7)	[38]	579.2338
35446.006	9/2	e	68.6 (7)	69 (1)	[38]	570.1025
35537.177*	1/2	e	794.2 (3.1)			575.7166
35570.492	7/2	e	384.1 (7)	377 (1)	[38]	589.2310
35839.845	7/2	e	-208.8 (1.0)	-209 (5)	[37]	565.3616
35875.976	3/2	e	1191.5(2.0)	1189.2(2.4)	[37]	564.2088
35907.065	7/2	e	242.5 (1.4)	240.5 (4.0)	[37]	604.878
36687.140	5/2	e	168.8 (1.5)	164.5 (2.0)	[37]	577.6161
36853.596	3/2	e	392.9 (2.9)	394.4 (2.9)	[37]	605.3298
37248.626	3/2	e	385.6 (8)	383.7(1.0)	[37]	580.2338
39391.234*	9/2	e	146.2 (2.3)			713.5306
41014.465	9/2	e	67.7 (6)	74.2 (3.0)	[36]	602.0697
42123.70	9/2	e	119.9 (1.7)	122.2(4.0)	[36]	578.4665
43004.90	13/2	e	105.6 (3)	97.6 (3.0)	[37]	583.5957

* - İlk defa belirlenen aşırı ince yapı sabiti A değerleri.

- $J = 3/2$, $32749.715 \text{ cm}^{-1}$ İnce Yapı Enerji Seviyesinin Bulunması :

FT spektrumunda sinyal/gürültü oranı (SNR) 6 olup düşük şiddetli, ağırlık merkezi dalgaboyu $\lambda = 569.549 \text{ nm}$ ($\bar{\nu} = 17552.881 \text{ cm}^{-1}$) olan spektral çizgi için klasifikasyon programında hiçbir geçiş önerisi bulunamadı. Bunun anlamı bu çizginin alt ve üst enerji seviyelerinden birisi ya da her ikisi de bilinmiyor demektir.

İncelenen $\lambda = 569.549 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin FT spektrumundaki görünüşü Şekil 4.7a'da gösterildi. Deney sırasında laser dalgaboyu, Şekil 4.7a'da görülen çizginin en yüksek pikine ayarlayanak floresans sinyalleri arandı. Laser Uyarılmış Floresans (LIF) yöntemi ile bulunan 657.9 nm negatif ve 629.0 nm pozitif floresanslarında sinyal görüldü. Monokromatör, en yüksek şiddetli floresans çizgisi olarak gözlenen 657.9 nm dalgaboyuna ayarlandı ve uyarılan çizginin aşırı ince yapısı kaydedildi. Bu aşırı ince yapı örneği simülasyon programı yardımıyla simüle edildi. Şekil 4.6'da 569.549 nm spektral çizgisinin simüle edilmiş hali verildi. Şekil 4.6'da, kırmızı renk ile gösterilen LIF yöntemi ile elde edilen spektrumdur. Mavi renkle gösterilen ise geçişin alt ve üst enerji seviyeleri için tahmin edilen aşırı ince yapı sabitleri A , B ve toplam açısal momentum J değerleri için simülasyon programının oluşturduğu teorik aşırı ince yapı örneğidir. İncelenen geçişteki üst ve alt enerji seviyeleri için toplam açısal momentum değerlerinin sırasıyla $3/2$, $5/2$ ve manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A değerlerinin de yaklaşık olarak sırasıyla -530 MHz ve 400 MHz olabileceği tahmin edildi.



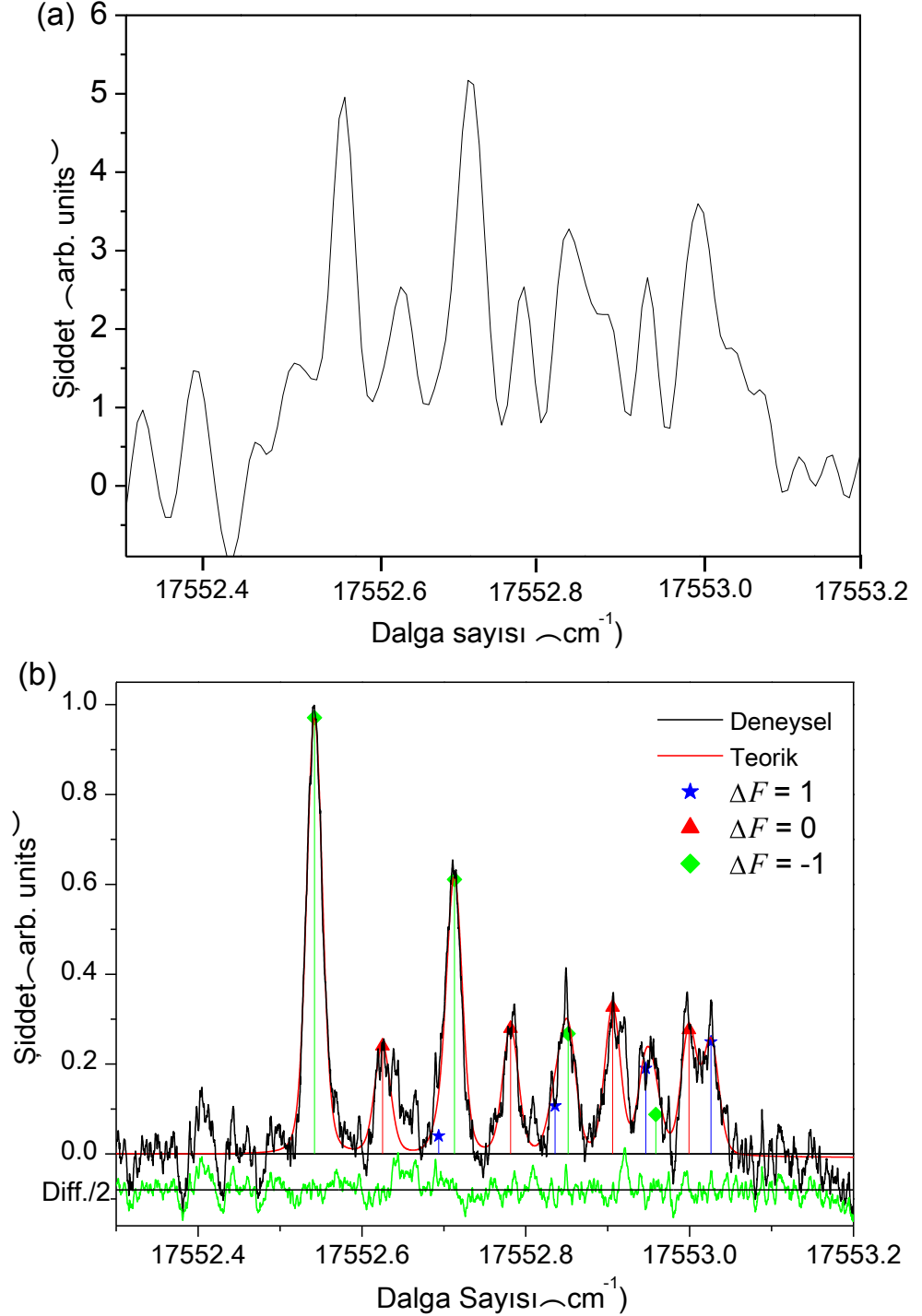
Şekil 4.6: 569.5487 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.

Klasifikasyon [70] programı yardımıyla, deneyde elde edilen 657.9 nm negatif floresans (FT spektrumundaki ağırlık merkezi dalgaboyu: 657.851 nm) çizgisinin literatürden bilinen $15196.822 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2 \rightarrow 0.0 \text{ cm}^{-1}$, $J = 3/2$ spektral geçişi olduğu

görüldü. Sonraki adımda, Klasifikasyon [70] programının çalışabilmesi için gerekli giriş datalarından (Bkz. 3.8.1) La I elementine ait literatürde bilinen alt enerji seviyelerine bakarak, manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A yaklaşık 400 MHz olan bir seviye arandı. $A = 410.4(4) \text{ MHz}$ olan $15196.822 \text{ cm}^{-1}$, tek pariteli, $J = 5/2$ enerji seviyesi bulundu. Dolayısıyla seçilen seviye, uyarılan $\lambda = 569.5487 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin alt enerji seviyesi olarak belirlendi. Bu durumda, incelenen 569.549 nm spektral çizgisinde bilinmeyen seviyenin üst enerji seviyesi olduğu anlaşıldı. Geçişin dalga sayısı ($17552.881 \text{ cm}^{-1}$) alt enerji seviyesine ($15196.822 \text{ cm}^{-1}$) eklendiğinde La I elementine ait yeni üst enerji seviyesi elde edildi. 569.549 nm spektral geçişinden bulunan yeni üst enerji seviyesi $32749.703 \text{ cm}^{-1}$ olarak bulundu. Uyarılan spektral geçişin alt enerji seviyesi olarak belirlenen $15196.822 \text{ cm}^{-1}$ tek pariteli olduğuna göre, bulunan $32749.703 \text{ cm}^{-1}$ üst enerji seviyesinin paritesi çift olmalıdır (Bkz. 3.1.5).

569.549 nm dalgaboylu spektral çizgi için 5 ölçüm alındı. Alınan aşırı ince yapı örnekleri Fitter [8] programı ile fit işlemi sonucunda $32749.703 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi için manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A = -522.3(2.8) \text{ MHz}$ olarak belirlendi. Fit sırasında elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B "0" alındı. Şekil 4.7b'de, LIF yöntemi ile ölçülmüş 569.549 nm dalgaboylu geçişin en iyi fit edilmiş şekli verildi.

Bulunan $32749.703 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesini kanıtlamak için, daha önce bahsedildiği gibi, ikinci uyarma işlemi yapıldı. Deney sırasında gözlenen 629.0365 nm dalgaboyuna sahip pozitif floresans çizgisine laser uyarımı yapılarak, uyarılan spektral çizgi Optogalvanik Spektroskopisi (OGS) yöntemi ile ölçüldü ve 629.0365 nm dalgaboylu spektral çizginin en iyi fit edilmiş hali Şekil.Ek2.76'da verildi. Kaydedilen spektrumun fit işlemi yapıldıktan sonra, ilk uyarma sonucundaki hesaplamalar aynen yapılarak, $32749.715 \text{ cm}^{-1}$, $J = 3/2$, çift pariteli La I enerji seviyesinin doğruluğu kanıtlandı. $32749.703 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi için elde edilen aşırı ince yapı sabiti kullanılarak simüle edilen spektral çizgi ile FT spektrumundaki aşırı ince yapı örneğinin karşılaştırılmasıyla, incelenen 569.549 nm dalgaboyunun kesin olarak 569.5487 nm olduğu belirlendi. Bulunan enerji seviyesine olan tüm geçişlerin dalgaboylarını hesaba katarak, enerji $32749.703 (10) \text{ cm}^{-1}$ olarak düzeltildi.

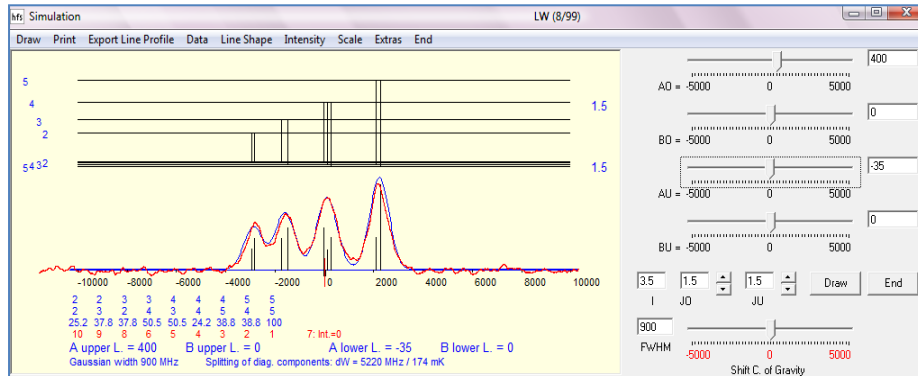


Şekil 4.7: Yeni $32749.715 \text{ cm}^{-1}$ La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 569.5487 \text{ nm}$ $\bar{\nu} = 17552.890 \text{ cm}^{-1}$ ($15196.822 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2 \rightarrow 32749.715 \text{ cm}^{-1}$, $J = 3/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen kısmen ayrılmış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.

- $J = 3/2$, $37186.715 \text{ cm}^{-1}$ *İnce Yapı Enerji Seviyesinin Bulunması* :

FT spektrumunda sinyal/gürültü oranı (SNR) 6 olup düşük şiddetli, ağırlık merkezi dalgaboyu $\lambda = 582.323 \text{ nm}$ ($\bar{\nu} = 17167.840 \text{ cm}^{-1}$) olan spektral çizgi için klasifikasyon programında hiçbir geçiş önerisi bulunamadı. Bunun anlamı bu çizginin alt ve üst enerji seviyelerinden birisi ya da her ikisi de bilinmiyor demektir.

İncelenen $\lambda = 582.323 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin FT spektrumundaki görünüşü Şekil 4.9a'da gösterildi. Deney sırasında laser dalgaboyu, Şekil 4.9a'da görülen çizginin en yüksek pikine ayarlayanak floresans sinyalleri arandı. Laser Uyarılmış Floresans (LIF) yöntemi ile bulunan 527.1 nm , 704.7 nm negatif floresanslarında sinyal görüldü. Monokromatör, en yüksek şiddetli floresans çizgisi olarak gözlenen 527.1 nm dalgaboyuna ayarlandı ve uyarılan çizginin aşırı ince yapısı kaydedildi. Bu aşırı ince yapı örneği simülasyon programı yardımıyla simüle edildi. Şekil 4.8'de 582.323 nm spektral çizgisinin simüle edilmiş hali verildi. Şekil 4.8'de, kırmızı renk ile gösterilen LIF yöntemi ile elde edilen spektrumdur. Mavi renkle gösterilen ise geçişin alt ve üst enerji seviyeleri için tahmin edilen aşırı ince yapı sabitleri A , B ve toplam açısal momentum J değerleri için simülasyon programının oluşturduğu teorik aşırı ince yapı örneğidir. İncelenen geçişteki üst ve alt enerji seviyeleri için toplam açısal momentum değerlerinin sırasıyla $3/2$, $3/2$ ve manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A değerlerinin de yaklaşık olarak sırasıyla 400 MHz ve -35 MHz olabileceği tahmin edildi.



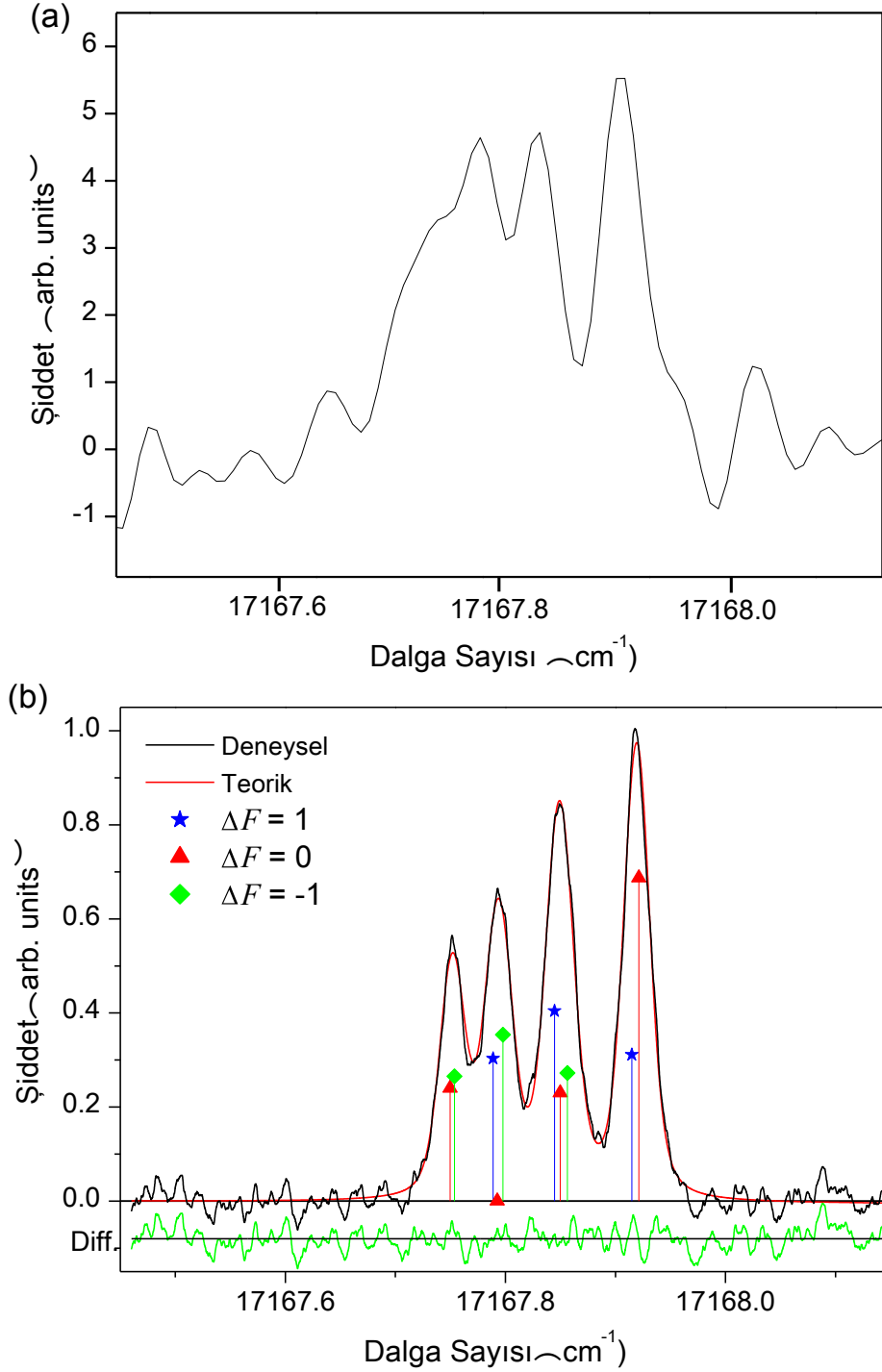
Şekil 4.8: 582.323 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.

Klasifikasyon [70] programı yardımıyla, deneyde elde edilen 527.1 nm negatif floresans (FT spektrumundaki ağırlık merkezi dalgaboyu: 527.1177 nm) çizgisinin literatürden bilinen $20018.977 \text{ cm}^{-1}$, $J = 3/2 \rightarrow 1053.161 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2$ spektral geçişi olduğu

görüldü. Sonraki adımda, Klasifikasyon [70] programının çalışabilmesi için gerekli giriş datalarından (Bkz. 3.8.1) La I elementine ait literatürde bilinen alt enerji seviyelerine bakarak, manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A yaklaşık -35 MHz olan bir seviye arandı. $A = -38.7(5.2) \text{ MHz}$ olan $20018.977 \text{ cm}^{-1}$, tek pariteli, $J = 3/2$ enerji seviyesi bulundu. Dolayısıyla seçilen seviye, uyarılan $\lambda = 582.323 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin alt enerji seviyesi olarak belirlendi. Bu durumda, incelenen 582.323 nm spektral çizgisinde bilinmeyen seviyenin üst enerji seviyesi olduğu anlaşıldı. Geçişin dalga sayısı ($17167.840 \text{ cm}^{-1}$), alt enerji seviyesine ($20018.977 \text{ cm}^{-1}$) eklendiğinde La I elementine ait yeni üst enerji seviyesi elde edildi. 582.323 nm spektral geçişinden bulunan yeni üst enerji seviyesi $37186.817 \text{ cm}^{-1}$ olarak bulundu. Uyarılan spektral geçişin alt enerji seviyesi olarak belirlenen $20018.977 \text{ cm}^{-1}$ tek pariteli olduğuna göre, bulunan $37186.817 \text{ cm}^{-1}$ üst enerji seviyesinin paritesi çift olmalıdır (Bkz. 3.1.5).

582.323 nm dalgaboylu spektral çizgi için 5 ölçüm alındı. Alınan aşırı ince yapı örnekleri Fitter [8] programı ile fit işlemi sonucunda $37186.817 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi için manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A = 390.2(1.9) \text{ MHz}$ olarak belirlendi. Fit işlemi sırasında elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B "0" alındı. Şekil 4.9b'de, LIF yöntemi ile ölçülmüş 582.323 nm dalgaboylu geçişin en iyi fit edilmiş şekli verildi.

Bulunan $37186.817 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesini kanıtlamak için, daha önce bahsedildiği gibi, ikinci uyarma işlemi yapıldı. 444.7567 nm ve 432.945 nm dalgaboylu spektral çizgilerin sınıflandırılması sırasıyla $14708.913 \text{ cm}^{-1}$ ve $14095.677 \text{ cm}^{-1}$ alt enerji seviyelerinden bilinmeyen bir üst enerji seviyesine olan iki geçiş incelenerek, bu spektral çizgilere laser uyarımı yapıldı. Uyarılan spektral çizgiler Optogalvanik Spektroskopisi (OGS) yöntemi ile ölçüldü. 444.7567 nm ve 432.945 nm dalgaboylu spektral çizgilerin en iyi fit edilmiş halleri sırasıyla Şekil.Ek2.9'da ve Şekil.Ek2.3'de verildi. Kaydedilen spektrumların fit işlemi yapıldıktan sonra, ilk uyarma durumu sonucundaki hesaplamalar aynen yapılarak, $37186.817 \text{ cm}^{-1}$, $J = 3/2$, çift pariteli La I enerji seviyesinin doğruluğu kanıtlandı. $37186.817 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi için elde edilen aşırı ince yapı sabiti kullanılarak simüle edilen spektral çizgi ile FT spektrumundaki aşırı ince yapı örneğinin karşılaştırılmasıyla, incelenen 582.323 nm dalgaboyunun kesin olarak 582.3234 nm olduğu belirlendi. Bulunan enerji seviyesine olan tüm geçişlerin dalgaboylarını hesaba katarak, enerji $37186.805 (10) \text{ cm}^{-1}$ olarak düzeltildi.

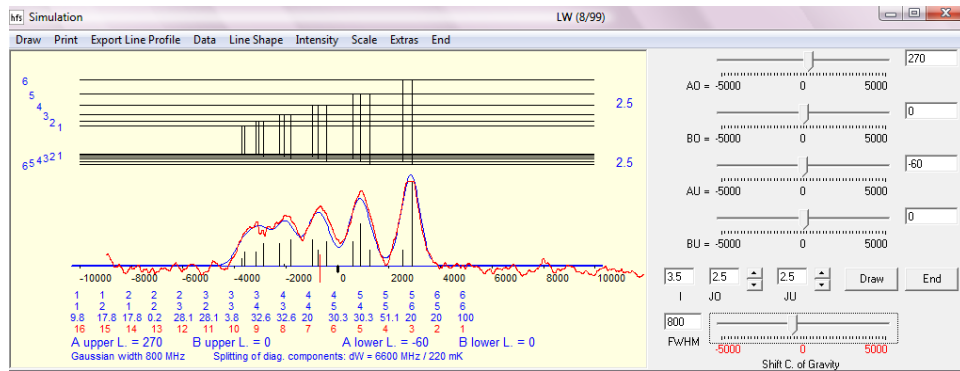


Şekil 4.9: Yeni $37186.805 \text{ cm}^{-1}$ La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 582.3234 \text{ nm}$ $\bar{\nu} = 17167.828 \text{ cm}^{-1}$ ($20018.977 \text{ cm}^{-1}$, $J = 3/2 \rightarrow 37186.805 \text{ cm}^{-1}$, $J = 3/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen kısmen ayrılmış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.

- $J = 5/2$, $36543.480 \text{ cm}^{-1}$ İnce Yapı Enerji Seviyesinin Bulunması :

FT spektrumunda sinyal/gürültü oranı (SNR) 4 olup düşük şiddetli, ağırlık merkezi dalgaboyu $\lambda = 582.450 \text{ nm}$ ($\bar{\nu} = 17164.096 \text{ cm}^{-1}$) olan spektral çizgi için klasifikasyon programında hiçbir geçiş önerisi bulunamadı. Bunun anlamı bu çizginin alt ve üst enerji seviyelerinden birisi ya da her ikisi de bilinmiyor demektir.

İncelenen $\lambda = 582.450 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin FT spektrumundaki görünüşü Şekil 4.11a'da gösterildi. Deney sırasında laser dalgaboyu, Şekil 4.11a'da görülen çizginin en yüksek pikine ayarlayanak floresans sinyalleri arandı. Laser Uyarılmış Floresans (LIF) yöntemi ile bulunan 554.5 nm , 516.0 nm negatif floresanslarında sinyal görüldü. Monokromatör, en yüksek şiddetli floresans çizgisi olarak gözlenen 554.5 nm dalgaboyuna ayarlandı ve uyarılan çizginin aşırı ince yapısı kaydedildi. Bu aşırı ince yapı örneği simülasyon programı yardımıyla simüle edildi. Şekil 4.10'da 582.450 nm spektral çizgisinin simüle edilmiş hali verildi. Şekil 4.10'da, kırmızı renk ile gösterilen LIF yöntemi ile elde edilen spektrumdur. Mavi renkle gösterilen ise geçişin alt ve üst enerji seviyeleri için tahmin edilen aşırı ince yapı sabitleri A , B ve toplam açısal momentum J değerleri için simülasyon programının oluşturduğu teorik aşırı ince yapı örneğidir. İncelenen geçişteki üst ve alt enerji seviyeleri için toplam açısal momentum değerlerinin sırasıyla $5/2$, $5/2$ ve manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A değerlerinin de yaklaşık olarak sırasıyla 270 MHz ve -60 MHz olabileceği tahmin edildi.



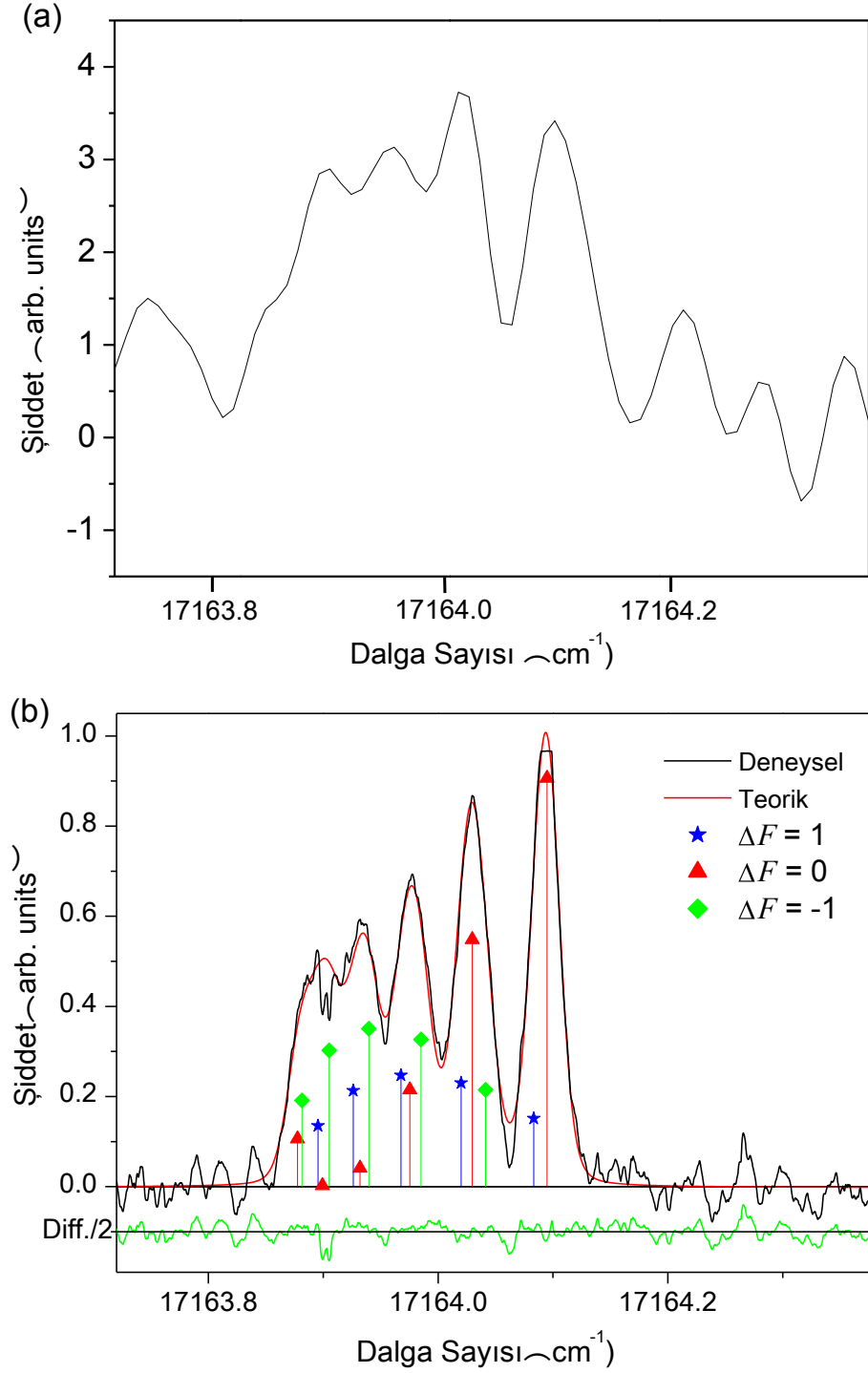
Şekil 4.10: 582.450 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.

Klasifikasyon [70] programı yardımıyla, deneyde elde edilen 516.0 nm negatif floresans (FT spektrumundaki ağırlık merkezi dalgaboyu 515.8682 nm) çizgisinin literatürden bilinen $19379.397 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2 \rightarrow 0.0 \text{ cm}^{-1}$, $J = 3/2$ spektral geçişi olduğu

görüldü. Sonraki adımda, Klasifikasyon [70] programının çalışabilmesi için gerekli giriş datalarından (Bkz. 3.8.1) La I elementine ait literatürde bilinen alt enerji seviyelerine bakarak, manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A yaklaşık -60 MHz olan bir seviye arandı. $A = -58.1(6)$ MHz olan 19379.397 cm^{-1} , tek pariteli, $J = 3/2$ enerji seviyesi bulundu. Dolayısıyla seçilen seviye, uyarılan $\lambda = 582.450$ nm dalgaboylu spektral çizginin alt enerji seviyesi olarak belirlendi. Bu durumda, incelenen 582.450 nm spektral çizgisinde bilinmeyen seviyenin üst enerji seviyesi olduğu anlaşıldı. Geçişin dalga sayısı (17164.096 cm^{-1}) alt enerji seviyesine (19379.397 cm^{-1}) eklendiğinde La I elementine ait yeni üst enerji seviyesi elde edildi. 582.450 nm spektral geçişinden bulunan yeni üst enerji seviyesi 36543.493 cm^{-1} olarak bulundu. Uyarılan spektral geçişin alt enerji seviyesi olarak belirlenen 19379.397 cm^{-1} tek pariteli olduğuna göre, bulunan 36543.493 cm^{-1} üst enerji seviyesinin paritesi çift olmalıdır (Bkz. 3.1.5).

582.450 nm dalgaboylu spektral çizgi için 5 ölçüm alındı. Alınan aşırı ince yapı örnekleri Fitter [8] programı ile fit işlemi sonucunda 36543.493 cm^{-1} enerji seviyesi için manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A = 266.8(2.9)$ MHz olarak belirlendi. Fit işlemi sırasında, elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B "0" alındı. Şekil 4.11b'de, LIF yöntemi ile ölçülmüş 582.450 nm dalgaboylu geçişin en iyi fit edilmiş şekli verildi.

Bulunan 36543.493 cm^{-1} enerji seviyesini kanıtlamak için, daha önce bahsedildiği gibi, ikinci uyarma işlemi yapıldı. Bunun için, 36543.493 cm^{-1} enerji seviyesi Klasifikasyon [70] programındaki, Level_La giriş dosyasına eklendi ve bu seviye ile birlikte programda mümkün olabilecek geçişler arandı. Bulunan geçişlerden 662.2605 nm dalgaboyuna sahip çizgiye laser uyarımı yapılarak, uyarılan spektral çizgi Optogalvanik Spektroskopisi (OGS) yöntemi ile ölçüldü ve 662.2605 nm dalgaboylu spektral çizginin en iyi fit edilmiş hali Şekil.Ek2.88'de verildi. Kaydedilen spektrumun fit işlemi yapıldıktan sonra, ilk uyarma durumu sonucundaki hesaplamalar aynen yapılarak, 36543.493 cm^{-1} , $J = 5/2$, çift pariteli La I enerji seviyesinin doğruluğu kanıtlandı. 36543.493 cm^{-1} enerji seviyesi için elde edilen aşırı ince yapı sabiti kullanılarak simüle edilen spektral çizgi ile FT spektrumundaki aşırı ince yapı örneğinin karşılaştırılmasıyla, incelenen 582.450 nm dalgaboyunun kesin olarak 582.4504 nm olduğu belirlendi. Bulunan enerji seviyesine olan tüm geçişlerin dalgaboylarını hesaba katarak, enerji $36543.480(10)$ cm^{-1} olarak düzeltilti.

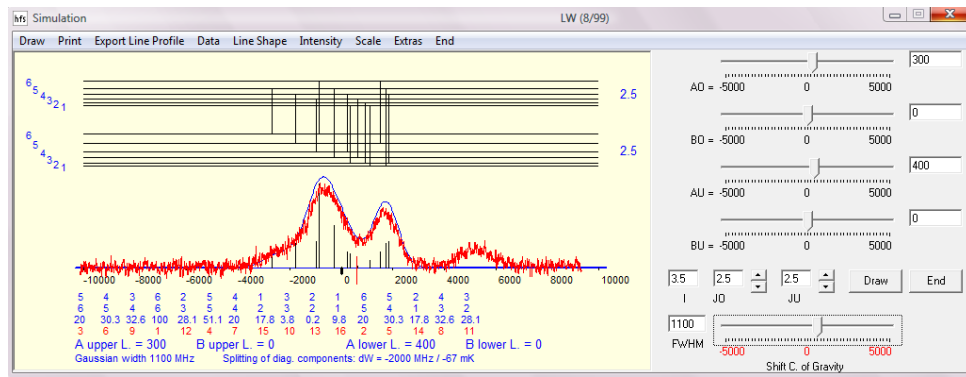


Şekil 4.11: Yeni $36543.480 \text{ cm}^{-1}$ La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 582.4504 \text{ nm}$ $\bar{\nu} = 17164.085 \text{ cm}^{-1}$ ($19379.397 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2 \rightarrow 36543.480 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen kısmen ayrılmış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.

- $J = 5/2$, $38206.750 \text{ cm}^{-1}$ *İnce Yapı Enerji Seviyesinin Bulunması* :

FT spektrumunda sinyal/gürültü oranı (SNR) 4 olup düşük şiddetli, ağırlık merkezi dalgaboyu $\lambda = 434.473 \text{ nm}$ ($\bar{\nu} = 23009.921 \text{ cm}^{-1}$) olan spektral çizgi için klasifikasyon programında hiçbir geçiş önerisi bulunamadı. Bunun anlamı bu çizginin alt ve üst enerji seviyelerinden birisi ya da her ikisi de bilinmiyor demektir.

İncelenen $\lambda = 434.473 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin FT spektrumundaki görünüşü Şekil 4.13a'da gösterildi. Deney sırasında laser dalgaboyu, Şekil 4.13a'da görülen çizginin en yüksek pikine ayarlayarak floresans sinyalleri arandı. Arama sonucunda gözlenen floresanslar çok düşük olduğundan, LIF spektrumu alınamadı. Bu spektral çizgi OGS yöntemi ile ölçüldü. Bu aşırı ince yapı örneği simülasyon programı yardımıyla simüle edildi. Şekil 4.12'de 434.473 nm spektral çizgisinin simüle edilmiş hali verildi. Şekil 4.12'de, kırmızı renk ile gösterilen LIF yöntemi ile elde edilen spektrumdur. Mavi renkle gösterilen ise geçişin alt ve üst enerji seviyeleri için tahmin edilen aşırı ince yapı sabitleri A , B ve toplam açısal momentum J değerleri için simülasyon programının oluşturduğu teorik aşırı ince yapı örneğidir. İncelenen geçişteki üst ve alt enerji seviyeleri için toplam açısal momentum değerlerinin sırasıyla $5/2$, $5/2$ ve manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A değerlerinin de yaklaşık olarak sırasıyla 300 MHz ve 400 MHz olabileceği tahmin edildi.



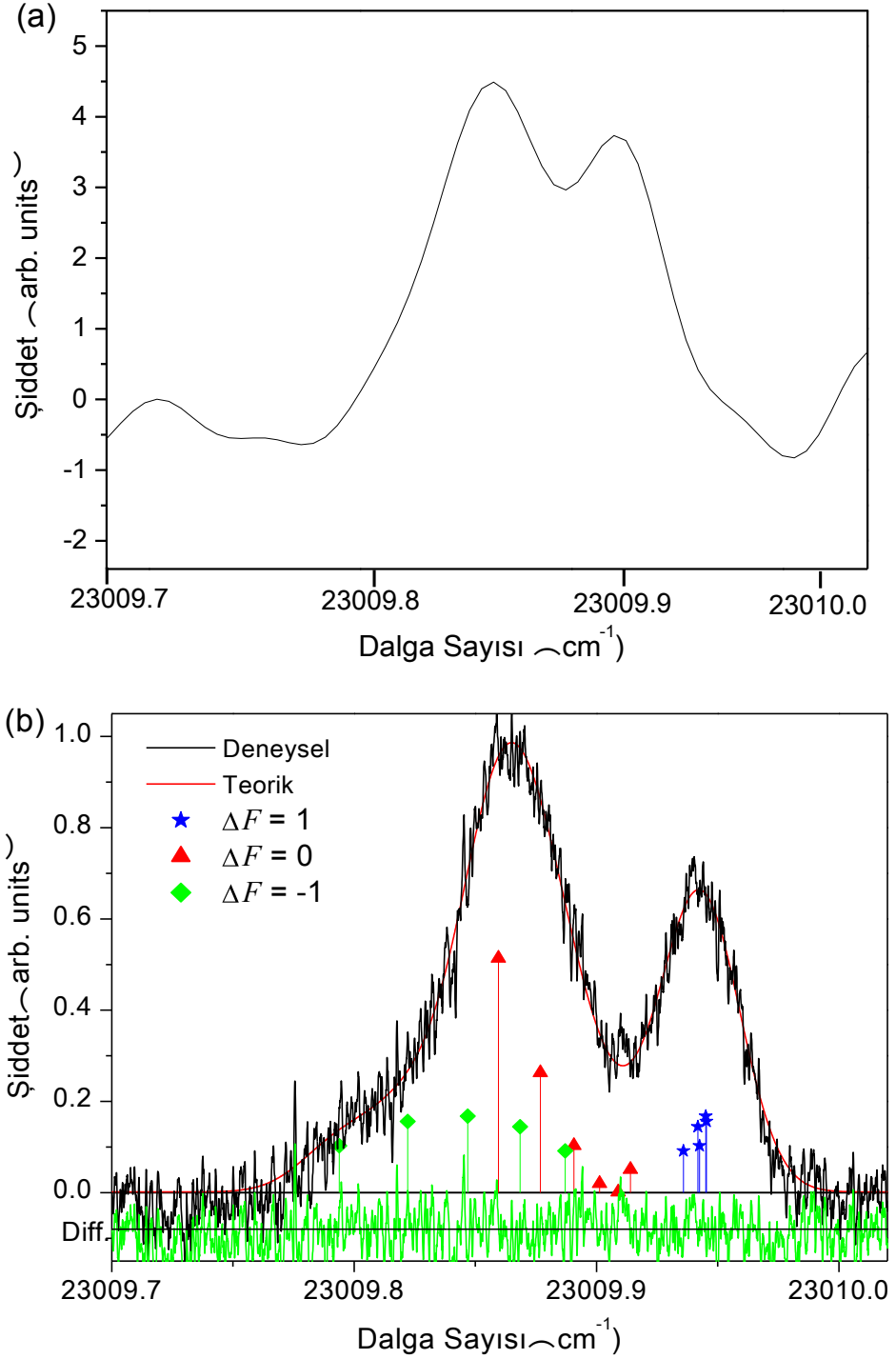
Şekil 4.12: 434.473 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.

Sonraki adımda, Klasifikasyon [70] programının çalışabilmesi için gerekli giriş datalarından (Bkz. 3.8.1) La I elementine ait literatürde bilinen alt enerji seviyelerine bakarak, manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A yaklaşık 400 MHz olan bir seviye arandı.

$A = 410.4 (4) \text{ MHz}$ olan $15196.822 \text{ cm}^{-1}$, tek pariteli, $J = 5/2$ enerji seviyesi bulundu. Dolayısıyla seçilen seviye, uyarılan $\lambda = 434.473 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin alt enerji seviyesi olarak belirlendi. Bu durumda, incelenen 434.473 nm spektral çizgisinin bilinmeyen seviyenin üst enerji seviyesi olduğu anlaşıldı. Geçişin dalga sayısı ($23009.921 \text{ cm}^{-1}$) alt enerji seviyesine eklendiğinde La I elementine ait yeni üst enerji seviyesi elde edildi. 434.473 nm spektral geçişinden bulunan yeni üst enerji seviyesi $38206.743 \text{ cm}^{-1}$ olarak bulundu. Uyarılan spektral geçişin alt enerji seviyesi olarak belirlenen $15196.822 \text{ cm}^{-1}$ tek pariteli olduğuna göre, bulunan $38206.743 \text{ cm}^{-1}$ üst enerji seviyesinin paritesi çift olmalıdır (Bkz. 3.1.5).

434.4731 nm dalgaboylu spektral çizgi için 5 ölçüm alındı. Alınan aşırı ince yapı örnekleri Fitter [8] programı ile fit işlemi sonucunda $38206.743 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi için manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A = 315 (15) \text{ MHz}$ olarak belirlendi. Fit işlemi sırasında elektrik kudropol aşırı ince yapı sabiti B "0" alındı. Şekil 4.13b'de, LIF yöntemi ile ölçülmüş 434.473 nm dalgaboylu geçişin en iyi fit edilmiş şekli verildi.

Bulunan $38206.743 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesini kanıtlamak için, daha önce bahsedildiği gibi, ikinci uyarma işlemi yapıldı. Bunun için, $38206.750 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi Klasifikasyon [70] programındaki Level_La giriş dosyasına eklendi ve bu seviye ile birlikte mümkün olabilecek geçişler arandı. Bulunan geçişlerden 431.3760 nm dalgaboyuna sahip çizgiye laser uyarımı yapılarak, uyarılan spektral çizgi Optogalvanik Spektroskopisi (OGS) yöntemi ile ölçüldü ve 431.3760 nm dalgaboylu spektral çizginin en iyi fit edilmiş hali Şekil.Ek2.1'de verildi. Kaydedilen spektrumun fit işlemi yapıldıktan sonra, ilk uyarma durumu sonucundaki hesaplamalar aynen yapılarak, $38206.743 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2$, çift pariteli La I enerji seviyesinin doğruluğu kanıtlandı. $36543.493 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi için elde edilen aşırı ince yapı sabiti kullanılarak simüle edilen spektral çizgi ile FT spektrumundaki aşırı ince yapı örneğinin karşılaştırılmasıyla, incelenen 434.473 nm dalgaboyunun kesin olarak 434.4731 nm olduğu belirlendi. Bulunan enerji seviyesine olan tüm geçişlerin dalgaboylarını hesaba katarak, enerji $38206.750 (10) \text{ cm}^{-1}$ olarak düzeltildi.

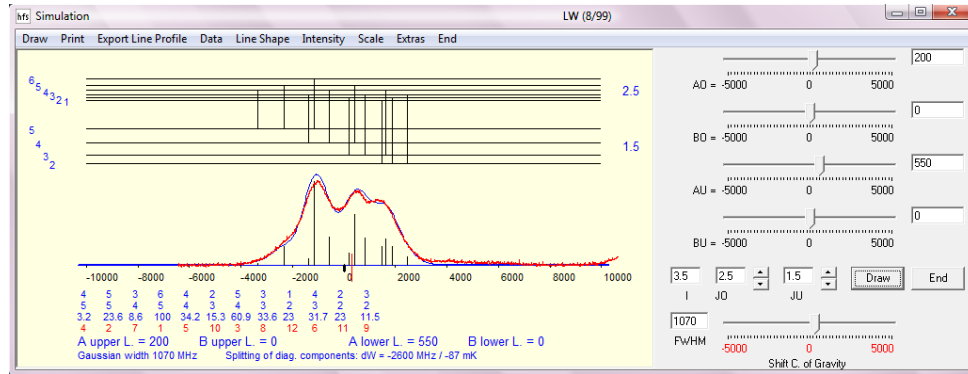


Şekil 4.13: Yeni $38206.750 \text{ cm}^{-1}$ La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 434.4731 \text{ nm}$ $\bar{\nu} = 23009.915 \text{ cm}^{-1}$ ($15196.822 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2 \rightarrow 38206.750 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen ayrışmamış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.

• $J = 5/2$, $38903.885 \text{ cm}^{-1}$ *İnce Yapı Enerji Seviyesinin Bulunması* :

FT spektrumunda sinyal/gürültü oranı (SNR) 24 olup, ağırlık merkezi dalgaboyu $\lambda = 441.891 \text{ nm}$ ($\bar{\nu} = 22623.661 \text{ cm}^{-1}$) olan spektral çizgi için klasifikasyon programında hiçbir geçiş önerisi bulunamadı. Bunun anlamı bu çizginin alt ve üst enerji seviyelerinden birisi ya da her ikisi de bilinmiyor demektir.

İncelenen $\lambda = 441.891 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin FT spektrumundaki görünüşü Şekil 4.15a'da gösterildi. Deney sırasında laser dalgaboyu, Şekil 4.15a'da görülen çizginin en yüksek pikine ayarlayarak floresans sinyalleri arandı. Arama sonucunda gözlenen floresanslar çok düşük olduğundan, LIF spektrumu alınamadı. Bu spektral çizgi OGS yöntemi ile ölçüldü. Bu aşırı ince yapı örneği simülasyon programı yardımıyla simüle edildi. Şekil 4.14'te 441.891 nm spektral çizgisinin simüle edilmiş hali verildi. Şekil 4.14'te, kırmızı renk ile gösterilen LIF yöntemi ile elde edilen spektrumdur. Mavi renkle gösterilen ise geçişin alt ve üst enerji seviyeleri için tahmin edilen aşırı ince yapı sabitleri A , B ve toplam açısal momentum J değerleri için simülasyon programının oluşturduğu teorik aşırı ince yapı örneğidir. İncelenen geçişteki üst ve alt enerji seviyeleri için toplam açısal momentum değerlerinin sırasıyla $5/2$, $3/2$ ve manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A değerlerinin de yaklaşık olarak sırasıyla 200 MHz ve 550 MHz olabileceği tahmin edildi.



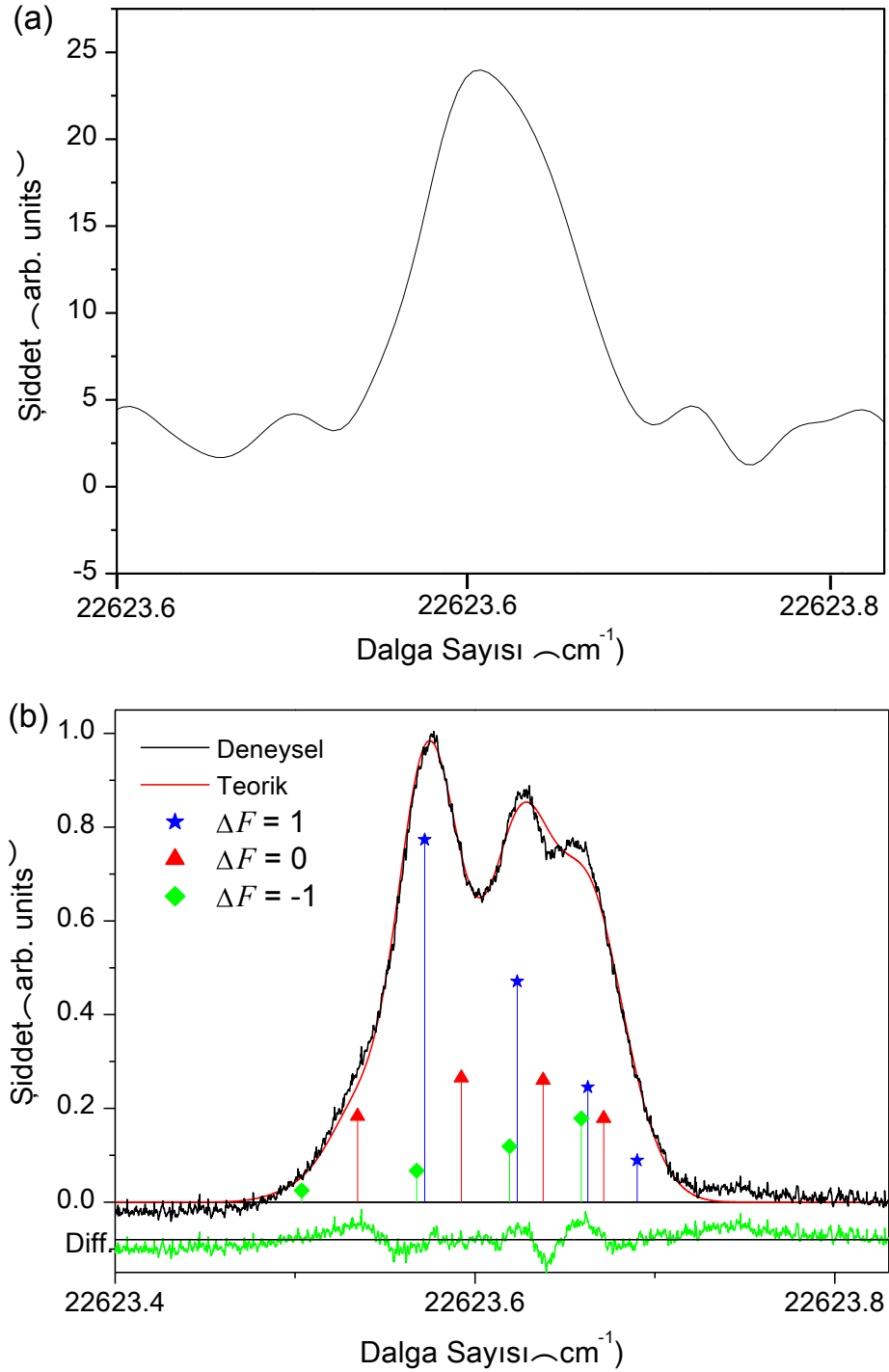
Şekil 4.14: 441.891 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.

Sonraki adımda, Klasifikasyon [70] programının çalışabilmesi için gerekli giriş datalarından (Bkz. 3.8.1) La I elementine ait literatürde bilinen alt enerji seviyelerine bakarak, manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A yaklaşık 550 MHz olan bir seviye arandı.

$A = 539.9(5) \text{ MHz}$ olan $16280.255 \text{ cm}^{-1}$, tek pariteli, $J = 3/2$ enerji seviyesi bulundu. Dolayısıyla seçilen seviye, uyarılan $\lambda = 441.891 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin alt enerji seviyesi olarak belirlendi. Bu durumda, incelenen 441.891 nm spektral çizgisinde bilinmeyen seviyenin üst enerji seviyesi olduğu anlaşıldı. Geçişin dalga sayısı ($22623.661 \text{ cm}^{-1}$) alt enerji seviyesine eklendiğinde La I elementine ait yeni üst enerji seviyesi elde edildi. 441.891 nm spektral geçişinden bulunan yeni üst enerji seviyesi $38903.916 \text{ cm}^{-1}$ olarak bulundu. Uyarılan spektral geçişin alt enerji seviyesi olarak belirlenen $16280.255 \text{ cm}^{-1}$ tek pariteli olduğuna göre, bulunan $38903.916 \text{ cm}^{-1}$ üst enerji seviyesinin paritesi çift olmalıdır (Bkz. 3.1.5).

441.891 nm dalgaboylu spektral çizgi için 5 ölçüm alındı. Alınan aşırı ince yapı örnekleri Fitter [8] programı ile fit işlemi sonucunda $38903.916 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi için manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A = 181(3) \text{ MHz}$ olarak belirlendi. Fit işlemi sırasında elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B "0" alındı. Şekil 4.15b'de, LIF yöntemi ile ölçülmüş 441.891 nm dalgaboylu geçişin en iyi fit edilmiş şekli verildi.

Bulunan $38903.916 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesini kanıtlamak için, daha önce bahsedildiği gibi, ikinci uyarma işlemi yapıldı. Bunun için, $38903.916 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi, Klasifikasyon [70] programındaki Level_La giriş dosyasına eklendi ve bu seviye ile birlikte programda mümkün olabilecek geçişler arandı. Bulunan spektral çizgilerden 689.7407 nm ve 640.823 nm dalgaboyuna sahip çizgilere laser uyarımı yapılarak, uyarılan spektral çizgiler Optogalvanik Spektroskopisi (OGS) yöntemi ile ölçüldü. 640.823 nm dalgaboylu spektral çizginin en iyi fit edilmiş hali Şekil.Ek2.79'da verildi. Kaydedilen spektrumların fit işlemi yapıldıktan sonra, ilk uyarma durumu sonucundaki hesaplamalar aynen yapılarak, $38903.916 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2$, çift pariteli La I enerji seviyesinin doğruluğu kanıtlandı. $38903.916 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi için elde edilen aşırı ince yapı sabiti kullanılarak simüle edilen spektral çizgi ile FT spektrumundaki aşırı ince yapı örneğinin karşılaştırılmasıyla, incelenen 441.891 nm dalgaboyunun kesin olarak 441.8915 nm olduğu belirlendi. Bulunan enerji seviyesine olan tüm geçişlerin dalgaboylarını hesaba katarak, enerji $38903.885(10) \text{ cm}^{-1}$ olarak düzeltildi.

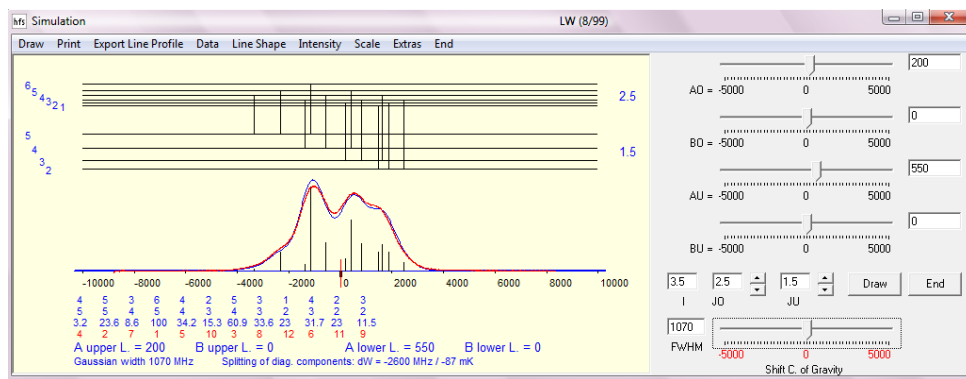


Şekil 4.15: Yeni $38903.885 \text{ cm}^{-1}$ La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 441.8915 \text{ nm}$ $\bar{\nu} = 22623.235 \text{ cm}^{-1}$ ($16280.255 \text{ cm}^{-1}$, $J = 3/2 \rightarrow 38903.885 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen ayrılmamış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.

• $J = 5/2$, $39242.660 \text{ cm}^{-1}$ *İnce Yapı Enerji Seviyesinin Bulunması* :

FT spektrumunda sinyal/gürültü oranı (SNR) 8 olan ve ağırlık merkezi dalgaboyu $\lambda = 435.372 \text{ nm}$ ($\bar{\nu} = 22962.408 \text{ cm}^{-1}$) spektral çizgisi için klasifikasyon programında hiçbir geçiş önerisi bulunamadı. Bunun anlamı bu çizginin alt ve üst enerji seviyelerinden birisi ya da he ikisi de bilinmiyor demektir.

İncelenen $\lambda = 435.372 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin FT spektrumundaki görünüşü Şekil 4.17a'da gösterildi. Deney sırasında laser dalgaboyu, Şekil 4.17a'da görülen çizginin en yüksek pikine ayarlayarak floresans sinyalleri arandı. Arama sonucunda gözlenen floresanslar çok düşük şiddetli olduğundan, LIF spektrumu alınamadı. Bu spektral çizgi OGS yöntemi ile ölçüldü. Bu aşırı ince yapı örneği simülasyon programı yardımıyla simüle edildi. Şekil 4.16'da 435.372 nm spektral çizgisinin simüle edilmiş hali verildi. Şekil 4.16'da, kırmızı renk ile gösterilen LIF yöntemi ile elde edilen spektrumdur. Mavi renkle gösterilen ise geçişin alt ve üst enerji seviyeleri için tahmin edilen aşırı ince yapı sabitleri A , B ve toplam açısal momentum J değerleri için simülasyon programının oluşturduğu teorik aşırı ince yapı örneğidir. İncelenen geçişteki üst ve alt enerji seviyeleri için toplam açısal momentum değerlerinin sırasıyla $5/2$, $3/2$ ve manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A değerlerinin de yaklaşık olarak sırasıyla 200 MHz ve 550 MHz olabileceği tahmin edildi.



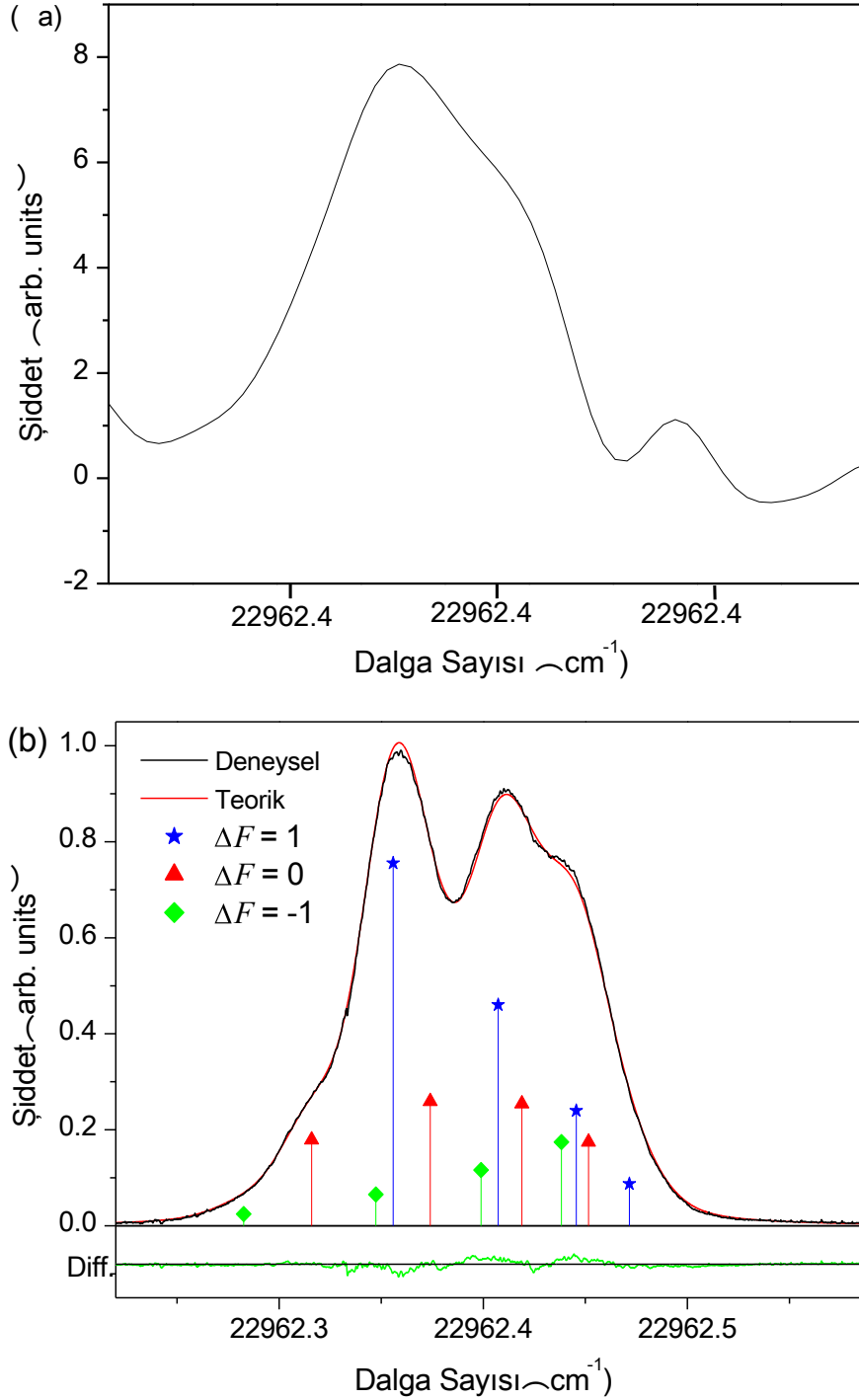
Şekil 4.16: 435.372 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.

Sonraki adımda, Klasifikasyon [70] programının çalışabilmesi için gerekli giriş datalarından (Bkz. 3.8.1) La I elementine ait literatürde bilinen alt enerji seviyelerine bakarak, manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A yaklaşık 550 MHz olan bir seviye arandı.

$A = 539.9(5) \text{ MHz}$ olan $16280.255 \text{ cm}^{-1}$, tek pariteli, $J = 3/2$ enerji seviyesi bulundu. Dolayısıyla seçilen seviye, uyarılan $\lambda = 435.372 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin alt enerji seviyesi olarak belirlendi. Bu durumda, incelenen 435.372 nm spektral çizgisinde bilinmeyen seviyenin üst enerji seviyesi olduğu anlaşıldı. Geçişin dalga sayısı ($22962.408 \text{ cm}^{-1}$) alt enerji seviyesine eklendiğinde La I elementine ait yeni üst enerji seviyesi elde edildi. 435.372 nm spektral geçişinden bulunan yeni üst enerji seviyesi $39242.663 \text{ cm}^{-1}$ olarak bulundu. Uyarılan spektral geçişin alt enerji seviyesi olarak belirlenen $16280.255 \text{ cm}^{-1}$ tek pariteli olduğuna göre, bulunan $39242.663 \text{ cm}^{-1}$ üst enerji seviyesinin paritesi çift olmalıdır (Bkz. 3.1.5).

435.372 nm dalgaboylu spektral çizgi için 5 ölçüm alındı. Alınan aşırı ince yapı örnekleri Fitter [8] programı ile fit işlemi sonucunda $39242.663 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi için manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A = 196(3) \text{ MHz}$ olarak belirlendi. Fit işlemi sırasında elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B "0" alındı. Şekil 4.17b'de, LIF yöntemi ile ölçülmüş 435.372 nm dalgaboylu geçişin en iyi fit edilmiş şekli verildi.

Bulunan $39242.663 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesini kanıtlamak için, daha önce bahsedildiği gibi, ikinci uyarma işlemi yapıldı. Bunun için, $39242.663 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi Klasifikasyon [70] programındaki Level_La giriş dosyasına eklendi ve bu seviye ile birlikte programda mümkün olabilecek geçişler arandı. Bulunan spektral geçişlerden 650.535 nm dalgaboyuna sahip çizgiye laser uyarımı yapılarak, uyarılan spektral çizgi Optogalvanik Spektroskopisi (OGS) yöntemi ile ölçüldü. 650.535 nm dalgaboyundaki spektral çizginin en iyi fit edilmiş hali Şekil.Ek2.82'de verildi. Kaydedilen spektrumların fit işlemi yapıldıktan sonra, ilk uyarma durumu sonucundaki hesaplamalar aynen yapılarak, $39242.663 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2$, çift pariteli La I enerji seviyesinin doğruluğu kanıtlandı. $39242.663 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi için elde edilen aşırı ince yapı sabiti kullanılarak simüle edilen spektral çizgi ile FT spektrumundaki aşırı ince yapı örneğinin karşılaştırılmasıyla, incelenen 435.372 nm dalgaboyunun kesin olarak 435.3724 nm olduğu belirlendi. Bulunan enerji seviyesine olan tüm geçişlerin dalgaboylarını hesaba katarak, enerji $39242.660(10) \text{ cm}^{-1}$ olarak düzeltildi.

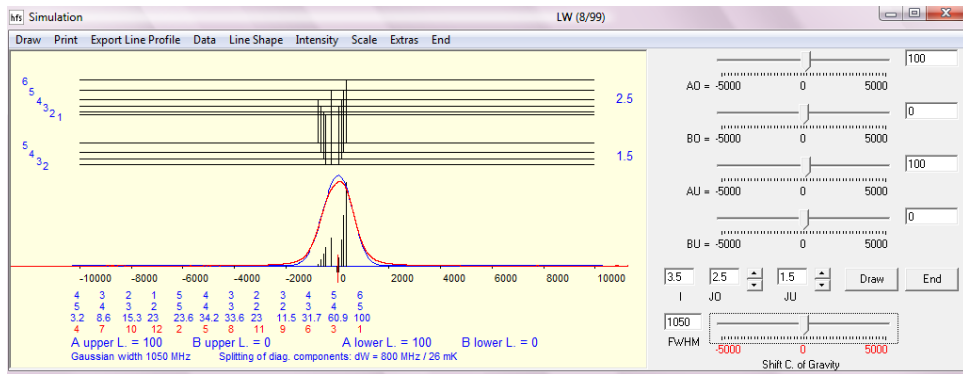


Şekil 4.17: Yeni $39242.660 \text{ cm}^{-1}$ La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 435.3724 \text{ nm}$ $\bar{\nu} = 22962.387 \text{ cm}^{-1}$ ($16280.255 \text{ cm}^{-1}$, $J = 3/2 \rightarrow 39242.660 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen ayırılmamış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.

- $J = 5/2, 39276.99 \text{ cm}^{-1}$ İnce Yapı Enerji Seviyesinin Bulunması :

FT spektrumunda sinyal/gürültü oranı (SNR) 15 olan ve ağırlık merkezi dalgaboyu $\lambda = 641.993 \text{ nm}$ ($\bar{\nu} = 15572.189 \text{ cm}^{-1}$) spektral çizgisi için klasifikasyon programında hiçbir geçiş önerisi bulunamadı. Bunun anlamı bu çizginin alt ve üst enerji seviyelerinden birisi ya da he ikisi de bilinmiyor demektir.

İncelenen $\lambda = 641.993 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin FT spektrumundaki görünüşü Şekil 4.19a'da gösterildi. Deney sırasında laser dalgaboyu, Şekil 4.19a'da görülen çizginin en yüksek pikine ayarlayanak floresans sinyalleri arandı. Laser Uyarılmış Floresans (LIF) yöntemi ile bulunan 616.5 nm ve 486.1 nm negatif floresanslarında sinyal görüldü. Monokromatör, en yüksek şiddetli floresans çizgisi olarak gözlenen 616.5 nm dalgaboyuna ayarlandı ve uyarılan çizginin aşırı ince yapısı kaydedildi. Bu aşırı ince yapı örneği simülasyon programı yardımıyla simüle edildi. Şekil 4.18'de 641.993 nm spektral çizgisinin simüle edilmiş hali verildi. Şekil 4.18'de, kırmızı renk ile gösterilen LIF yöntemi ile elde edilen spektrumdur. Mavi renkle gösterilen ise geçişin alt ve üst enerji seviyeleri için tahmin edilen aşırı ince yapı sabitleri A, B ve toplam açıl momentum J değerleri için simülasyon programının oluşturduğu teorik aşırı ince yapı örneğidir. İncelenen geçişteki üst ve alt enerji seviyeleri için toplam açıl momentum değerlerinin sırasıyla $5/2, 3/2$ ve manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A değerlerinin de yaklaşık olarak sırasıyla 100 MHz ve 100 MHz olabileceği tahmin edildi.



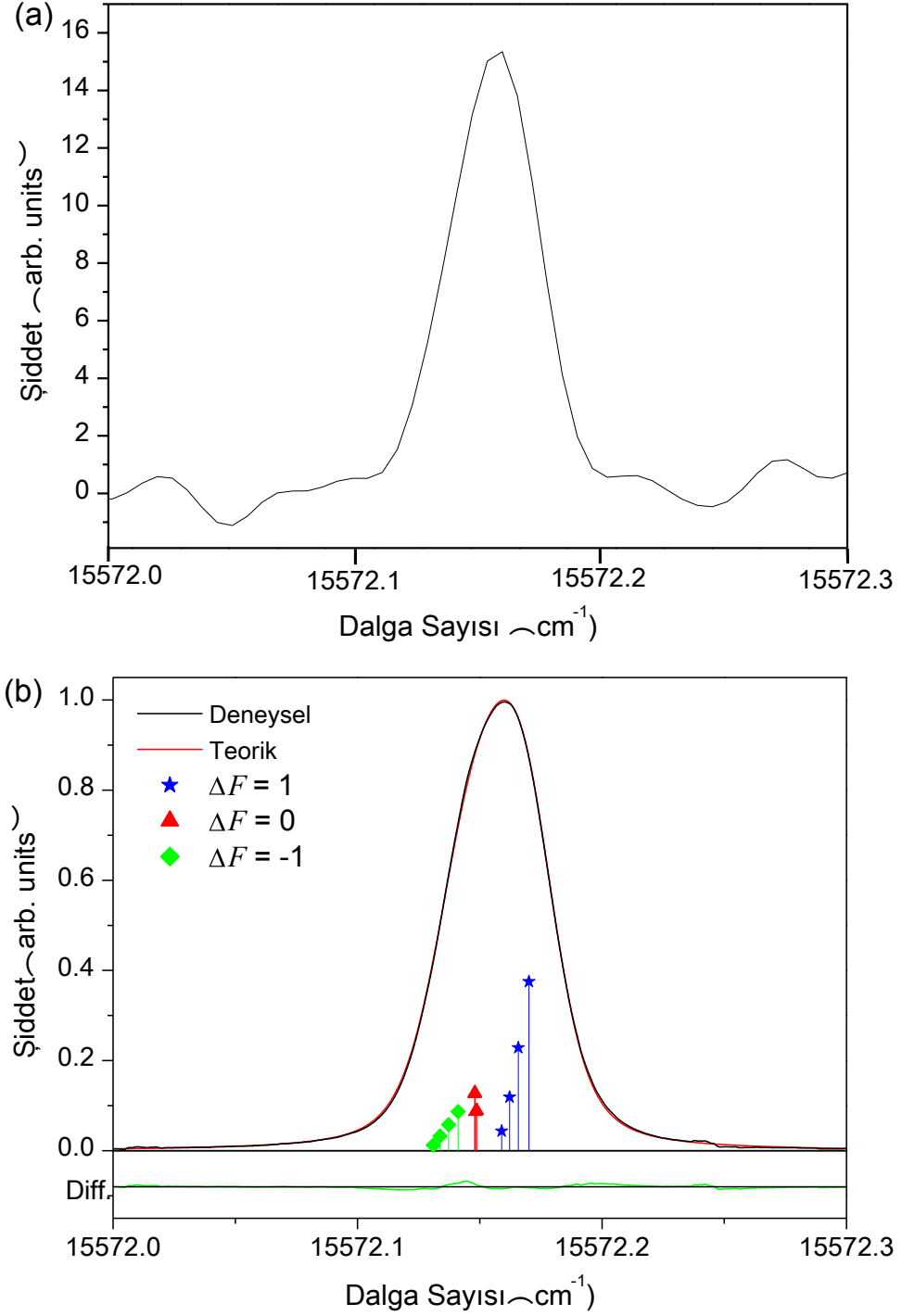
Şekil 4.18: 641.993 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.

Klasifikasyon [70] programı yardımıyla, deneyde elde edilen 616.5 nm negatif floresans (FT spektrumundaki ağırlık merkezi dalgaboyu: 616.5693 nm) çizgisinin literatürden bilinen $23704.816 \text{ cm}^{-1}, J = 3/2 \rightarrow 7490.521 \text{ cm}^{-1}, J = 3/2$ spektral geçişi olduğu görüldü. Sonraki adımda, Klasifikasyon [70] programının çalışabilmesi için gerekli giriş

datalarından (Bkz. 3.8.1) La I elementine ait literatürde bilinen alt enerji seviyelerine bakarak, manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A yaklaşık 100 MHz olan bir seviye arandı. $A = 105.1(2.0) \text{ MHz}$ olan $23704.816 \text{ cm}^{-1}$, tek pariteli, $J = 3/2$ enerji seviyesi bulundu. Dolayısıyla seçilen seviye, uyarılan $\lambda = 641.993 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin alt enerji seviyesi olarak belirlendi. Bu durumda, incelenen 641.993 nm spektral çizgisinde bilinmeyen seviyenin üst enerji seviyesi olduğu anlaşıldı. Geçişin dalga sayısı ($15572.189 \text{ cm}^{-1}$) alt enerji seviyesine eklendiğinde La I elementine ait yeni üst enerji seviyesi elde edildi. 435.372 nm spektral geçişinden bulunan yeni üst enerji seviyesi $39277.005 \text{ cm}^{-1}$ olarak bulundu. Uyarılan spektral geçişin alt enerji seviyesi olarak belirlenen $23704.816 \text{ cm}^{-1}$ tek pariteli olduğuna göre, bulunan $39277.005 \text{ cm}^{-1}$ üst enerji seviyesinin paritesi çift olmalıdır (Bkz. 3.1.5).

641.993 nm dalgaboylu spektral çizgi için 5 ölçüm alındı. Alınan aşırı ince yapı örnekleri Fitter [8] programı ile fit işlemi sonucunda $39277.005 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi için manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A = 107(3) \text{ MHz}$ olarak belirlendi. Fit işlemi sırasında elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B "0" alındı. Şekil 4.19b'de, LIF yöntemi ile ölçülmüş 641.993 nm dalgaboylu geçişin en iyi fit edilmiş şekli verildi.

Bulunan $39277.005 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesini kanıtlamak için, daha önce bahsedildiği gibi, ikinci uyarma işlemi yapıldı. Bunun için, $39277.005 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi Klasifikasyon [70] programındaki Level_La giriş dosyasına eklendi ve bu seviye ile birlikte programda mümkün olabilecek geçişler arandı. Bulunan spektral geçişlerden 656.379 nm dalgaboyuna sahip çizgiye laser uyarımı yapılarak, uyarılan spektral çizginin spektrumu Optogalvanik Spektroskopisi (OGS) yöntemi ile ölçüldü. 656.379 nm dalgaboyundaki spektral çizginin en iyi fit edilmiş hali Şekil.Ek2.84'de verildi. Kaydedilen spektrumun fit işlemi yapıldıktan sonra, ilk uyarma durumu sonucundaki hesaplamalar aynen yapılarak, $39277.005 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2$, çift pariteli La I enerji seviyesinin doğruluğu kanıtlandı. $39277.005 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi için elde edilen aşırı ince yapı sabiti kullanılarak simüle edilen spektral çizgi ile FT spektrumundaki aşırı ince yapı örneğinin karşılaştırılmasıyla, incelenen 641.993 nm dalgaboyunun kesin olarak 641.9935 nm olduğu belirlendi. Bulunan enerji seviyesine olan tüm geçişlerin dalgaboylarını hesaba katarak, enerji $39276.99(2) \text{ cm}^{-1}$ olarak düzeltildi.



Şekil 4.19: Yeni 39276.99 cm^{-1} La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 641.9935 \text{ nm}$ $\bar{\nu} = 15572.177 \text{ cm}^{-1}$ ($23704.816 \text{ cm}^{-1}$, $J = 3/2 \rightarrow 39276.99 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen ayrışmamış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.

- $J = 5/2$, 39792.88 cm^{-1} *İnce Yapı Enerji Seviyesinin Bulunması* :

FT spektrumunda sinyal/gürültü oranı (SNR) 1 olan ve ağırlık merkezi dalgaboyu $\lambda = 654.055 \text{ nm}$ ($\bar{\nu} = 15285.011 \text{ cm}^{-1}$) spektral çizgisi için klasifikasyon programında hiçbir geçiş önerisi bulunamadı. Bunun anlamı bu çizginin alt ve üst enerji seviyelerinden birisi ya da her ikisi de bilinmiyor demektir.

İncelenen $\lambda = 654.055 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin FT spektrumundaki görünüşü Şekil 4.20a'da gösterildi. Deney sırasında laser dalgaboyu, çizginin ağırlık merkezi olabileceği dalgaboyu civarında taranarak, floresans sinyalleri arandı. Arama sonucunda gözlenen floresanslar çok düşük şiddetli olduğundan, LIF spektrumu alınamadı. Bu spektral çizgi OGS yöntemi ile ölçüldü. Kaydedilen aşırı ince yapı örneği simülasyon programı yardımıyla simüle ederek, geçişteki enerji seviyelerinin toplam açısız momentum değerlerinin $J_{üst} = 5/2$ ve $J_{alt} = 5/2$ olabileceği tahmin edildi.

Sonraki adımda, Klasifikasyon [70] programının çalışabilmesi için gerekli giriş datalarından (Bkz. 3.8.1) La I elementine ait literatürde bilinen alt enerji seviyelerine bakarak, manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A yaklaşık 200 MHz olan bir seviye arandı.

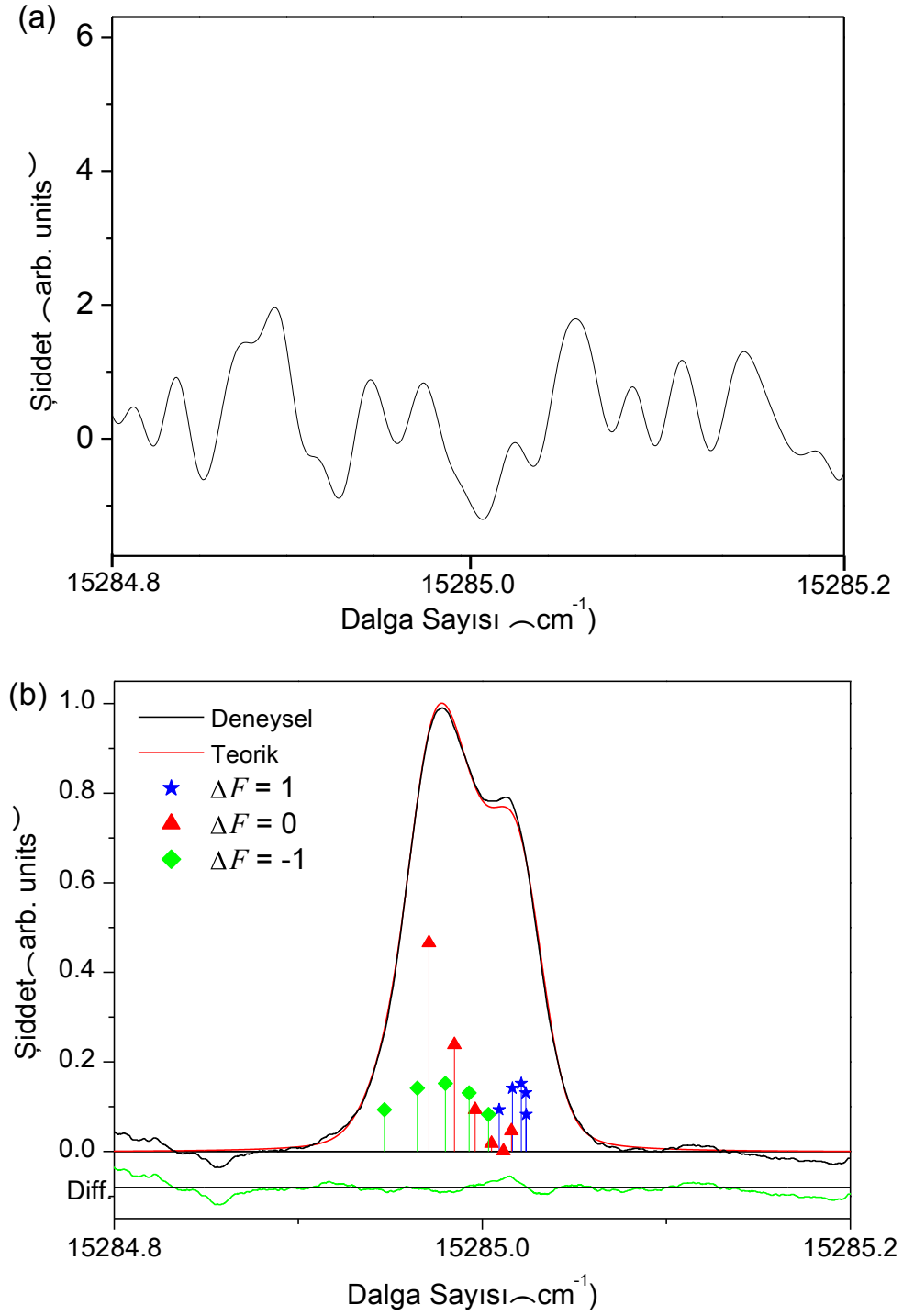
$A = 188(2) \text{ MHz}$ olan $24507.871 \text{ cm}^{-1}$, tek pariteli, $J = 5/2$ enerji seviyesi bulundu. Dolayısıyla seçilen seviye, uyarılan $\lambda = 654.055 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin alt enerji seviyesi olarak belirlendi.

İncelenen 654.055 nm spektral çizgisinde bilinmeyen seviyenin üst enerji seviyesi olduğu anlaşıldı. Geçişin ağırlık merkezi dalgaboyu, program tarafından yapılan fit sonucu hesaplanarak, alt enerji seviyesine eklendiğinde La I elementine ait yeni üst enerji seviyesi elde edildi. 654.055 nm spektral geçişinden bulunan yeni üst enerji seviyesi 39792.88 cm^{-1} olarak bulundu. Uyarılan spektral geçişin alt enerji seviyesi olarak belirlenen $24507.871 \text{ cm}^{-1}$ tek pariteli olduğuna göre, bulunan 39792.88 cm^{-1} üst enerji seviyesinin paritesi çift olmalıdır (Bkz. 3.1.5).

654.055 nm dalgaboylu spektral çizgi için 5 ölçüm alındı. Alınan aşırı ince yapı örnekleri Fitter [8] programı ile fit işlemi sonucunda 39792.88 cm^{-1} enerji seviyesi için

manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A = 119 (3) \text{ MHz}$ olarak belirlendi. Fit işlemi sırasında elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B "0" alındı. Şekil 4.20b'de, LIF yöntemi ile ölçülmüş 654.055 nm dalgaboylu geçişin en iyi fit edilmiş şekli verildi.

Bulunan 39792.88 cm^{-1} enerji seviyesini kanıtlamak için, daha önce bahsedildiği gibi, ikinci uyarma işlemi yapıldı. Bunun için, 39792.88 cm^{-1} enerji seviyesi Klasifikasyon [70] programındaki Level_La giriş dosyasına eklendi ve bu seviye ile birlikte programda mümkün olabilecek geçişler arandı. Bulunan spektral geçişlerden 634.875 nm dalgaboyuna sahip çizgiye laser uyarımı yapılarak, uyarılan spektral çizgi Optogalvanik Spektroskopisi (OGS) yöntemi ile ölçüldü. Kaydedilen spektrumların fit işlemi yapıldıktan sonra, ilk uyarma durumu sonucundaki hesaplamalar aynen yapılarak, 39792.88 cm^{-1} , $J = 5/2$, çift pariteli La I enerji seviyesinin doğruluğu kanıtlandı. 39792.88 cm^{-1} enerji seviyesi için elde edilen aşırı ince yapı sabiti kullanılarak simüle edilen spektral çizgi ile FT spektrumundaki aşırı ince yapı örneğinin karşılaştırılmasıyla ve bulunan enerji seviyesine olan tüm geçişlerin dalgaboylarını hesaba katarak, enerji $39792.88 (2) \text{ cm}^{-1}$ olarak düzeltildi.

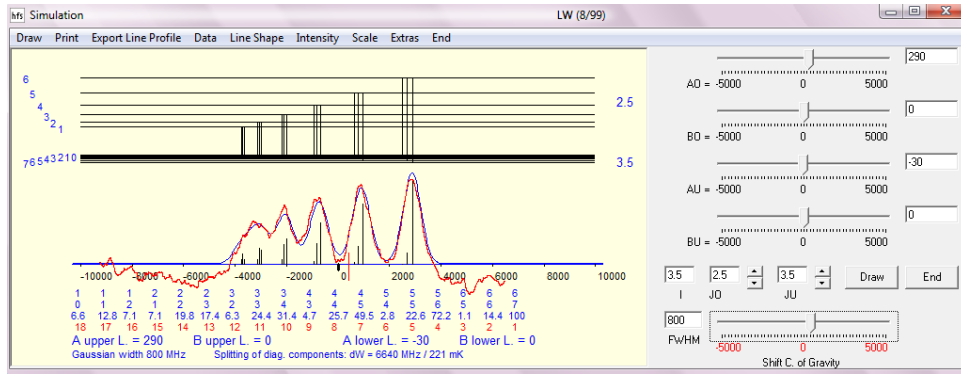


Şekil 4.20: Yeni 39792.88 cm^{-1} La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 654.055 \text{ nm}$ $\bar{\nu} = 15285.011 \text{ cm}^{-1}$ ($24507.871 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2 \rightarrow 39792.88 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen ayrışmamış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.

- $J = 5/2$, $40472.456 \text{ cm}^{-1}$ *İnce Yapı Enerji Seviyesinin Bulunması :*

FT spektrumunda sinyal/gürültü oranı (SNR) 2 olan ve ağırlık merkezi dalgaboyu $\lambda = 582.277 \text{ nm}$ ($\bar{\nu} = 17169.196 \text{ cm}^{-1}$) spektral çizgi için klasifikasyon programında hiçbir geçiş önerisi bulunamadı. Bunun anlamı bu çizginin alt ve üst enerji seviyelerinden birisi ya da he ikisi de bilinmiyor demektir.

İncelenen $\lambda = 582.277 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin FT spektrumundaki görünüşü Şekil 4.22a'da gösterildi. Deney sırasında laser dalgaboyu, Şekil 4.22a'da görülen çizginin en yüksek pikine ayarlayanak floresans sinyalleri arandı. Laser Uyarılmış Floresans (LIF) yöntemi ile bulunan 521.4 nm ve 545.5 nm negatif floresanslarında sinyal görüldü. Monokromatör, en yüksek şiddetli floresans çizgisi olarak gözlenen 521.4 nm dalgaboyuna ayarlandı ve uyarılan çizginin aşırı ince yapısı kaydedildi. Bu aşırı ince yapı örneği simülasyon programı yardımıyla simüle edildi. Şekil 4.21'de 582.277 nm spektral çizgisinin simüle edilmiş hali verildi. Şekil 4.21'de, kırmızı renk ile gösterilen LIF yöntemi ile elde edilen spektrumdur. Mavi renkle gösterilen ise geçişin alt ve üst enerji seviyeleri için tahmin edilen aşırı ince yapı sabitleri A , B ve toplam açılal momentum J değerleri için simülasyon programının oluşturduğu teorik aşırı ince yapı örneğidir. İncelenen geçişteki üst ve alt enerji seviyeleri için toplam açılal momentum değerlerinin sırasıyla $5/2$, $7/2$ ve manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A değerlerinin de yaklaşık olarak sırasıyla 290 MHz ve -30 MHz olabileceği tahmin edildi.



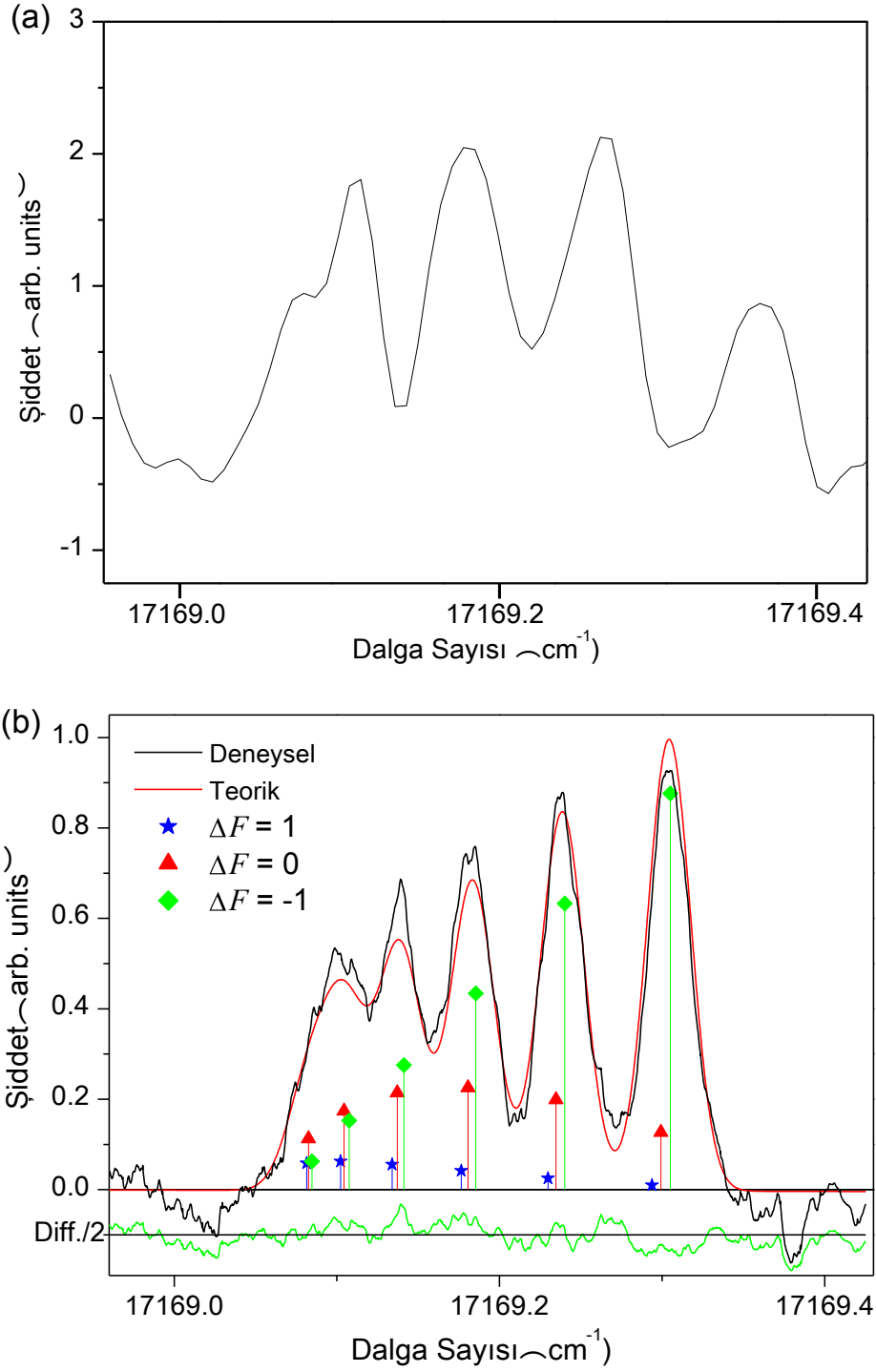
Şekil 4.21: 582.277 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.

Klasifikasyon [70] programının çalışabilmesi için gerekli giriş datalarından (Bkz. 3.8.1) La I elementine ait literatürde bilinen alt enerji seviyelerine bakarak, manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A yaklaşık -30 MHz olan bir seviye arandı. $A = -28.1(5) \text{ MHz}$ olan

$23303.257 \text{ cm}^{-1}$, tek pariteli, $J = 5/2$ enerji seviyesi bulundu. Dolayısıyla seçilen seviye, uyarılan $\lambda = 654.055 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin alt enerji seviyesi olarak belirlendi. Bu durumda, incelenen 582.277 nm spektral çizgisinde bilinmeyen seviyenin üst enerji seviyesi olduğu anlaşıldı. Geçişin dalga sayısı ($17169.196 \text{ cm}^{-1}$) alt enerji seviyesine ($23303.257 \text{ cm}^{-1}$) eklendiğinde La I elementine ait yeni üst enerji seviyesi elde edildi. 582.277 nm spektral geçişinden bulunan yeni üst enerji seviyesi $40472.453 \text{ cm}^{-1}$ olarak bulundu. Uyarılan spektral geçişin alt enerji seviyesi olarak belirlenen $23303.257 \text{ cm}^{-1}$ tek pariteli olduğuna göre, bulunan $40472.453 \text{ cm}^{-1}$ üst enerji seviyesinin paritesi çift olmalıdır (Bkz. 3.1.5).

582.277 nm dalgaboylu spektral çizgi için 5 ölçüm alındı. Alınan aşırı ince yapı örnekleri Fitter [8] programı ile fit işlemi sonucunda $40472.453 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi için manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A = 296.5 (3.3) \text{ MHz}$ olarak belirlendi. Fit işlemi sırasında elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B “0” alındı. Şekil 4.22b’de, LIF yöntemi ile ölçülmüş 582.277 nm dalgaboylu geçişin en iyi fit edilmiş şekli verildi.

Bulunan $40472.453 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesini kanıtlamak için, daha önce bahsedildiği gibi, ikinci uyarma işlemi yapıldı. Bunun için, $40472.453 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi Klasifikasyon [70] programındaki Level_La giriş dosyasına eklendi ve bu seviye ile birlikte programda mümkün olabilecek geçişler arandı. Bulunan spektral geçişlerden 443.0931 nm dalgaboyuna sahip çizgiye laser uyarımı yapılarak, uyarılan spektral çizgi Optogalvanik Spektroskopisi (OGS) yöntemi ile ölçüldü ve 443.0931 nm spektral çizgisinin en iyi fit edilmiş hali Şekil.Ek2. 9’da verildi. Kaydedilen spektrumun fit işlemi yapıldıktan sonra, ilk uyarma durumu sonucundaki hesaplamalar aynen yapılarak, $40472.453 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2$, çift pariteli La I enerji seviyesinin doğruluğu kanıtlandı. Bulunan enerji seviyesine olan tüm geçişlerin dalgaboylarını hesaba katarak, enerji $40472.456 (10) \text{ cm}^{-1}$ olarak düzeltildi.

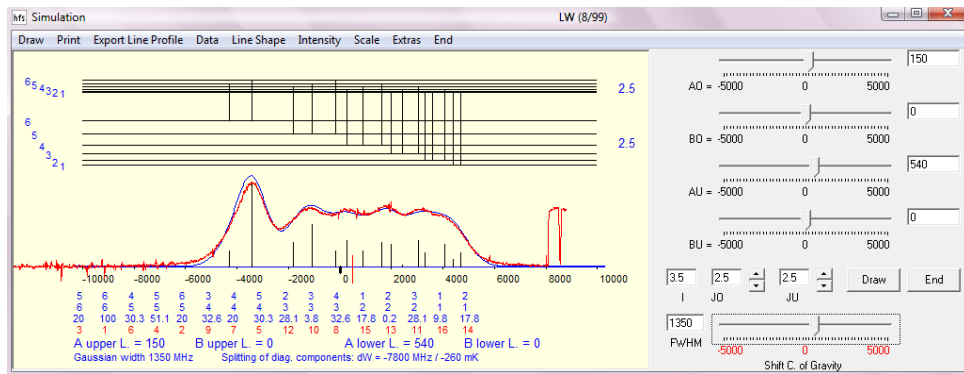


Şekil 4.22: Yeni $40472.456 \text{ cm}^{-1}$ La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 582.277 \text{ nm}$ $\bar{\nu} = 17169.196 \text{ cm}^{-1}$ ($23303.257 \text{ cm}^{-1}$, $J = 7/2 \rightarrow 40472.456 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen kısmen ayrılmış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.

• $J = 5/2$, 40852.85 cm^{-1} *İnce Yapı Enerji Seviyesinin Bulunması* :

FT spektrumunda sinyal/gürültü oranı (SNR) 1 olan ve ağırlık merkezi dalgaboyu $\lambda = 436.450 \text{ nm}$ ($\bar{\nu} = 22905.694 \text{ cm}^{-1}$) olan spektral çizgi için klasifikasyon programında hiçbir geçiş önerisi bulunamadı. Bunun anlamı bu çizginin alt ve üst enerji seviyelerinden birisi ya da he ikisi de bilinmiyor demektir.

İncelenen $\lambda = 436.450 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin FT spektrumundaki görünüşü Şekil 4.24a'da gösterildi. Deney sırasında laser dalgaboyu, Şekil 4.24a'da görülen çizginin en yüksek pikine ayarlayarak floresans sinyalleri arandı. Arama sonucunda gözlenen floresanslar çok düşük şiddetli olduğundan, LIF spektrumu alınamadı, bu spektral çizgi OGS yöntemi ile ölçüldü. Kaydedilen aşırı ince yapı örneği simülasyon programı yardımıyla simüle edildi. Şekil 4.23'te 436.450 nm spektral çizgisinin simüle edilmiş hali verildi. Şekil 4.23'te, kırmızı renk ile gösterilen OGS yöntemi ile elde edilen spektrumdur. Mavi renkle gösterilen ise geçişin alt ve üst enerji seviyeleri için tahmin edilen aşırı ince yapı sabitleri A , B ve toplam açısal momentum J değerleri için simülasyon programının oluşturduğu teorik aşırı ince yapı örneğidir. İncelenen geçişteki üst ve alt enerji seviyeleri için toplam açısal momentum değerlerinin sırasıyla $5/2$, $5/2$ ve manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A değerlerinin de yaklaşık olarak sırasıyla 150 MHz ve 540 MHz olabileceği tahmin edildi.



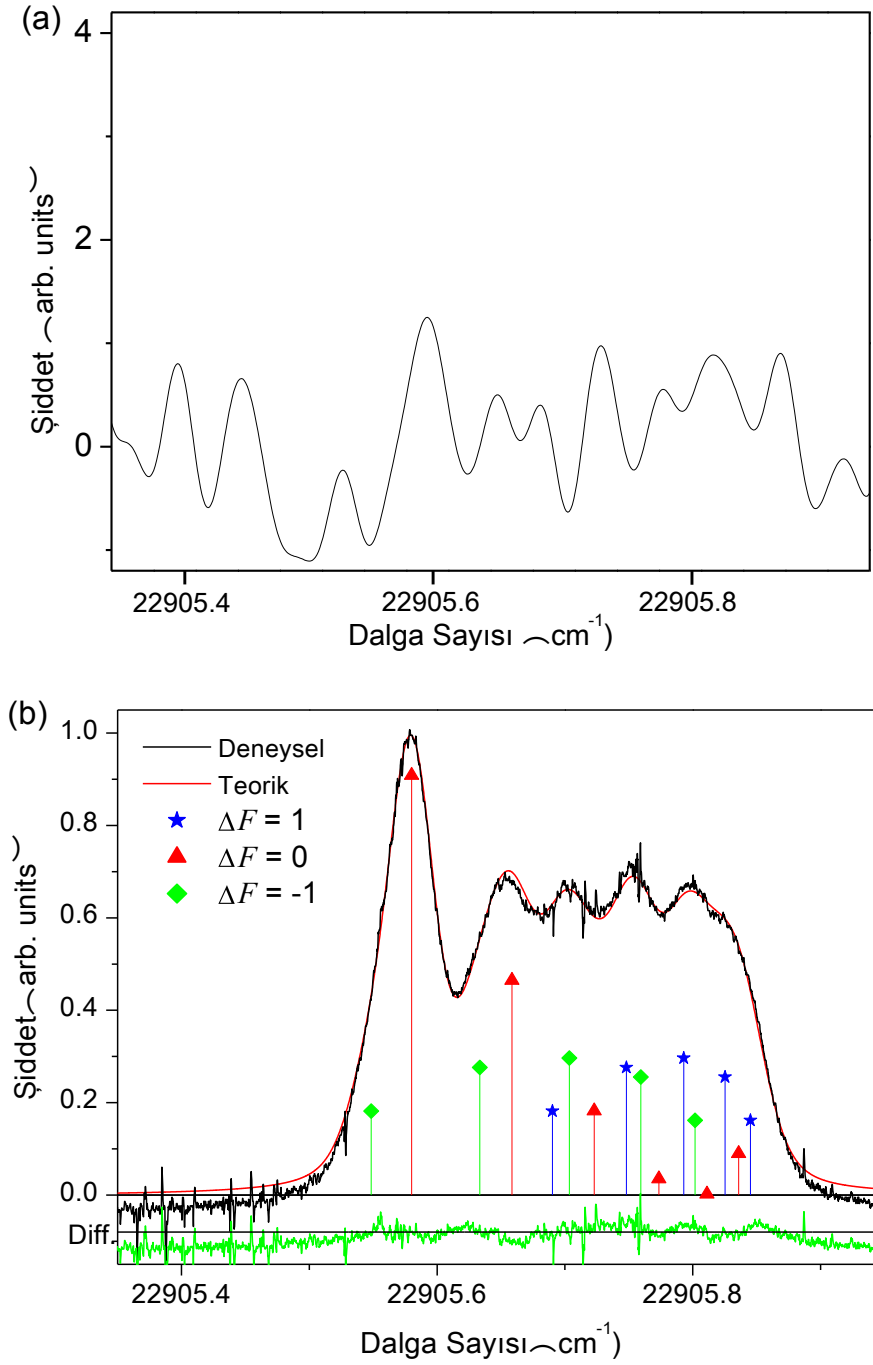
Şekil 4.23: 436.450 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.

Klasifikasyon [70] programının çalışabilmesi için gerekli giriş datalarından (Bkz. 3.8.1) La I elementine ait literatürde bilinen alt enerji seviyelerine bakarak, manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A yaklaşık 540 MHz olan bir seviye arandı.

$A = 539.9(3.3) \text{ MHz}$ olan $17947.135 \text{ cm}^{-1}$, tek pariteli, $J = 5/2$ enerji seviyesi bulundu. Dolayısıyla seçilen seviye, uyarılan $\lambda = 654.055 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin alt enerji seviyesi olarak belirlendi. Bu durumda, incelenen 436.450 nm spektral çizgisinde bilinmeyen seviyenin üst enerji seviyesi olduğu anlaşıldı. Geçişin dalga sayısı ($22905.694 \text{ cm}^{-1}$) alt enerji seviyesine ($17947.135 \text{ cm}^{-1}$) eklendiğinde La I elementine ait yeni üst enerji seviyesi elde edildi. 436.450 nm spektral geçişinden bulunan yeni üst enerji seviyesi $40852.829 \text{ cm}^{-1}$ olarak bulundu. Uyarılan spektral geçişin alt enerji seviyesi olarak belirlenen $17947.135 \text{ cm}^{-1}$ tek pariteli olduğuna göre, bulunan $40852.829 \text{ cm}^{-1}$ üst enerji seviyesinin paritesi çift olmalıdır (Bkz. 3.1.5).

436.450 nm dalgaboylu spektral çizgi için 5 ölçüm alındı. Alınan aşırı ince yapı örnekleri Fitter [8] programı ile fit işlemi sonucunda $40852.829 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi için manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A = 154(5) \text{ MHz}$ olarak belirlendi. Fit sırasında elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B "0" alındı. Şekil 4.24b'de, OGS yöntemi ile ölçülmüş 436.450 nm dalgaboylu geçişin en iyi fit edilmiş şekli verildi.

Bulunan 40852.85 cm^{-1} enerji seviyesini kanıtlamak için, daha önce bahsedildiği gibi, ikinci uyarma işlemi yapıldı. Bunun için, $40852.829 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi Klasifikasyon [70] programındaki Level_La giriş dosyasına eklendi ve bu seviye ile birlikte programda mümkün olabilecek geçişler arandı. Bulunan spektral geçişlerden 657.287 nm ve 646.127 nm dalgaboyuna sahip çizgilere laser uyarımı yapılarak, uyarılan spektral çizgiler Optogalvanik Spektroskopisi (OGS) yöntemi ile ölçüldü ve 657.287 nm spektral çizgisinin en iyi fit edilmiş şekli Şekil.Ek2.85'da ve 646.127 nm spektral çizgisinin en iyi fit edilmiş şekli Şekil.Ek2.81'da verildi. Kaydedilen spektrumun fit işlemi yapıldıktan sonra, ilk uyarma durumu sonucundaki hesaplamalar aynen yapılarak, $40852.829 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2$, çift pariteli La I enerji seviyesinin doğruluğu kanıtlandı. Bulunan enerji seviyesine olan tüm geçişlerin dalgaboylarını hesaba katarak, enerji $40852.85 (3) \text{ cm}^{-1}$ olarak düzeltildi.

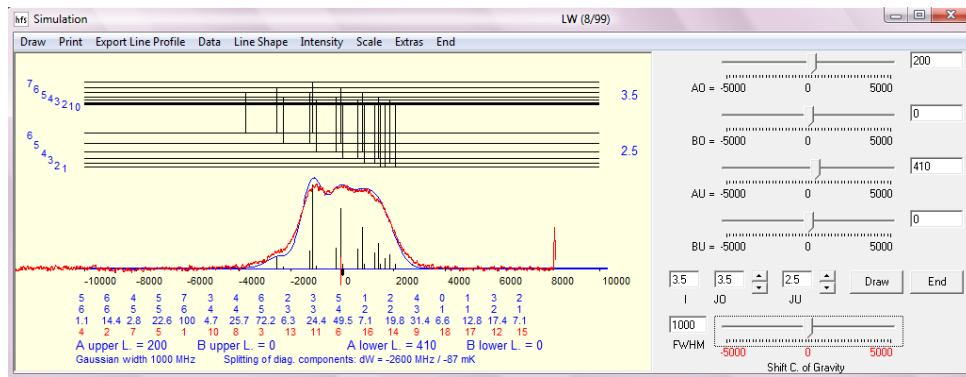


Şekil 4.24: Yeni 40852.85 cm^{-1} La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 436.450 \text{ nm}$ $\bar{\nu} = 22905.694 \text{ cm}^{-1}$ ($17947.135 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2 \rightarrow 40852.85 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen kısmen ayrılmış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.

• $J = 7/2$, $38185.340 \text{ cm}^{-1}$ İnce Yapı Enerji Seviyesinin Bulunması :

FT spektrumunda sinyal/gürültü oranı (SNR) 1 olan ve ağırlık merkezi dalgaboyu $\lambda = 434.877 \text{ nm}$ ($\bar{\nu} = 22988.545 \text{ cm}^{-1}$) olan spektral çizgi için klasifikasyon programında hiçbir geçiş önerisi bulunamadı. Bunun anlamı bu çizginin alt ve üst enerji seviyelerinden birisi ya da he ikisi de bilinmiyor demektir.

İncelenen $\lambda = 434.877 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin FT spektrumundaki görünüşü Şekil 4.26a'da gösterildi. Deney sırasında laser dalgaboyu, çizginin ağırlık merkezi olabileceği dalgaboyu civarında taranarak, floresans sinyalleri arandı. Arama sonucunda gözlenen floresanslar çok düşük şiddetli olduğundan, LIF spektrumu alınamadı, bu spektral çizgi OGS yöntemi ile ölçüldü. Kaydedilen aşırı ince yapı örneği simülasyon programı yardımıyla simüle edildi. Şekil 4.25'te 436.450 nm spektral çizgisinin simüle edilmiş hali verildi. Şekil 4.25'te, kırmızı renk ile gösterilen OGS yöntemi ile elde edilen spektrumdur. Mavi renkle gösterilen ise geçişin alt ve üst enerji seviyeleri için tahmin edilen aşırı ince yapı sabitleri A , B ve toplam açısal momentum J değerleri için simülasyon programının oluşturduğu teorik aşırı ince yapı örneğidir. İncelenen geçişteki üst ve alt enerji seviyeleri için toplam açısal momentum değerlerinin sırasıyla $7/2$, $5/2$ ve manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A değerlerinin de yaklaşık olarak sırasıyla 200 MHz ve 410 MHz olabileceği tahmin edildi.



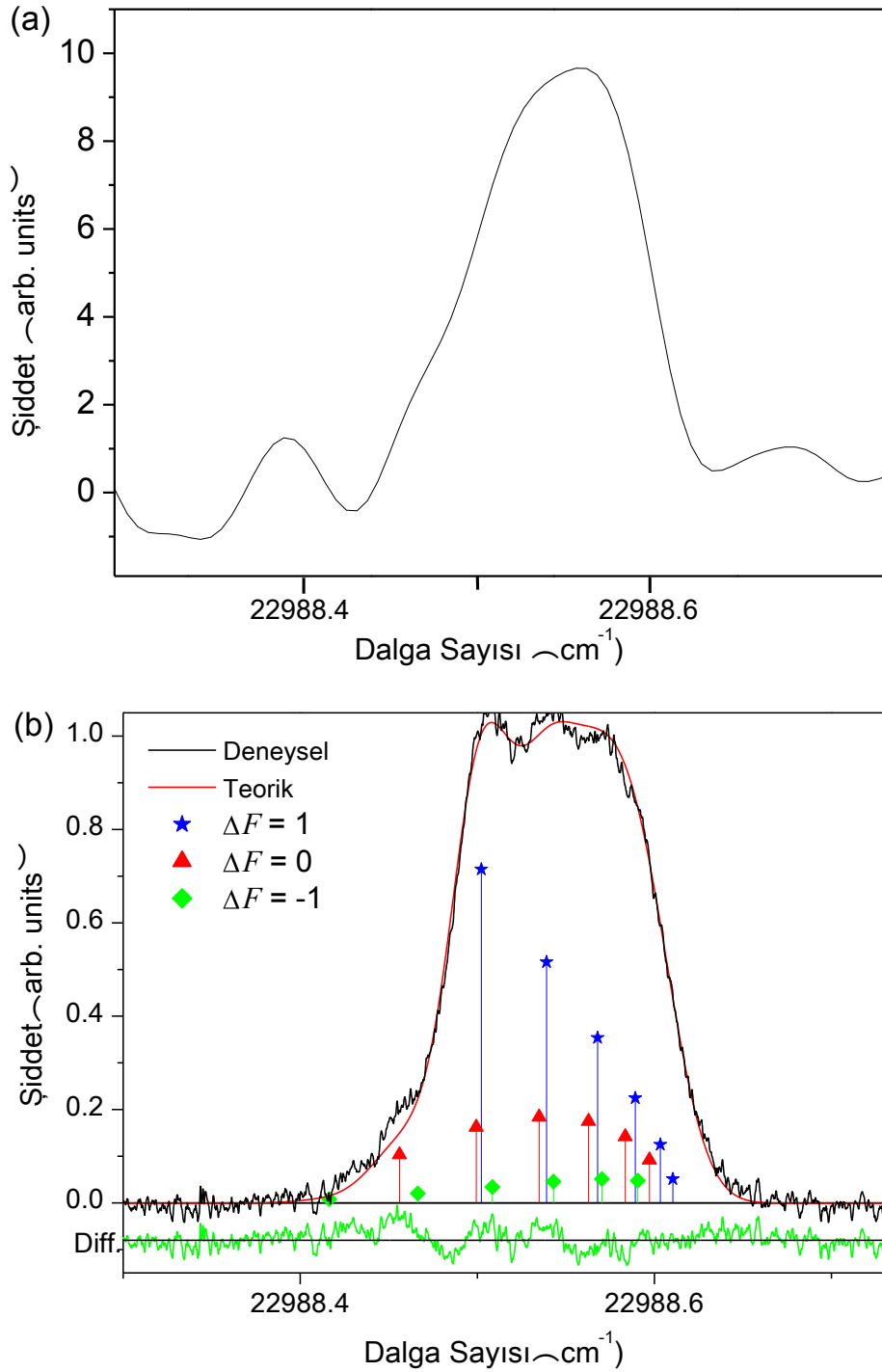
Şekil 4.25: 436.450 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.

Klasifikasyon [70] programının çalışabilmesi için gerekli giriş datalarından (Bkz. 3.8.1) La I elementine ait literatürde bilinen alt enerji seviyelerine bakarak, manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A yaklaşık 410 MHz olan bir seviye arandı. $A = 410.4(4) \text{ MHz}$ olan $15196.822 \text{ cm}^{-1}$, tek pariteli, $J = 5/2$ enerji seviyesi bulundu. Dolayısıyla seçilen seviye, uyarılan $\lambda = 434.877 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin alt enerji seviyesi olarak

belirlendi. Bu durumda, incelenen 434.877 nm spektral çizgisinde bilinmeyen seviyenin üst enerji seviyesi olduğu anlaşıldı. Geçişin dalga sayısı ($22988.545 \text{ cm}^{-1}$) alt enerji seviyesine ($15196.822 \text{ cm}^{-1}$) eklendiğinde La I elementine ait yeni üst enerji seviyesi elde edildi. 434.877 nm spektral geçişinden bulunan yeni üst enerji seviyesi $38185.367 \text{ cm}^{-1}$ olarak bulundu. Uyarılan spektral geçişin alt enerji seviyesi olarak belirlenen $15196.822 \text{ cm}^{-1}$ tek pariteli olduğuna göre, bulunan $38185.367 \text{ cm}^{-1}$ üst enerji seviyesinin paritesi çift olmalıdır (Bkz. 3.1.5).

434.877 nm dalgaboylu spektral çizgi için 5 ölçüm alındı. Alınan aşırı ince yapı örnekleri Fitter [8] programı ile fit işlemi sonucunda $38185.367 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi için manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A = 200(3) \text{ MHz}$ olarak belirlendi. Fit sırasında elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B "0" alındı. Şekil 4.26b'de, OGS yöntemi ile ölçülmüş 434.877 nm dalgaboylu geçişin en iyi fit edilmiş şekli verildi.

Bulunan $38185.367 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesini kanıtlamak için, daha önce bahsedildiği gibi, ikinci uyarma işlemi yapıldı. Bunun için, $38185.367 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi Klasifikasyon [70] programındaki Level_La giriş dosyasına eklendi ve bu seviye ile birlikte programda mümkün olabilecek geçişler arandı. Bulunan spektral geçişlerden 431.549 nm dalgaboyuna sahip çizgilere laser uyarımı yapılarak, uyarılan spektral çizgiler Optogalvanik Spektroskopisi (OGS) yöntemi ile ölçüldü ve 431.549 nm spektral çizgisinin en iyi fit edilmiş şekli Şekil.Ek2.2'de verildi. Kaydedilen spektrumun fit işlemi yapıldıktan sonra, ilk uyarma durumu sonucundaki hesaplamalar aynen yapılarak, $38185.367 \text{ cm}^{-1}$, $J = 7/2$, çift pariteli La I enerji seviyesinin doğruluğu kanıtlandı. $38185.367 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi için elde edilen aşırı ince yapı sabiti kullanılarak simüle edilen spektral çizgi ile FT spektrumundaki aşırı ince yapı örneğinin karşılaştırılmasıyla, incelenen 434.877 nm dalgaboyunun kesin olarak 434.8774 nm olduğu belirlendi. Bulunan enerji seviyesine olan tüm geçişlerin dalgaboylarını hesaba katarak, enerji $38185.340 (10) \text{ cm}^{-1}$ olarak düzeltildi.

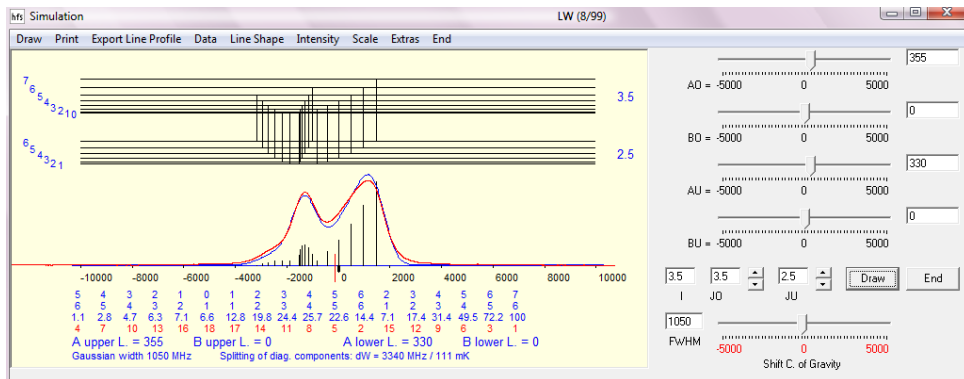


Şekil 4.26: Yeni $38185.340 \text{ cm}^{-1}$ La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 434.8774 \text{ nm}$ $\bar{\nu} = 22988.524 \text{ cm}^{-1}$ ($15196.822 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2 \rightarrow 438185.340 \text{ cm}^{-1}$, $J = 7/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen ayrılmamış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.

- $J = 7/2$, 39707.46 cm^{-1} *İnce Yapı Enerji Seviyesinin Bulunması* :

FT spektrumunda sinyal/gürültü oranı (SNR) 1 olan ve ağırlık merkezi dalgaboyu $\lambda = 638.338 \text{ nm}$ ($\bar{\nu} = 15661.352 \text{ cm}^{-1}$) olan spektral çizgi için klasifikasyon programında hiçbir geçiş önerisi bulunamadı. Bunun anlamı bu çizginin alt ve üst enerji seviyelerinden birisi ya da her ikisi de bilinmiyor demektir.

İncelenen $\lambda = 638.338 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin FT spektrumundaki görünüşü Şekil 4.28'a gösterildi. Deney sırasında laser dalgaboyu, çizginin ağırlık merkezi olabileceği dalgaboyu civarında taranarak, floresans sinyalleri arandı. Arama sonucunda gözlenen floresanslar çok düşük şiddetli olduğundan, LIF spektrumu alınamadı, bu spektral çizgi OGS yöntemi ile ölçüldü. Kaydedilen aşırı ince yapı örneği simülasyon programı yardımıyla simüle edildi. Şekil 4.27'de 638.338 nm spektral çizgisinin simüle edilmiş hali verildi. Şekil 4.27'de, kırmızı renk ile gösterilen OGS yöntemi ile elde edilen spektrumdur. Mavi renkle gösterilen ise geçişin alt ve üst enerji seviyeleri için tahmin edilen aşırı ince yapı sabitleri A , B ve toplam açısal momentum J değerleri için simülasyon programının oluşturduğu teorik aşırı ince yapı örneğidir. İncelenen geçişteki üst ve alt enerji seviyeleri için toplam açısal momentum değerlerinin sırasıyla $7/2$, $5/2$ ve manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A değerlerinin de yaklaşık olarak sırasıyla 355 MHz ve 330 MHz olabileceği tahmin edildi.



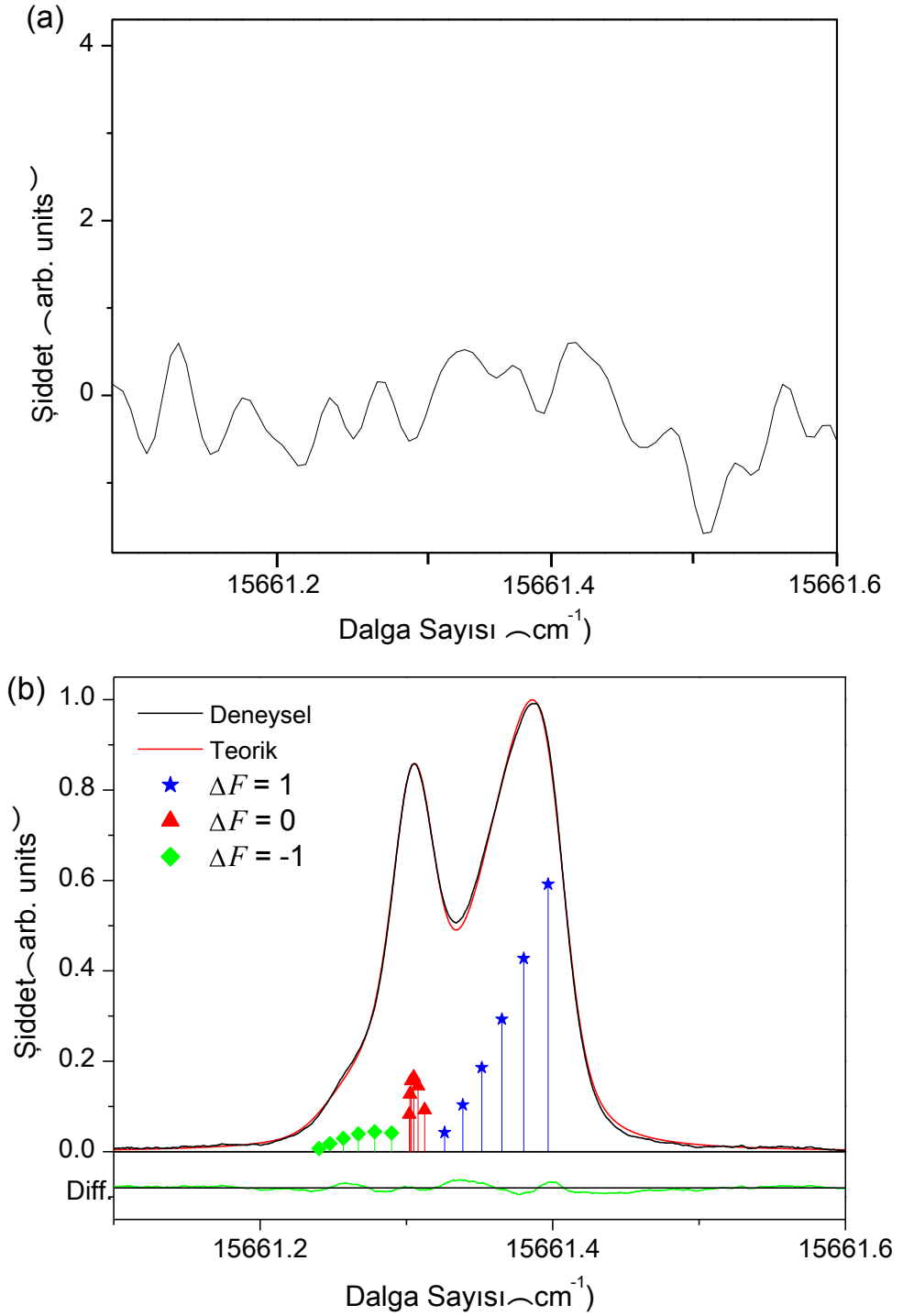
Şekil 4.27: 638.338 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.

Klasifikasyon [70] programının çalışabilmesi için gerekli giriş datalarından (Bkz. 3.8.1) La I elementine ait literatürde bilinen alt enerji seviyelerine bakarak, manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A yaklaşık 330 MHz olan bir seviye arandı. $A = 325.8(1.7) \text{ MHz}$ olan $24046.095 \text{ cm}^{-1}$, tek pariteli, $J = 5/2$ enerji seviyesi bulundu. Dolayısıyla seçilen

seviye, uyarılan $\lambda = 638.338 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin alt enerji seviyesi olarak belirlendi. Bu durumda, incelenen 638.38 nm spektral çizgisinde bilinmeyen seviyenin üst enerji seviyesi olduğu anlaşıldı. Geçişin dalga sayısı ($15661.352 \text{ cm}^{-1}$) alt enerji seviyesine ($24046.095 \text{ cm}^{-1}$) eklendiğinde La I elementine ait yeni üst enerji seviyesi elde edildi. 638.338 nm spektral geçişinden bulunan yeni üst enerji seviyesi $39707.447 \text{ cm}^{-1}$ olarak bulundu. Uyarılan spektral geçişin alt enerji seviyesi olarak belirlenen $24046.095 \text{ cm}^{-1}$ tek pariteli olduğuna göre, bulunan $39707.447 \text{ cm}^{-1}$ üst enerji seviyesinin paritesi çift olmalıdır (Bkz. 3.1.5).

638.338 nm dalgaboylu spektral çizgi için 5 ölçüm alındı. Alınan aşırı ince yapı örnekleri Fitter [8] programı ile fit işlemi sonucunda $39707.447 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi için manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A = 361(3) \text{ MHz}$ olarak belirlendi. Fit sırasında elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B "0" alındı. Şekil 4.28b'de, OGS yöntemi ile ölçülmüş 638.338 nm dalgaboylu geçişin en iyi fit edilmiş şekli verildi.

Bulunan $39707.447 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesini kanıtlamak için, daha önce bahsedildiği gibi, ikinci uyarma işlemi yapıldı. Bunun için, $38185.367 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi Klasifikasyon [70] programındaki Level_La giriş dosyasına eklendi ve bu seviye ile birlikte programda mümkün olabilecek geçişler arandı. Bulunan spektral geçişlerden 657.731 nm dalgaboyuna sahip çizgiye laser uyarımı yapılarak, uyarılan spektral çizginin spektrumu Optogalvanik Spektroskopisi (OGS) yöntemi ile ölçüldü ve 657.731 nm spektral çizgisinin en iyi fit edilmiş şekli Şekil.Ek2.86'da verildi. Kaydedilen spektrumun fit işlemi yapıldıktan sonra, ilk uyarma durumu sonucundaki hesaplamalar aynen yapılarak, $39707.447 \text{ cm}^{-1}$, $J = 7/2$, çift pariteli La I enerji seviyesinin doğruluğu kanıtlandı. Bulunan enerji seviyesine olan tüm geçişlerin dalgaboylarını hesaba katarak, enerji $39707.46 (5) \text{ cm}^{-1}$ olarak düzeltildi.



Şekil 4.28: Yeni 39707.46 cm^{-1} La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 638.338 \text{ nm}$ $\bar{\nu} = 15661.352 \text{ cm}^{-1}$ ($24046.095 \text{ cm}^{-1}$, $J = 5/2 \rightarrow 39707.46 \text{ cm}^{-1}$, $J = 7/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen kısmen ayrılmış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.

- $J = 7/2$, 40106.64 cm^{-1} *İnce Yapı Enerji Seviyesinin Bulunması* :

FT spektrumunda sinyal/gürültü oranı (SNR) 4 olan ve ağırlık merkezi dalgaboyu $\lambda = 600.8029 \text{ nm}$ ($\bar{\nu} = 16639.785 \text{ cm}^{-1}$) olan spektral çizgi için klasifikasyon programında hiçbir geçiş önerisi bulunamadı. Bunun anlamı bu çizginin alt ve üst enerji seviyelerinden birisi ya da her ikisi de bilinmiyor demektir.

İncelenen $\lambda = 600.8029 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin FT spektrumundaki görünüşü Şekil 4.29a'da gösterildi. Deney sırasında laser dalgaboyu, çizginin ağırlık merkezi olabileceği dalgaboyu civarında taranarak, floresans sinyalleri arandı. Arama sonucunda gözlenen floresanslar çok düşük şiddetli olduğundan, spektrum OGS yöntemi ile kaydedildi. Daha sonra, bu aşırı ince yapı örneğini simülasyon programı yardımıyla simüle ederek, geçişteki enerji seviyelerinin toplam açısal momentum değerlerinin $J_{üst} = 7/2$ ve $J_{alt} = 9/2$ olabileceği tahmin edildi.

Sonraki adımda, Klasifikasyon [70] programının çalışabilmesi için gerekli giriş datalarından (Bkz. 3.8.1) La I elementine ait literatürde bilinen alt enerji seviyelerine bakarak, manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A yaklaşık 400 MHz olan bir seviye arandı.

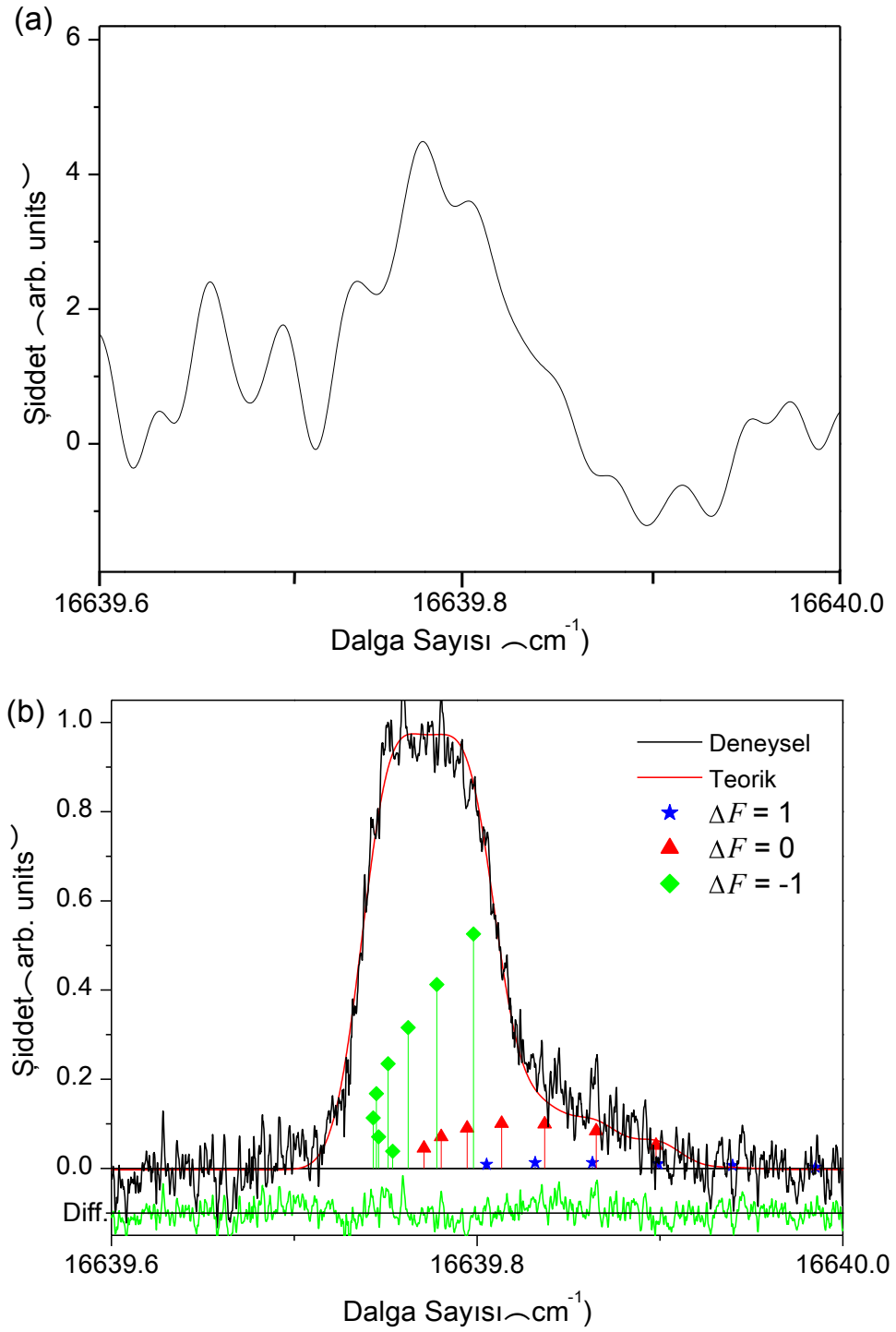
$A = 373.1(5) \text{ MHz}$ olan $23466.834 \text{ cm}^{-1}$, tek pariteli, $J = 9/2$ enerji seviyesi bulundu. Dolayısıyla seçilen seviye, uyarılan $\lambda = 638.338 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin alt enerji seviyesi olarak belirlendi.

İncelenen 600.8029 nm spektral çizgisinde bilinmeyen enerji seviyesinin üst enerji seviyesi olduğu anlaşıldı. Geçişin ağırlık merkezi dalgaboyu, program tarafından yapılan fit sonucu hesaplanarak, alt enerji seviyesine eklendiğinde La I elementine ait yeni üst enerji seviyesi elde edildi. 600.8029 nm spektral geçişinden bulunan yeni üst enerji seviyesi 40106.64 cm^{-1} olarak bulundu. Uyarılan spektral geçişin alt enerji seviyesi olarak belirlenen $23466.834 \text{ cm}^{-1}$ tek pariteli olduğuna göre, bulunan 40106.64 cm^{-1} üst enerji seviyesinin paritesi çift olmalıdır (Bkz. 3.1.5).

600.8029 nm dalgaboylu spektral çizgi için 5 ölçüm alındı. Alınan aşırı ince yapı örnekleri Fitter [8] programı ile fit işlemi sonucunda 40106.64 cm^{-1} enerji seviyesi için

manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A = 514.2 (9) \text{ MHz}$ olarak belirlendi. Şekil 4.29b'de, LIF yöntemi ile ölçülmüş 600.8029 nm dalgaboylu geçişin en iyi fit edilmiş şekli verildi.

Bulunan 40106.64 cm^{-1} enerji seviyesini kanıtlamak için, daha önce bahsedildiği gibi, ikinci uyarma işlemi yapıldı. Daha sonra, Klasifikasyon [70] programında, bazı spektral geçişler için bulunan 40106.64 cm^{-1} enerji seviyesini içeren mümkün öneriler verdiği görüldü. Bu spektral geçişlerden 636.8900 nm dalgaboyuna sahip çizgiye laser uyarımı yapılarak, uyarılan spektral çizginin spektrumu Optogalvanik Spektroskopisi (OGS) yöntemi ile kaydedildi. İlk uyarma durumu sonucundaki hesaplamalar aynen yapılarak, 40106.64 cm^{-1} , $J = 7/2$, çift pariteli La I enerji seviyesinin doğruluğu kanıtlandı. Bulunan enerji seviyesine olan tüm geçişlerin dalgaboylarını hesaba katarak, enerji $40106.64 (2) \text{ cm}^{-1}$ olarak düzeltildi.

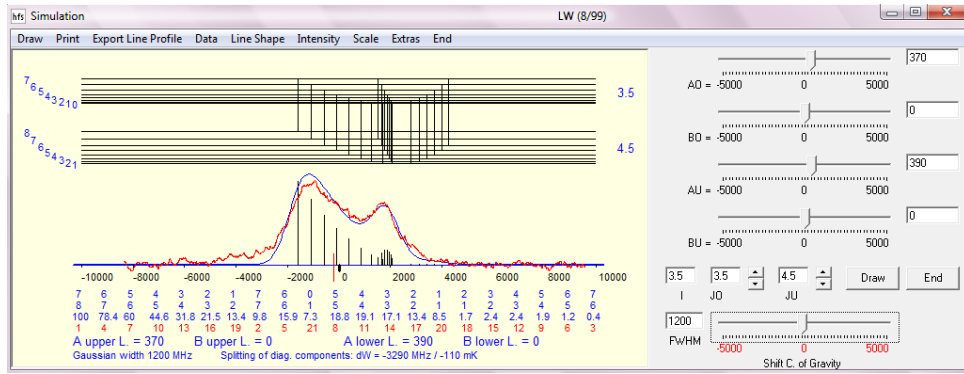


Şekil 4.29: Yeni 40106.64 cm^{-1} La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 600.8029 \text{ nm}$ $\bar{\nu} = 16639.785 \text{ cm}^{-1}$ ($23466.834 \text{ cm}^{-1}$, $J = 9/2 \rightarrow 40106.64 \text{ cm}^{-1}$, $J = 7/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen ayrılmamış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.

- $J = 7/2$, 41532.41 cm^{-1} İnce Yapı Enerji Seviyesinin Bulunması :

FT spektrumunda sinyal/gürültü oranı (SNR) 4 olan ve ağırlık merkezi dalgaboyu $\lambda = 578.429 \text{ nm}$ ($\bar{\nu} = 17283.413 \text{ cm}^{-1}$) olan spektral çizgi için klasifikasyon programında hiçbir geçiş önerisi bulunamadı. Bunun anlamı bu çizginin alt ve üst enerji seviyelerinden birisi ya da he ikisi de bilinmiyor demektir.

İncelenen $\lambda = 578.429 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin FT spektrumundaki görünüşü Şekil 4.31a'da gösterildi. Deney sırasında laser dalgaboyu, Şekil 4.31a'da görülen çizginin en yüksek pikine ayarlayanak floresans sinyalleri arandı. Laser Uyarılmış Floresans (LIF) yöntemi ile bulunan 624.9 nm ve 550.1 nm negatif floresanslarında sinyal görüldü. Monokromatör, en yüksek şiddetli floresans çizgisi olarak gözlenen 624.9 nm dalgaboyuna ayarlandı ve uyarılan çizginin aşırı ince yapısı kaydedildi. Kaydedilen aşırı ince yapı örneği simülasyon programı yardımıyla simüle edildi. Şekil 4.30'da 578.429 nm spektral çizgisinin simüle edilmiş hali verildi. Şekil 4.30'da, kırmızı renk ile gösterilen OGS yöntemi ile elde edilen spektrumdur. Mavi renkle gösterilen ise geçişin alt ve üst enerji seviyeleri için tahmin edilen aşırı ince yapı sabitleri A , B ve toplam açılal momentum J değerleri için simülasyon programının oluşturduğu teorik aşırı ince yapı örneğidir. İncelenen geçişteki üst ve alt enerji seviyeleri için toplam açılal momentum değerlerinin sırasıyla $7/2$, $9/2$ ve manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A değerlerinin de yaklaşık olarak sırasıyla 370 MHz ve 390 MHz olabileceği tahmin edildi.



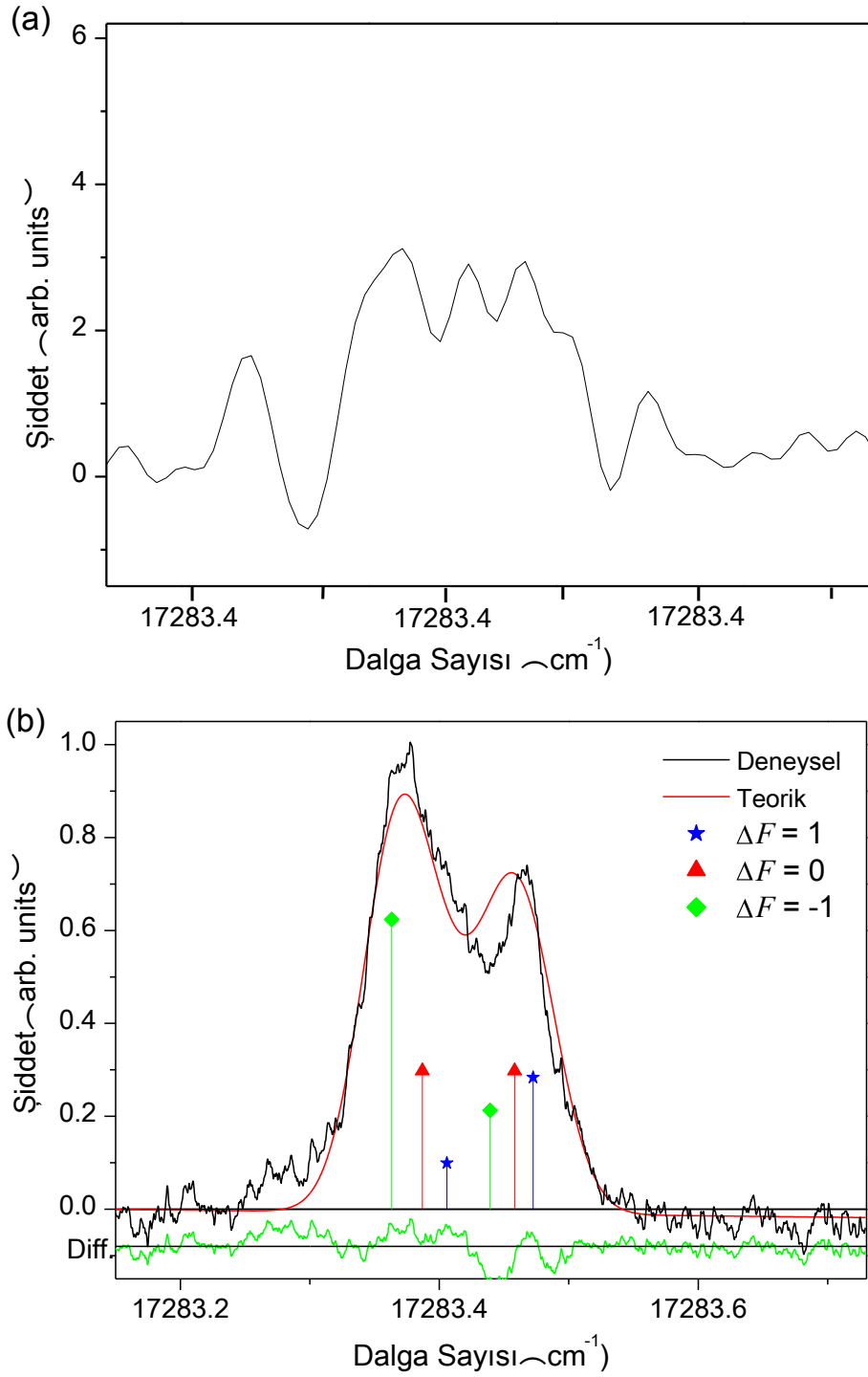
Şekil 4.30: 578.429 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.

Klasifikasyon [70] programının çalışabilmesi için gerekli giriş datalarından (Bkz. 3.8.1) La I elementine ait literatürde bilinen alt enerji seviyelerine bakarak, manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A yaklaşık 400 MHz olan bir seviye arandı. $A = 405 (2) \text{ MHz}$ olan $24248.994 \text{ cm}^{-1}$, tek pariteli, $J = 5/2$ enerji seviyesi bulundu. Dolayısıyla seçilen

seviye, uyarılan $\lambda = 578.429 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin alt enerji seviyesi olarak belirlendi. Bu durumda, incelenen 578.429 nm spektral çizgisinde bilinmeyen seviyenin üst enerji seviyesi olduğu anlaşıldı. Geçişin dalga sayısı ($17283.413 \text{ cm}^{-1}$) alt enerji seviyesine ($24248.994 \text{ cm}^{-1}$) eklendiğinde La I elementine ait yeni üst enerji seviyesi elde edildi. 578.429 nm spektral geçişinden bulunan yeni üst enerji seviyesi $41532.407 \text{ cm}^{-1}$ olarak bulundu. Uyarılan spektral geçişin alt enerji seviyesi olarak belirlenen $24248.994 \text{ cm}^{-1}$ tek pariteli olduğuna göre, bulunan $41532.407 \text{ cm}^{-1}$ üst enerji seviyesinin paritesi çift olmalıdır (Bkz. 3.1.5).

578.429 nm dalgaboylu spektral çizgi için 5 ölçüm alındı. Alınan aşırı ince yapı örnekleri Fitter [8] programı ile fit işlemi sonucunda $41532.407 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi için manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A = 360(2) \text{ MHz}$ olarak belirlendi. Fit sırasında elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B "0" alındı. Şekil 4.31b'de, LIF yöntemi ile ölçülmüş 578.429 nm dalgaboylu geçişin en iyi fit edilmiş şekli verildi.

Bulunan $41532.407 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesini kanıtlamak için, daha önce bahsedildiği gibi, ikinci uyarma işlemi yapıldı. Bunun için, $41532.407 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi Klasifikasyon [70] programındaki Level_La giriş dosyasına eklendi ve bu seviye ile birlikte programda mümkün olabilecek geçişler arandı. Bulunan spektral geçişlerden 657.995 nm dalgaboyuna sahip çizgiye laser uyarımı yapılarak, uyarılan spektral çizginin spektrumu Optogalvanik Spektroskopisi (OGS) yöntemi ile ölçüldü ve 657.995 nm spektral çizgisinin en iyi fit edilmiş şekli Şekil.Ek2.87'de verildi. Kaydedilen spektrumun fit işlemi yapıldıktan sonra, ilk uyarma durumu sonucundaki hesaplamalar aynen yapılarak, $41532.407 \text{ cm}^{-1}$, $J = 7/2$, çift pariteli La I enerji seviyesinin doğruluğu kanıtlandı. $41532.407 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi için elde edilen aşırı ince yapı sabiti kullanılarak simüle edilen spektral çizgi ile FT spektrumundaki aşırı ince yapı örneğinin karşılaştırılmasıyla, incelenen 578.429 nm dalgaboyunun kesin olarak 578.4289 nm olduğu belirlendi. Bulunan enerji seviyesine olan tüm geçişlerin dalgaboylarını hesaba katarak, enerji $41532.41(5) \text{ cm}^{-1}$ olarak düzeltildi.

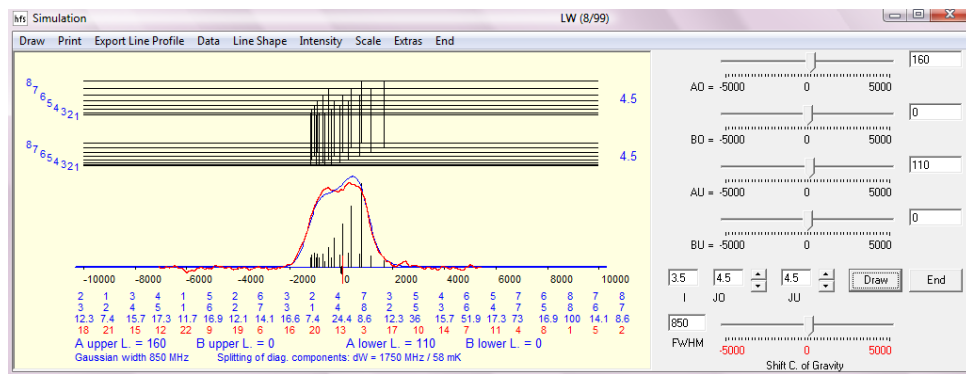


Şekil 4.31: Yeni 41532.41 cm^{-1} La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 578.4289 \text{ nm}$ $\bar{\nu} = 17283.416 \text{ cm}^{-1}$ ($24248.994 \text{ cm}^{-1}$, $J = 9/2 \rightarrow 41532.41 \text{ cm}^{-1}$, $J = 7/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen kısmen ayrılmış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.

- $J = 9/2, 36298.200 \text{ cm}^{-1}$ *İnce Yapı Enerji Seviyesinin Bulunması :*

FT spektrumunda sinyal/gürültü oranı (SNR) 4 olan ve ağırlık merkezi dalgaboyu $\lambda = 582.287 \text{ nm}$ ($\bar{\nu} = 17168.901 \text{ cm}^{-1}$) olan spektral çizgi için klasifikasyon programında hiçbir geçiş önerisi bulunamadı. Bunun anlamı bu çizginin alt ve üst enerji seviyelerinden birisi ya da her ikisi de bilinmiyor demektir.

İncelenen $\lambda = 582.287 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin FT spektrumundaki görünüşü Şekil 4.33a'da gösterildi. Deney sırasında laser dalgaboyu, Şekil 4.33a'da görülen çizginin en yüksek pikine ayarlayanak floresans sinyalleri arandı. Laser Uyarılmış Floresans (LIF) yöntemi ile bulunan 498.2 nm ve 639.3 nm negatif floresanslarında sinyal görüldü. Monokromatör, en yüksek şiddetli floresans çizgisi olarak gözlenen 498.2 nm dalgaboyuna ayarlandı ve uyarılan çizginin aşırı ince yapısı kaydedildi. Kaydedilen aşırı ince yapı örneği simülasyon programı yardımıyla simüle edildi. Şekil 4.32'de 582.287 nm spektral çizgisinin simüle edilmiş hali verildi. Şekil 4.32'de, kırmızı renk ile gösterilen OGS yöntemi ile elde edilen spektrumdur. Mavi renkle gösterilen ise geçişin alt ve üst enerji seviyeleri için tahmin edilen aşırı ince yapı sabitleri A , B ve toplam açısal momentum J değerleri için simülasyon programının oluşturduğu teorik aşırı ince yapı örneğidir. İncelenen geçişteki üst ve alt enerji seviyeleri için toplam açısal momentum değerlerinin sırasıyla $9/2$, $9/2$ ve manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A değerlerinin de yaklaşık olarak sırasıyla 160 MHz ve 110 MHz olabileceği tahmin edildi.



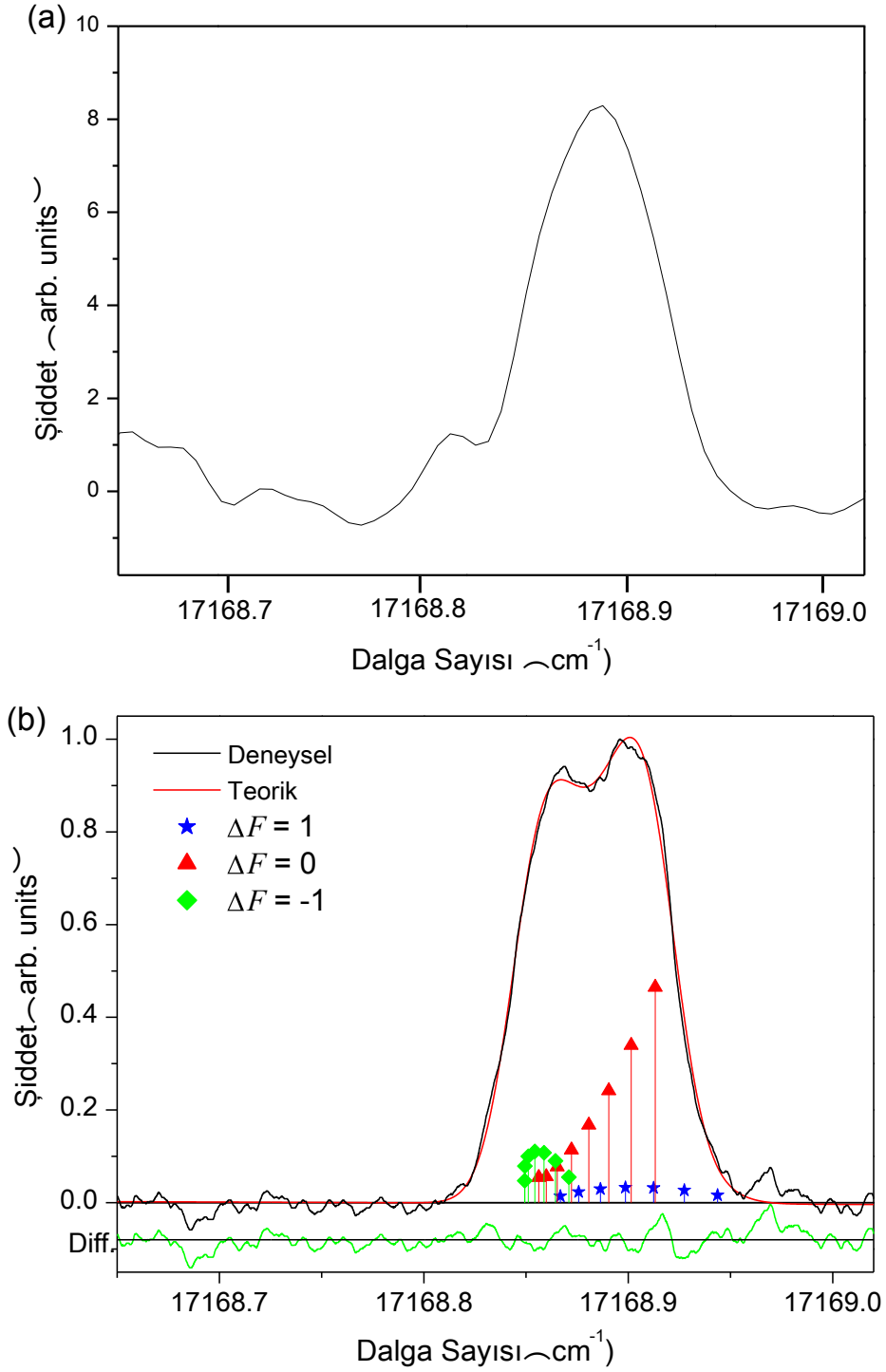
Şekil 4.32: 582.287 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.

Klasifikasyon [70] programının çalışabilmesi için gerekli giriş datalarından (Bkz. 3.8.1) La I elementine ait literatürde bilinen alt enerji seviyelerine bakarak, manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A yaklaşık 100 MHz olan bir seviye arandı. $A = 110.1(1.0) \text{ MHz}$ olan

$19129.307 \text{ cm}^{-1}$, tek pariteli, $J = 9/2$ enerji seviyesi bulundu. Dolayısıyla seçilen seviye, uyarılan $\lambda = 582.287 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin alt enerji seviyesi olarak belirlendi. Bu durumda, incelenen 582.287 nm spektral çizgisinde bilinmeyen seviyenin üst enerji seviyesi olduğu anlaşıldı. Geçişin dalga sayısı ($17168.889 \text{ cm}^{-1}$) alt enerji seviyesine ($19129.307 \text{ cm}^{-1}$) eklendiğinde La I elementine ait yeni üst enerji seviyesi elde edildi. 582.287 nm spektral geçişinden bulunan yeni üst enerji seviyesi $36298.196 \text{ cm}^{-1}$ olarak bulundu. Uyarılan spektral geçişin alt enerji seviyesi olarak belirlenen $19129.307 \text{ cm}^{-1}$ tek pariteli olduğuna göre, bulunan $36298.196 \text{ cm}^{-1}$ üst enerji seviyesinin paritesi çift olmalıdır (Bkz. 3.1.5).

582.287 nm dalgaboylu spektral çizgi için 5 ölçüm alındı. Alınan aşırı ince yapı örnekleri Fitter [8] programı ile fit işlemi sonucunda $36298.200 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi için manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A = 158.7(4) \text{ MHz}$ olarak belirlendi. Fit sırasında elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B “0” alındı. Şekil 4.33b’de, LIF yöntemi ile ölçülmüş 582.287 nm dalgaboylu geçişin en iyi fit edilmiş şekli verildi.

Bulunan $36298.196 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesini kanıtlamak için, daha önce bahsedildiği gibi, ikinci uyarma işlemi yapıldı. Bunun için, $36298.196 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi Klasifikasyon [70] programındaki Level_La giriş dosyasına eklendi ve bu seviye ile birlikte programda mümkün olabilecek geçişler arandı. Bulunan spektral geçişlerden 670.3164 nm dalgaboyuna sahip çizgiye laser uyarımı yapılarak, uyarılan spektral çizginin spektrumu Optogalvanik Spektroskopisi (OGS) yöntemi ile ölçüldü ve 670.3164 nm spektral çizgisinin en iyi fit edilmiş şekli Şekil.Ek2.90’da verildi. Kaydedilen spektrumun fit işlemi yapıldıktan sonra, ilk uyarma durumu sonucundaki hesaplamalar aynen yapılarak, $36298.196 \text{ cm}^{-1}$, $J = 9/2$, çift pariteli La I enerji seviyesinin doğruluğu kanıtlandı. $36298.196 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi için elde edilen aşırı ince yapı sabiti kullanılarak simüle edilen spektral çizgi ile FT spektrumundaki aşırı ince yapı örneğinin karşılaştırılmasıyla, incelenen 582.287 nm dalgaboyunun kesin olarak 582.2874 nm olduğu belirlendi. Bulunan enerji seviyesine olan tüm geçişlerin dalgaboylarını hesaba katarak, enerji $36298.200 (10) \text{ cm}^{-1}$ olarak düzeltildi.

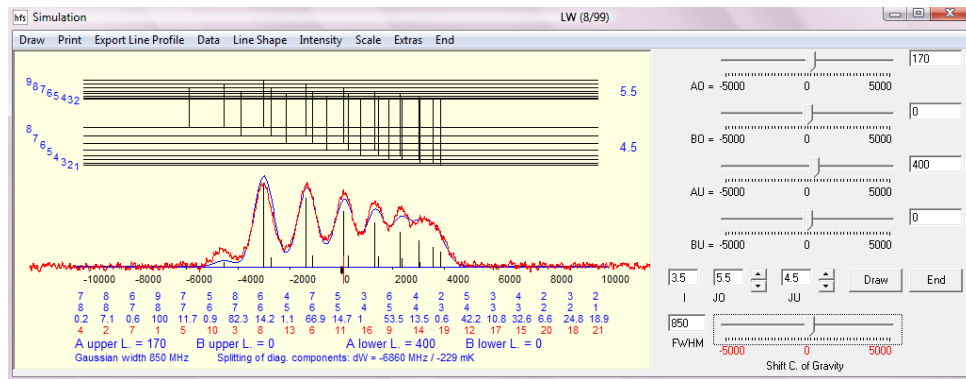


Şekil 4.33: Yeni $36298.200 \text{ cm}^{-1}$ La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 582.2874 \text{ nm}$ $\bar{\nu} = 17168.889 \text{ cm}^{-1}$ ($19129.307 \text{ cm}^{-1}$, $J = 9/2 \rightarrow 36298.200 \text{ cm}^{-1}$, $J = 9/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen ayrılmamış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.

- $J = 11/2$, $39079.070 \text{ cm}^{-1}$ *İnce Yapı Enerji Seviyesinin Bulunması* :

FT spektrumunda sinyal/gürültü oranı (SNR) 20 olan kısmen ayrılmış, ağırlık merkezi dalgaboyu $\lambda = 674.119 \text{ nm}$ ($\bar{\nu} = 14830.082 \text{ cm}^{-1}$) olan spektral çizgi için klasifikasyon programında hiçbir geçiş önerisi bulunamadı. Bunun anlamı bu çizginin alt ve üst enerji seviyelerinden birisi ya da her ikisi de bilinmiyor demektir.

İncelenen $\lambda = 674.119 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin FT spektrumundaki görünüşü Şekil 4.35a'da gösterildi. Deney sırasında laser dalgaboyu, çizginin ağırlık merkezi olabileceği dalgaboyu civarında taranarak, floresans sinyalleri arandı. Arama sonucunda gözlenen floresanslar çok düşük şiddetli olduğundan, LIF spektrumu alınamadı. Bu spektral çizgi OGS yöntemi ile ölçüldü. Kaydedilen aşırı ince yapı örneği simülasyon programı yardımıyla simüle edildi. Şekil 4.34'te 674.119 nm spektral çizgisinin simüle edilmiş hali verildi. Şekil 4.34'te, kırmızı renk ile gösterilen OGS yöntemi ile elde edilen spektrumdur. Mavi renkle gösterilen ise geçişin alt ve üst enerji seviyeleri için tahmin edilen aşırı ince yapı sabitleri A , B ve toplam açısal momentum J değerleri için simülasyon programının oluşturduğu teorik aşırı ince yapı örneğidir. İncelenen geçişteki üst ve alt enerji seviyeleri için toplam açısal momentum değerlerinin sırasıyla $11/2$, $9/2$ ve manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A değerlerinin de yaklaşık olarak sırasıyla 170 MHz ve 400 MHz olabileceği tahmin edildi.



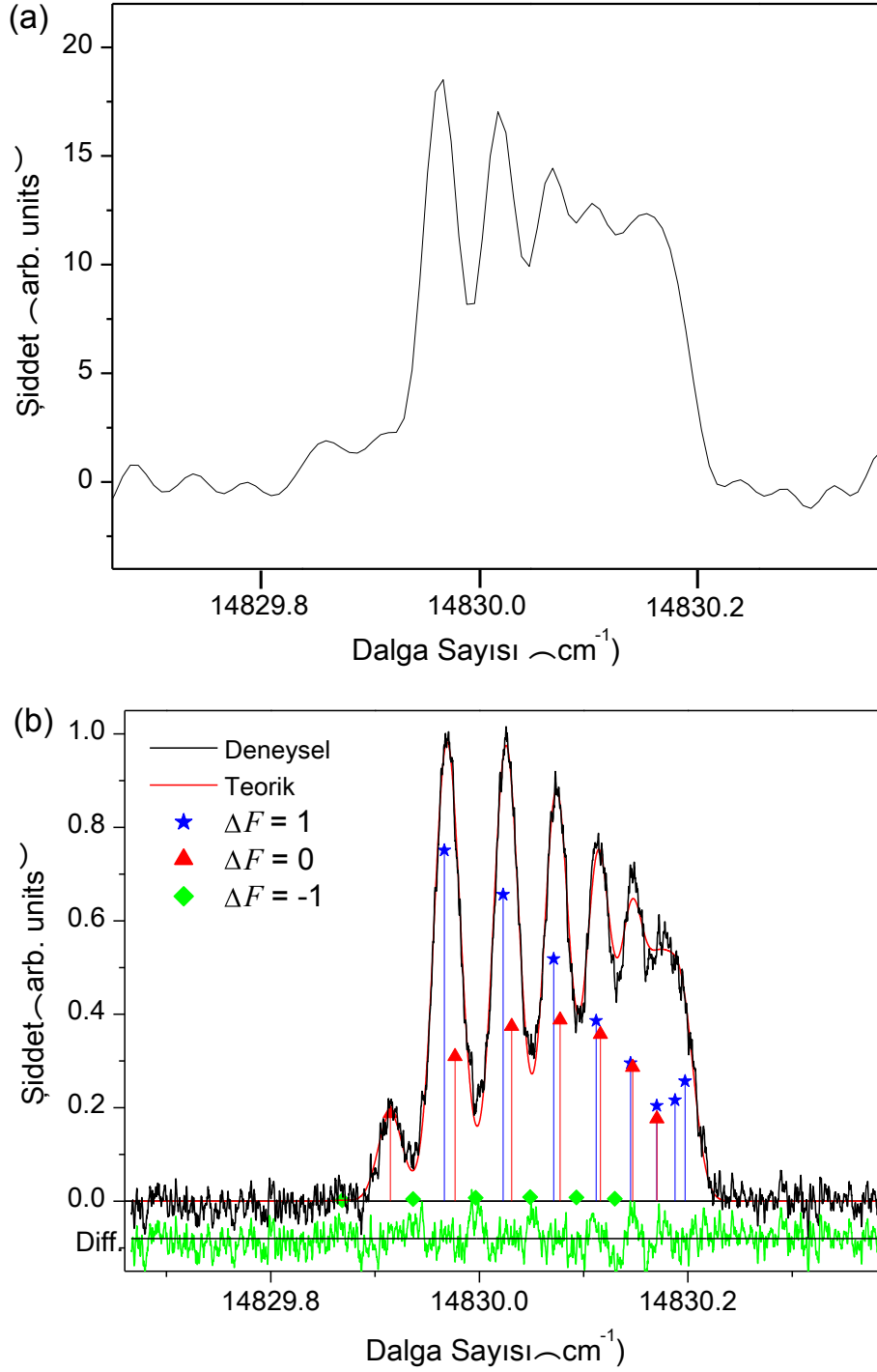
Şekil 4.34: 674.119 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.

Klasifikasyon [70] programının çalışabilmesi için gerekli giriş datalarından (Bkz. 3.8.1) La I elementine ait literatürde bilinen alt enerji seviyelerine bakarak, manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A yaklaşık 400 MHz olan bir seviye arandı. $A = 405 (2) \text{ MHz}$ olan $24248.994 \text{ cm}^{-1}$, tek pariteli, $J = 9/2$ enerji seviyesi bulundu. Dolayısıyla seçilen

seviye, uyarılan $\lambda = 674.119 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin alt enerji seviyesi olarak belirlendi. Bu durumda, incelenen 674.119 nm spektral çizgisinde bilinmeyen seviyenin üst enerji seviyesi olduğu anlaşıldı. Geçişin dalga sayısı ($14830.082 \text{ cm}^{-1}$) alt enerji seviyesine ($24248.994 \text{ cm}^{-1}$) eklendiğinde La I elementine ait yeni üst enerji seviyesi elde edildi. 674.119 nm spektral geçişinden bulunan yeni üst enerji seviyesi $39079.082 \text{ cm}^{-1}$ olarak bulundu. Uyarılan spektral geçişin alt enerji seviyesi olarak belirlenen $24248.994 \text{ cm}^{-1}$ tek pariteli olduğuna göre, bulunan $39079.082 \text{ cm}^{-1}$ üst enerji seviyesinin paritesi çift olmalıdır (Bkz. 3.1.5).

674.119 nm dalgaboylu spektral çizgi için 5 ölçüm alındı. Alınan aşırı ince yapı örnekleri Fitter [8] programı ile fit işlemi sonucunda $39079.082 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi için manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A = 172 (3) \text{ MHz}$ olarak belirlendi. Fit sırasında elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B "0" alındı. Şekil 4.35b'de, LIF yöntemi ile ölçülmüş 674.119 nm dalgaboylu geçişin en iyi fit edilmiş şekli verildi.

Bulunan $39079.082 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesini kanıtlamak için, daha önce bahsedildiği gibi, ikinci uyarma işlemi yapıldı. Bunun için, $39079.082 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi Klasifikasyon [70] programındaki Level_La giriş dosyasına eklendi ve bu seviye ile birlikte programda mümkün olabilecek geçişler arandı. Bulunan spektral geçişlerden 640.3460 nm dalgaboyuna sahip çizgiye laser uyarımı yapılarak, uyarılan spektral çizginin spektrumu Optogalvanik Spektroskopisi (OGS) yöntemi ile ölçüldü ve 640.3460 nm spektral çizgisinin en iyi fit edilmiş şekli Şekil.Ek2.78'de verildi. Kaydedilen spektrumun fit işlemi yapıldıktan sonra, ilk uyarma durumu sonucundaki hesaplamalar aynen yapılarak, $39079.082 \text{ cm}^{-1}$, $J = 11/2$, çift pariteli La I enerji seviyesinin doğruluğu kanıtlandı. $39079.082 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi için elde edilen aşırı ince yapı sabiti kullanılarak simüle edilen spektral çizgi ile FT spektrumundaki aşırı ince yapı örneğinin karşılaştırılmasıyla, incelenen 674.119 nm dalgaboyunun kesin olarak 674.1194 nm olduğu belirlendi. Bulunan enerji seviyesine olan tüm geçişlerin dalgaboylarını hesaba katarak, enerji $39079.070 (10) \text{ cm}^{-1}$ olarak düzeltildi.

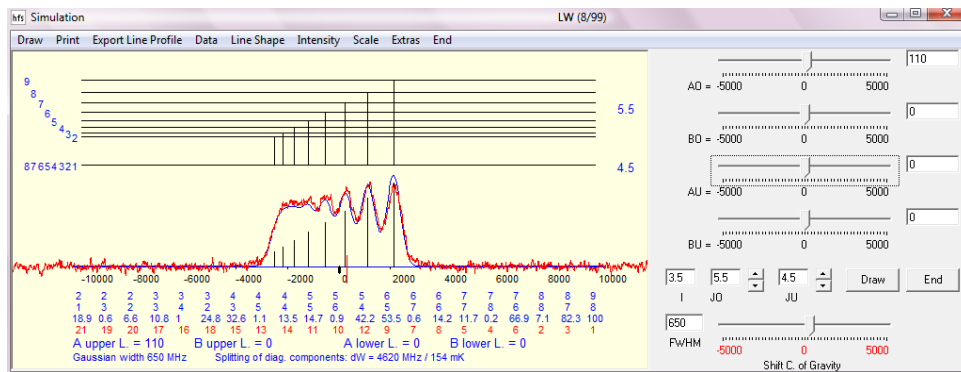


Şekil 4.35: Yeni $39079.070 \text{ cm}^{-1}$ La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 674.1194 \text{ nm}$ $\bar{\nu} = 14830.073 \text{ cm}^{-1}$ ($24248.994 \text{ cm}^{-1}$, $J = 9/2 \rightarrow 39079.070 \text{ cm}^{-1}$, $J = 11/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen kısmen ayrılmış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.

- $J = 11/2$, 41148.51 cm^{-1} *İnce Yapı Enerji Seviyesinin Bulunması* :

FT spektrumunda sinyal/gürültü oranı (SNR) 8 olan kısmen ayrılmış, ağırlık merkezi dalgaboyu $\lambda = 622.524 \text{ nm}$ ($\bar{\nu} = 16059.194 \text{ cm}^{-1}$) olan spektral çizgi için klasifikasyon programında hiçbir geçiş önerisi bulunamadı. Bunun anlamı bu çizginin alt ve üst enerji seviyelerinden birisi ya da her ikisi de bilinmiyor demektir.

İncelenen $\lambda = 622.524 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin FT spektrumundaki görünüşü Şekil 4.37a'da gösterildi. Deney sırasında laser dalgaboyu, çizginin ağırlık merkezi olabileceği dalgaboyu civarında taranarak, floresans sinyalleri arandı. Arama sonucunda gözlenen floresanslar çok düşük şiddetli olduğundan, LIF spektrumu alınamadı. Bu spektral çizgi OGS yöntemi ile ölçüldü. Kaydedilen aşırı ince yapı örneği simülasyon programı yardımıyla simüle edildi. Şekil 4.36'da 622.524 nm spektral çizgisinin simüle edilmiş hali verildi. Şekil 4.36'da, kırmızı renk ile gösterilen OGS yöntemi ile elde edilen spektrumdur. Mavi renkle gösterilen ise geçişin alt ve üst enerji seviyeleri için tahmin edilen aşırı ince yapı sabitleri A , B ve toplam açısal momentum J değerleri için simülasyon programının oluşturduğu teorik aşırı ince yapı örneğidir. İncelenen geçişteki üst ve alt enerji seviyeleri için toplam açısal momentum değerlerinin sırasıyla $11/2$, $9/2$ ve manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A değerlerinin de yaklaşık olarak sırasıyla 110 MHz ve 5 MHz olabileceği tahmin edildi.



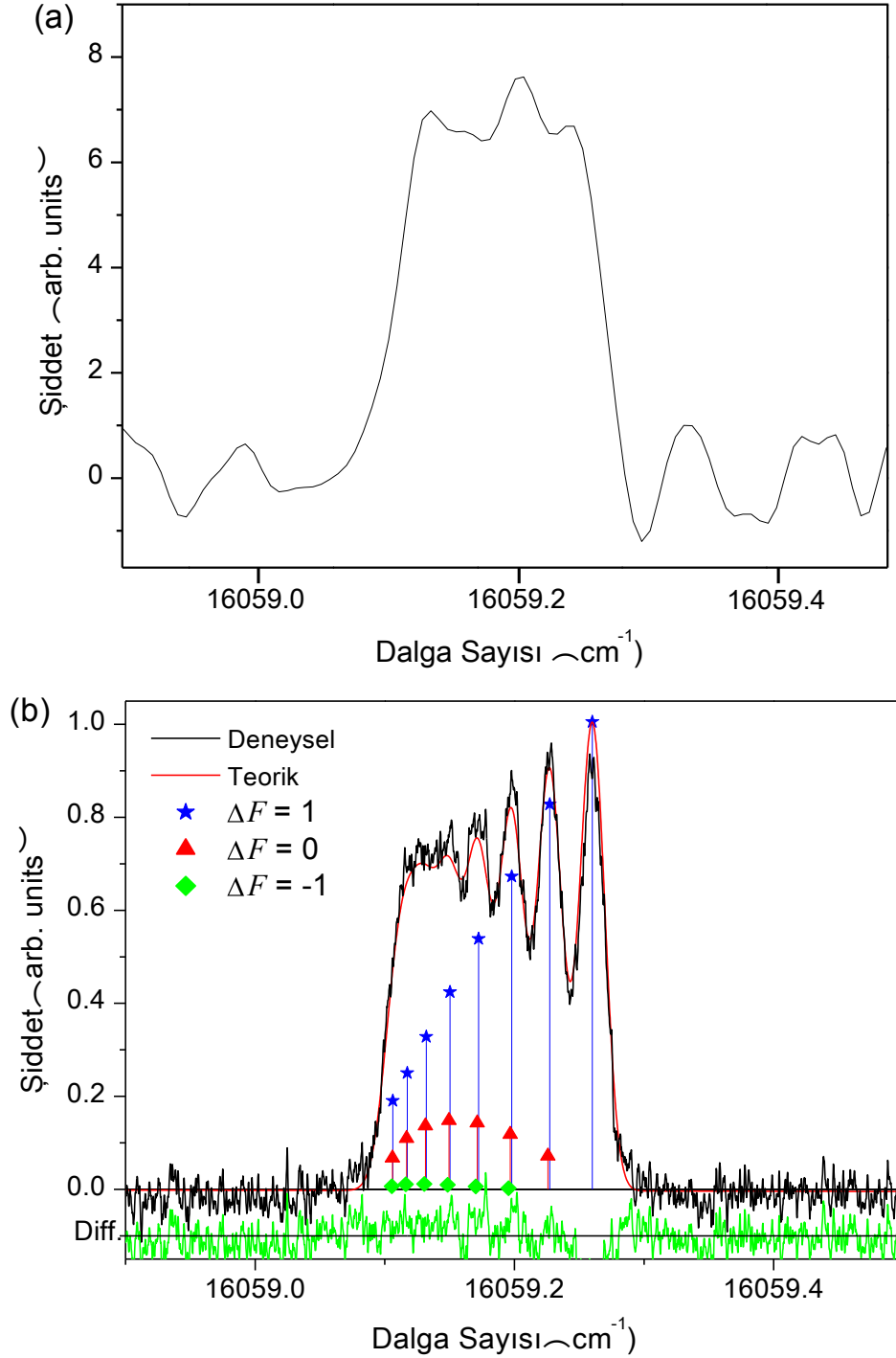
Şekil 4.36: 622.524 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.

Klasifikasyon [70] programının çalışabilmesi için gerekli giriş datalarından (Bkz. 3.8.1) La I elementine ait literatürde bilinen alt enerji seviyelerine bakarak, manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A yaklaşık 0 MHz olan bir seviye arandı. $A = 5.0 (3.4) \text{ MHz}$ olan $25089.316 \text{ cm}^{-1}$, tek pariteli, $J = 9/2$ enerji seviyesi bulundu. Dolayısıyla seçilen

seviye, uyarılan $\lambda = 622.524 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin alt enerji seviyesi olarak belirlendi. Bu durumda, incelenen 622.524 nm spektral çizgisinde bilinmeyen seviyenin üst enerji seviyesi olduğu anlaşıldı. Geçişin dalga sayısı ($16059.194 \text{ cm}^{-1}$) alt enerji seviyesine ($25089.316 \text{ cm}^{-1}$) eklendiğinde La I elementine ait yeni üst enerji seviyesi elde edildi. 622.524 nm spektral geçişinden bulunan yeni üst enerji seviyesi $41148.505 \text{ cm}^{-1}$ olarak bulundu. Uyarılan spektral geçişin alt enerji seviyesi olarak belirlenen $25089.316 \text{ cm}^{-1}$ tek pariteli olduğuna göre, bulunan $41148.505 \text{ cm}^{-1}$ üst enerji seviyesinin paritesi çift olmalıdır (Bkz. 3.1.5).

622.524 nm dalgaboylu spektral çizgi için 5 ölçüm alındı. Alınan aşırı ince yapı örnekleri Fitter [8] programı ile fit işlemi sonucunda 41148.51 cm^{-1} enerji seviyesi için manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A = 114.02 (5) \text{ MHz}$ olarak belirlendi. Fit sırasında elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B "0" alındı. Şekil 4.37b'de, OGS yöntemi ile ölçülmüş 622.5242 nm dalgaboylu geçişin en iyi fit edilmiş şekli verildi.

$41148.505 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi için elde edilen aşırı ince yapı sabiti kullanılarak simüle edilen spektral çizgi ile FT spektrumundaki aşırı ince yapı örneğinin karşılaştırılmasıyla, incelenen 622.524 nm dalgaboyunun kesin olarak 622.5242 nm olduğu belirlendi. Bulunan enerji seviyesine olan tüm geçişlerin dalgaboylarını hesaba katarak, enerji $41148.51 (2) \text{ cm}^{-1}$ olarak düzeltildi.

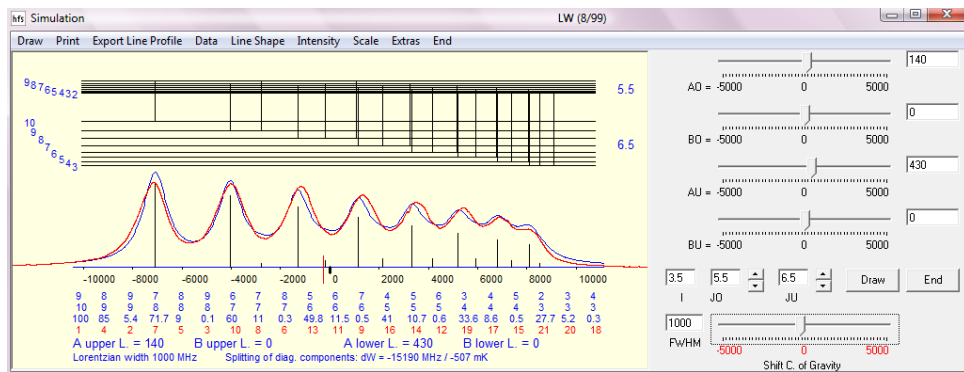


Şekil 4.37: Yeni 41148.51 cm^{-1} La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 622.5242 \text{ nm}$ $\bar{\nu} = 16059.189 \text{ cm}^{-1}$ ($25089.316 \text{ cm}^{-1}$, $J = 9/2 \rightarrow 41148.51 \text{ cm}^{-1}$, $J = 11/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen kısmen ayrılmış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.

- $J = 11/2$, $39764.360 \text{ cm}^{-1}$ *İnce Yapı Enerji Seviyesinin Bulunması* :

FT spektrumunda sinyal/gürültü oranı (SNR) 25 olan kısmen ayrılmış, ağırlık merkezi dalgaboyu $\lambda = 669.924 \text{ nm}$ ($\bar{\nu} = 14922.946 \text{ cm}^{-1}$) olan spektral çizgi için klasifikasyon programında hiçbir geçiş önerisi bulunamadı. Bunun anlamı bu çizginin alt ve üst enerji seviyelerinden birisi ya da her ikisi de bilinmiyor demektir.

İncelenen $\lambda = 669.924 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin FT spektrumundaki görünüşü Şekil 4.39a'da gösterildi. Deney sırasında laser dalgaboyu, çizginin ağırlık merkezi olabileceği dalgaboyu civarında taranarak, floresans sinyalleri arandı. Laser Uyarılmış Floresans (LIF) yöntemi ile bulunan 719.7 nm pozitif floresansında sinyal görüldü. Monokromatör, en yüksek şiddetli floresans çizgisi olarak gözlenen 719.7 nm dalgaboyuna ayarlandı ve uyarılan çizginin aşırı ince yapısı kaydedildi. Kaydedilen aşırı ince yapı örneği simülasyon programı yardımıyla simüle edildi. Şekil 4.38'de 669.924 nm spektral çizgisinin simüle edilmiş hali verildi. Şekil 4.38'de, kırmızı renk ile gösterilen OGS yöntemi ile elde edilen spektrumdur. Mavi renkle gösterilen ise geçişin alt ve üst enerji seviyeleri için tahmin edilen aşırı ince yapı sabitleri A , B ve toplam açıl momentum J değerleri için simülasyon programının oluşturduğu teorik aşırı ince yapı örneğidir. İncelenen geçişteki üst ve alt enerji seviyeleri için toplam açıl momentum değerlerinin sırasıyla $13/2$, $11/2$ ve manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A değerlerinin de yaklaşık olarak sırasıyla 140 MHz ve 430 MHz olabileceği tahmin edildi.



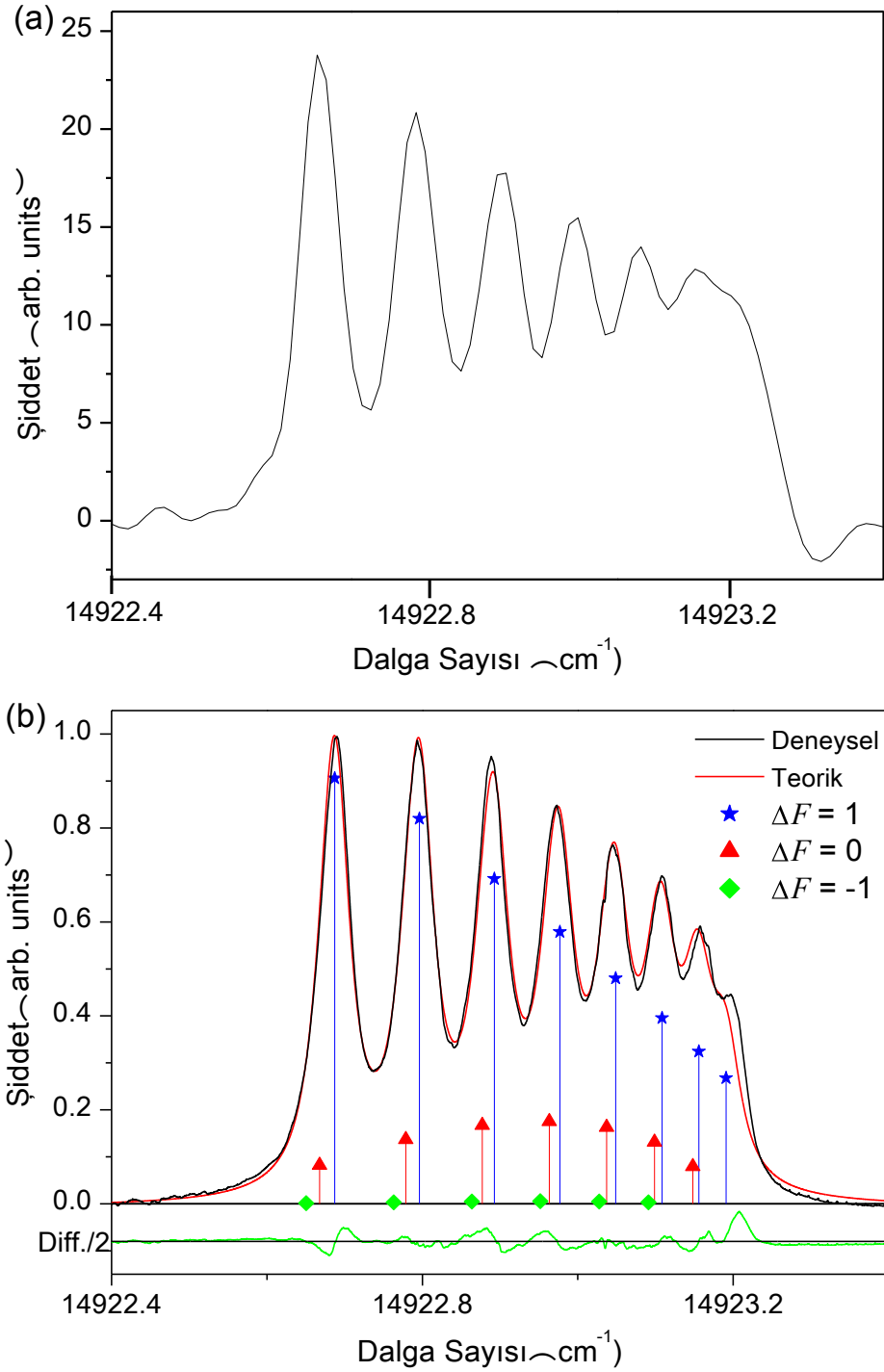
Şekil 4.38: 669.924 nm dalgaboylu spektral çizgisinin simüle edilmiş hali.

Klasifikasyon [70] programının çalışabilmesi için gerekli giriş datalarından (Bkz. 3.8.1) La I elementine ait literatürde bilinen alt enerji seviyelerine bakarak, manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti A yaklaşık 430 MHz olan bir seviye arandı. $A = 425(1) \text{ MHz}$ olan

$24841.410 \text{ cm}^{-1}$, tek pariteli, $J = 11/2$ enerji seviyesi bulundu. Dolayısıyla seçilen seviye, uyarılan $\lambda = 669.924 \text{ nm}$ dalgaboylu spektral çizginin alt enerji seviyesi olarak belirlendi. Bu durumda, incelenen 669.924 nm spektral çizgisinde bilinmeyen seviyenin üst enerji seviyesi olduğu anlaşıldı. Geçişin dalga sayısı ($14922.946 \text{ cm}^{-1}$) alt enerji seviyesine ($24841.410 \text{ cm}^{-1}$) eklendiğinde La I elementine ait yeni üst enerji seviyesi elde edildi. 669.924 nm spektral geçişinden bulunan yeni üst enerji seviyesi $39764.356 \text{ cm}^{-1}$ olarak bulundu. Uyarılan spektral geçişin alt enerji seviyesi olarak belirlenen $24841.410 \text{ cm}^{-1}$ tek pariteli olduğuna göre, bulunan $39764.356 \text{ cm}^{-1}$ üst enerji seviyesinin paritesi çift olmalıdır (Bkz. 3.1.5).

669.924 nm dalgaboylu spektral çizgi için 5 ölçüm alındı. Alınan aşırı ince yapı örnekleri Fitter [8] programı ile fit işlemi sonucunda $39764.356 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi için manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti $A = 146 (3) \text{ MHz}$ olarak belirlendi. Şekil 4.39b'de, LIF yöntemi ile ölçülmüş 669.924 nm dalgaboylu geçişin en iyi fit edilmiş şekli verildi.

$39764.356 \text{ cm}^{-1}$ enerji seviyesi için elde edilen aşırı ince yapı sabiti kullanılarak simüle edilen spektral çizgi ile FT spektrumundaki aşırı ince yapı örneğinin karşılaştırılmasıyla, incelenen 669.924 nm dalgaboyunun kesin olarak 669.9238 nm olduğu belirlendi. Bulunan enerji seviyesine olan tüm geçişlerin dalgaboylarını hesaba katarak, enerji $39764.360 (10) \text{ cm}^{-1}$ olarak düzeltildi.



Şekil 4.39: Yeni $39764.360 \text{ cm}^{-1}$ La I ince yapı enerji seviyesinin bulunması. $\lambda = 669.9238 \text{ nm}$ $\bar{\nu} = 14922.950 \text{ cm}^{-1}$ ($24841.410 \text{ cm}^{-1}$, $J = 11/2 \rightarrow 39764.360 \text{ cm}^{-1}$, $J = 13/2$) spektral çizgisinin (a) FT spektrumundaki görünüşü. (b) LIF spektroskopisi ile kaydedilen kısmen ayrılmış çizgi örneğinin FITTER [8] programı kullanılarak elde edilen en iyi fit edilmiş şekli.

Bu çalışmada bulunan çift pariteli 18 yeni La I ince yapı enerji seviyeleri ve bu enerji seviyelerine ait belirlenen J değerleri, bu enerji seviyeleri için bulunan A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri Tablo 4.6'da verildi.

Tablo 4.6'da ilk kolonda bulunan enerji seviyelerinin toplam açısal momentum J değerleri verildi. 2. kolonda bulunan enerji seviyeleri pazantez içinde hatalarıyla (standart sapmalarıyla) birlikte cm^{-1} cinsinden verildi. 3. kolonda bulunan enerji seviyeleri için belirlenen A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri standart sapmalarıyla birlikte verildi. $\lambda_{\text{hava,Laser}}$ bulunan enerji seviyelerini içeren Tablo 4.2'deki spektral çizgilerin dalgalıboylarını, $\lambda_{\text{hava,FT}}$ ise bulunan enerji seviyelerini içeren Tablo 4.4'teki spektral çizgilerin dalgalıboylarını göstermektedir. Enerjiler cm^{-1} cinsinden, dalgalıboyları ($\lambda_{\text{hava,Laser}}$, $\lambda_{\text{hava,FT}}$) nm cinsinden, A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri MHz cinsinden verilmiştir.

Tablo 4.6: Bu çalışmada bulunan çift pariteli La I ince yapı enerji seviyeleri parantez içinde hatalarıyla birlikte verilmiştir. $\lambda_{\text{hava,Laser}}$: Bulunan enerji seviyelerini içeren Tablo 4.3'teki spektral çizgilerin dalgaboylarıdır. $\lambda_{\text{hava,FT}}$: Bulunan enerji seviyelerini içeren Tablo 4.5'teki spektral çizgilerin dalgaboylarıdır. Enerjiler cm^{-1} cinsinden, dalgaboyları ($\lambda_{\text{hava,Laser}}$, $\lambda_{\text{hava,FT}}$) nm cinsinden, A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri MHz cinsinden verilmiştir.

J	E	A	$\lambda_{\text{hava,Laser}}$	$\lambda_{\text{hava,FT}}$
3/2	32749.715 (10)	-522.3 (2.8)	569.5487, 629.0365	522.9030, 569.5486**, 685.8054, 848.8403, 1165.7422, 1251.6744, 1275.2696
	37186.805 (10)	390.2 (1.9)	582.3234, 444.7567, 432.945	417.8299, 446.6475, 454.6250, 455.1028, 519.6146
5/2	36543.480 (10)	266.8 (2.9)	582.4504, 662.2605	536.5238, 839.8078, 872.3521, 1092.5475, 1419.8054
	38206.750 (10)	315 (15)	434.4731, 431.3760	492.5563
	38903.885 (10)	181 (3)	441.8915, 689.7407, 640.823	414.8239, 418.7784, 453.4473, 481.8642, 482.2219, 572.7091, 714.4191
	39242.660 (10)	196 (3)	435.3724, 650.535	412.7114, 440.3219, 466.1707, 735.1094
	39276.99 (2)	107 (3)	641.9935, 656.379	412.1275
	39792.88 (2)	119 (3)	634.875, 654.055	406.4546, 435.8714
	40472.456 (10)	296.5 (2.3)	582.277, 443.0931	417.6969, 443.0929, 448.3027, 496.5288
	40852.85 (3)	154 (5)	436.450, 657.287, 646.127	515.1877, 520.9509

Tablo 4.6'nin devamı

J	E	A	$\lambda_{\text{hava,Laser}}$	$\lambda_{\text{hava,FT}}$
7/2	38185.340 (10)	200 (3)	434.8774, 431.549	573.8233, 698.5997, 709.1849
	39707.46 (5)	361 (3)	638.338, 657.731	
	40106.64 (2)	514.2 (9)	600.8029, 636.8900	401.3350, 406.3395, 451.1471, 464.9273
	41532.41 (5)	360 (2)	578.4289, 657.995	
9/2	36298.200 (10)	158.7 (4)	582.2874, 670.3164	498.4889**, 617.8443, 713.4554, 1151.9377
11/2	39079.070 (10)	172 (3)	674.1194, 640.3460	714.6121**
	41148.51 (2)*	114.02 (5)	622.5242	591.5690, 709.3484, 738.9502
13/2	39764.360 (10)	146 (3)	669.9238	714.5678, 719.7517**

*- Furmann ve diğeri [37] tarafından $E = 41148.32 \text{ cm}^{-1}$, $J = 11/2$, $A = 107.1 (2.0) \text{ MHz}$ olarak bulunan ince yapı enerji seviyesi.

** - Floresans çizgisi olarak da gözlemlenen çizgi.

4.2. VANADYUM I ELEMENTİNİN AŞIRI İNCE YAPI ANALİZİ

V I'in aşırı ince yapısı geniş bir şekilde incelenmiş olmasına rağmen, yapılan referans incelemeleri sonucunda alt enerji seviyelerini içeren $3d^34s4p z^6G$ multipletine ait enerji seviyelerinin aşırı ince yapılarının belirlenmediği saptandı. Bu nedenle atomik Vanadyum elementinin $3d^34s4p z^6G$ multipletine ait enerji seviyelerinin aşırı ince yapılarının belirlemek amacı ile yüksek çözünürlüklü Fourier Transform Spektroskopik yöntemi kullanıldı.

Vanadyum elementinin spektrumu $10\ 000 - 30\ 000\ cm^{-1}$ dalga sayısı aralığında bir Bruker IFS 125HR Fourier transform spektrometresi ile Litvanya Üniversitesi, Laser merkezinde kaydedildi.

Vanadyum $I = 7/2$ olan yüksek bir nükleer spin değerine sahip olduğundan, atomik spektrumunda çok sayıda aşırı ince yapı bileşeni gözlenir. Elde edilen spektrumda Vanadyum elementinin doğada seyrek bulunan ^{50}V izotopuna ait spektral çizgiler gözlenmemektedir.

^{51}V yaygın izotopu Fourier transform spektroskopik yöntemiyle Vanadyum buharı silindir katot lambası içerisinde oluşturulmuştur. Katot lambası sıvı azot ile soğutuldu. Silindir katot, iç materyali vanadyum foilden (99.7%) ve dış materyali de silindir bakırdan oluşan bir yapıdır ve birbirine simetrik iki alüminyum anot arasına yerleştirildi. Katot ve anotlar arası uzaklık $1.5\ mm$ civarında tutuldu. Silindir katot boşalmasını üretmek için, $1.5\ mbar$ civarında argon gazı kullanıldı. Kısa devreye yol açacak yüksek bir risk oluşmaması için elde edilebilen maksimum şiddete karşılık gelen en uygun akımın $25 - 50\ mA$ arasında deneylerle belirlendi.

Spektrometrenin girişi $1\ mm$ olup ve çözünürlük $0.025\ cm^{-1}$ değerine sabitlenmiştir. Her bir spektrum 20 taramadan elde edilmiştir. Kuartz bir ışın bölücü ve bir Hamamatsu R928 foton katlayıcı, spektrumu dedekte etmek için kullanıldı. Elde edilen spektrumda Ar çizgileri görülmektedir. Bu çizgiler NIST [12] atomik dalgaboyu tablosundan

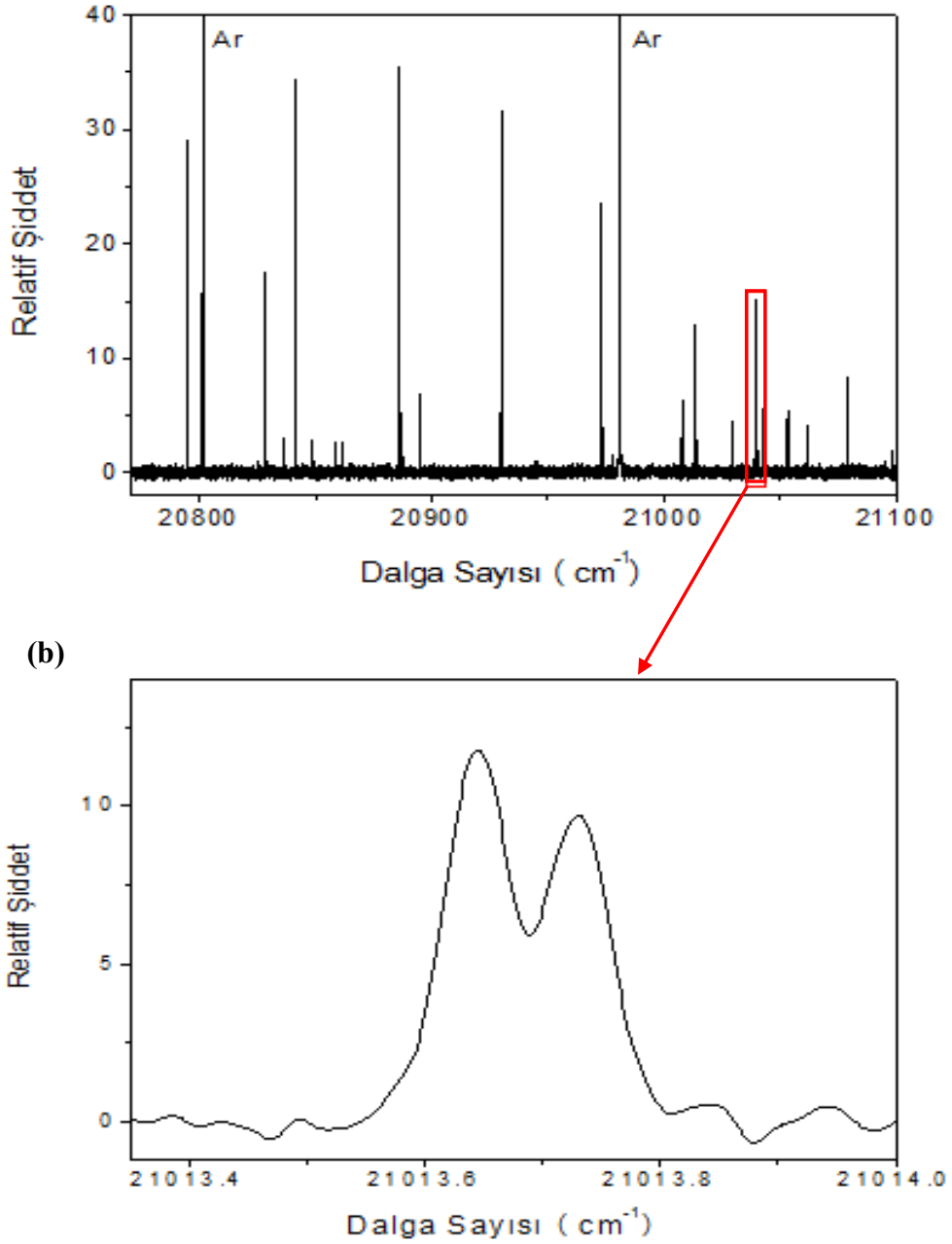
yararlanılarak, kalibre edildi. Çizgilerin konumu, giriş dalgaboyu bölgesi için 0.003 cm^{-1} değerinden daha iyi bir şekilde elde edilebildi.

Elde edilen tüm spektrumdan, $z^6 G^{\circ}$ terimine sahip enerji seviyelerini içeren spektral çizgiler çok düşük şiddete ve gürültüye sahip olduğu görülmektedir. Bu yüzden, $20700 - 21300 \text{ cm}^{-1}$ ve $26700 - 27400 \text{ cm}^{-1}$ dalgasayısı aralıkları için iki farklı bant filtresi kullanıldı.

Literatürden yapılan araştırma sonucu, $366 \text{ nm} - 370 \text{ nm}$ ve $474 \text{ nm} - 481 \text{ nm}$ aralıklarındaki spektral çizgilerin alt ince yapı enerji seviyelerinin çalışmanın amacı olarak belirlenen $3d^3 4s 4p$ konfigürasyonuna ait $z^6 G^{\circ}$ terimli düşük elektronik enerji seviyeleri olduğu belirlendi. Elde edilen FT spektrumunda bu spektral aralıklardaki sinyal/gürültü oranının çok düşük olduğu görüldü. Bu sebeple, deney düzeneğinde, FT Spektrometresi ile silindir katot arasındaki ışın yoluna optik girişim filtreleri yerleştirildi. Bu filtreler spektrumdaki gürültü şiddetine bağlı oluşan arka planı azaltır. Bu filtreleri kullanarak, spektrumun bir kısmının sinyal/gürültü oranı önemli ölçüde iyileştirildi.

Deneyler sırasında kullanılan filtreler, $476 \pm 7 \text{ nm}$ ve $370 \pm 5 \text{ nm}$ dalgaboylarındadır. Bu filtreler kullanılarak $20700 - 21300 \text{ cm}^{-1}$ ve $26700 - 27400 \text{ cm}^{-1}$ dalga sayısı aralıklarında spektrumlar alındı.

Şekil 4.40a, 476 nm filtresi kullanılarak elde edilen spektrumun bir kısmını göstermektedir. Şekil 4.40b'de, $V I^e$ ait $\lambda = 475.74736 \text{ nm}$ dalgaboyundaki spektral çizgisinin aşırı ince yapısı verildi.

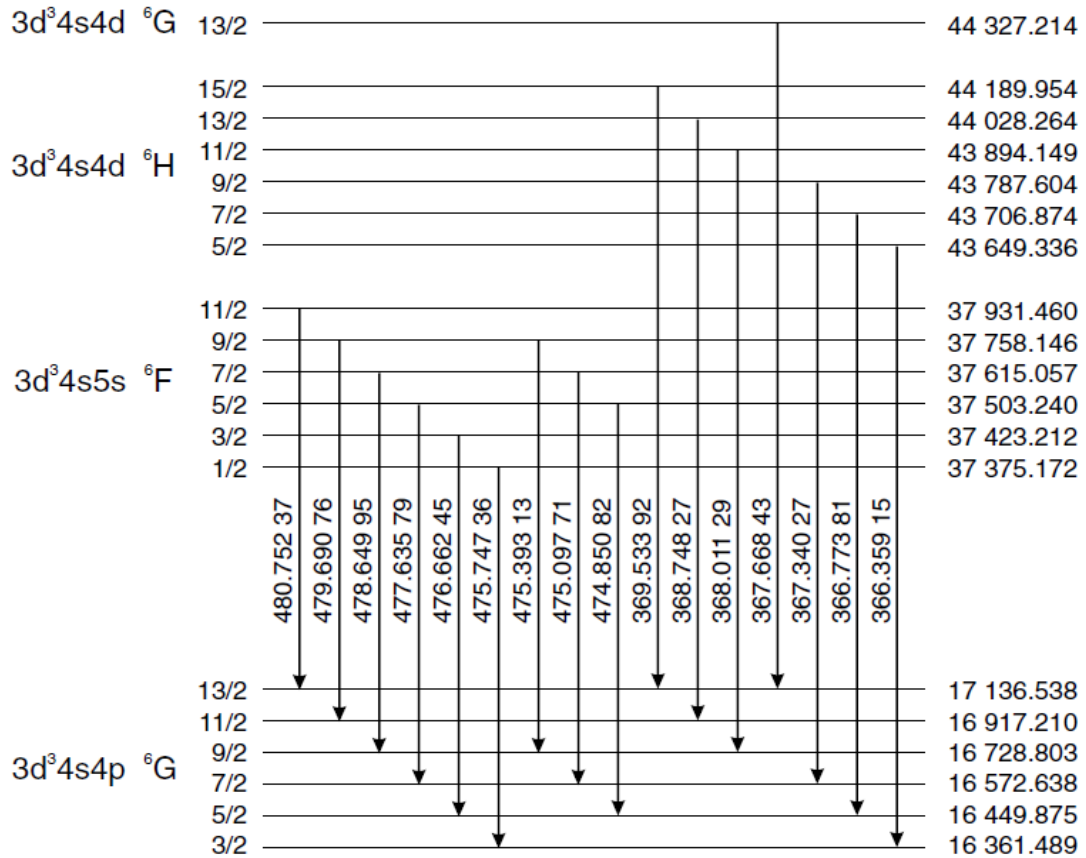


Şekil 4.40: V I'in Fourier transform spektrumu : (a) $476 \pm 7 \text{ nm}$ filtre kullanılarak ölçülmüş spektrumun bir kısmı, (b) $21\,013.683 \text{ cm}^{-1}$ spektral çizgisi, ($37\,375.18 \text{ cm}^{-1}$, $J = 1/2 \rightarrow 16\,361.5 \text{ cm}^{-1}$, $J = 3/2$).

Tüm spektrum 5 kez kaydedilmiştir. İncelenen her çizginin aşırı ince yapı analizini yapmak için, tüm spektrumdan uygun olan spektral aralıktaki parçalar kesildi. Kesilen her çizginin genişliği, her çizginin aşırı ince yapı örneklerinin genişliklerine bağlı olarak 20 – 30 GHz arasında alındı.

Vanadyumun çekirdek spininin 7/2 olması sebebiyle spektrumları çok sayıda aşırı ince yapı bileşeni içermekle birlikte, FT Spektroskopisi ile kaydedilen spektrumlardaki Vanadyum çizgilerinin hemen hemen hiç ayrışmadıkları gözlemlendi. İncelenen spektral çizgiler bir ya da iki maksimuma sahiptir.

Toplamda, 16 V I spektral geçişi incelendi. Bu geçişlerin dalga boyları ve sahip oldukları enerji seviyeleri şeması Şekil 4.41’de verilmiştir.



Şekil 4.41: İncelenen toplam 16 V I spektral geçişinin enerji seviyeleri şeması. Enerjiler cm^{-1} ve dalga boyları nm birimindedir.

V I elementine ait 474 – 481 nm dalgaboyu aralığındaki spektral bölgede 476 ± 7 nm filtre kullanılarak incelenen 9 spektral çizgi Tablo 4.7’de verilmiştir. Tablo 4.8’de ise, V I elementine ait 366 nm – 370 nm dalgaboyu aralığındaki spektral bölgede 370 ± 5 nm filtre kullanılarak incelenen 7 spektral çizgi gösterilmiştir.

Tablo 4.7 ve Tablo 4.8’de incelenen tüm spektral çizgilerin ağırlık merkezi dalgaboyları, dalga sayıları, şiddetleri, geçişlerin sınıflandırılması ve geçişlere ait alt ve üst enerji seviyeleri Thorne ve diğerlerinden [57] alınmıştır. Her spektral çizgiye ait 5 ölçümün Fitter [8] programında fit edilmesinden elde edilen ağırlık merkezlerinin ortalama dalga sayısı $\tilde{\nu}_{fit}$ olarak verilmiştir. $\Delta\tilde{\nu}$ farkı ise, $\Delta\tilde{\nu} = E_{üst} - E_{alt} - \tilde{\nu}_{fit}$ formülü ile hesaplanan değerlerdir. Bu farklar Tablo 4.7, Tablo 4.8’in son kolonlarında yer almaktadır.

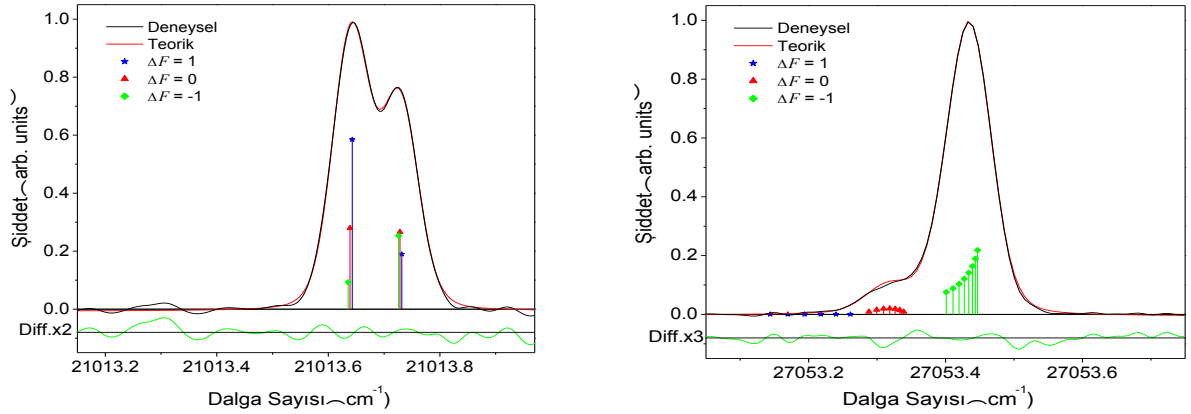
Tablo 4.7: V I elementine ait 474 – 481 nm dalgaboyu aralığındaki spektral bölgede 476 nm filtre kullanılarak incelenen spektral çizgiler. Dalgaboyları nm, dalga sayıları ve enerjiler cm^{-1} cinsinden verilmiştir.

λ_{hava}	$\tilde{\nu}$	SNR	Çift Pariteli Seviye 3d ³ 4s4p ⁶ G		Tek Pariteli Seviye 3d ³ 4s5s ⁶ F		$\tilde{\nu}_{fit}$	$\Delta\tilde{\nu}$
			E_{alt}	J	$E_{üst}$	J		
480.75237	20794.918	5.32	17136.538	13/2	37931.460	11/2	20794.915	0.007
479.69076	20840.938	5.22	16917.210	11/2	37758.146	9/2	20840.937	-0.001
478.64995	20886.255	5.12	16728.803	9/2	37615.057	7/2	20886.252	0.002
477.63579	20930.602	4.99	16572.638	7/2	37503.240	5/2	20930.605	-0.003
476.66245	20973.342	4.86	16449.875	5/2	37423.212	3/2	20973.329	0.008
475.74736	21013.683	4.68	16361.489	3/2	37375.172	1/2	21013.681	0.002
475.39313	21029.341	4.54	16728.803	9/2	37758.146	9/2	21029.340	-0.003
475.09771	21042.417	4.59	16572.638	7/2	37615.057	7/2	21042.412	0.007
474.85082	21053.357	4.55	16449.875	5/2	37503.240	5/2	21053.353	0.012

Tablo 4.8: V I elementine ait 366 nm – 370 nm dalgaboyu aralığındaki spektral bölgede 370 nm filtre kullanılarak incelenen spektral çizgiler. Dalgaboyları nm, dalga sayıları ve enerjiler cm^{-1} cinsinden verilmiştir.

λ_{hava}	$\tilde{\nu}$	SNR	Çift Pariteli Seviye 3d ³ 4s4p		Tek Pariteli Seviye 3d ³ 4s4d		$\tilde{\nu}_{\text{fit}}$	$\Delta\tilde{\nu}$
			E_{alt}	J	$E_{\text{üst}}$	J		
369.53392	27053.416	5.14	17136.538	13/2	44189.954	15/2	27053.415	0.001
368.74827	27111.054	5.08	16917.210	11/2	44028.264	13/2	27111.052	0.002
368.01129	27165.345	5.01	16728.803	9/2	43894.149	11/2	27165.354	-0.008
367.66843	27190.676	4.60	17136.538	13/2	44327.214	13/2	27190.678	0.009
367.34027	27214.966	4.92	16572.638	7/2	43787.604	9/2	27214.951	0.015
366.77381	27256.997	4.83	16449.875	5/2	43706.874	7/2	27256.988	0.011
366.35915	27287.847	4.72	16361.489	3/2	43649.336	5/2	27287.835	0.012

İncelenen spektral çizgilere bir örnek olarak, $\lambda = 475.74736 \text{ nm}$ ve $\lambda = 369.53392 \text{ nm}$ deki çizgileri fit edilmiş olarak Şekil 4.42’de verildi.



Şekil 4.42: Tamamen ayrılmış çizgi örnekleri: (a) ($\lambda = 475.74736 \text{ nm}$) $21013.683 \text{ cm}^{-1}$ dalga sayılı spektral geçişin en iyi fit edilmiş hali. $16361.489 \text{ cm}^{-1}, J = 3/2 \rightarrow 37375.172 \text{ cm}^{-1}, J = 1/2$ (b) ($\lambda = 369.53392 \text{ nm}$) $27053.416 \text{ cm}^{-1}$ dalga sayılı spektral geçişin en iyi fit edilmiş hali. $17136.538 \text{ cm}^{-1}, J = 5/2 \rightarrow 44189.954 \text{ cm}^{-1}, J = 3/2$

İncelenen seviyelerin aşırı ince yapı sabitlerini belirlemek için, elde edilen aşırı ince yapı örnekleri Fitter [8] programı yardımıyla, Voigt profili kullanılarak fit edilmiştir. Fit işlemi sırasında elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti B “0” alındı. Ayrıca aşırı ince yapı bileşenlerinin şiddetleri, en şiddetli bileşenle kuplaj yapıldı.

Bu çalışmada, V I'in aşırı ince yapı analizi iki adımda incelendi. İlk adımda, $3d^34s4p \ ^6G$ multipletleri ve $3d^34s5s \ ^6F$ multipletleri arasındaki geçişler analiz edildi. Bu geçişlerdeki, $3d^34s5s \ ^6F$ multipletlerinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri Fourier Transform Spektroskopi yöntemiyle referans [49]'de cm^{-1} cinsinden elde edilmiştir. Tablo 4.9'da bu değerler cm^{-1} 'den MHz 'e dönüştürülmüş olarak verilmiştir.

Tablo 4.9: Fit işlemi sırasında sabit tutulan $3d^34s5s \ ^6F$ çift pariteli enerji seviyelerinin referans [49]'de Fourier Transform Spektroskopi yöntemiyle elde edilen A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri.

E	J	A
37375.172	1/2	-696.7 (1.5)
37423.212	3/2	383.7 (9)
37503.240	5/2	540.8 (6)
37615.057	7/2	591.2 (1.2)
37758.146	9/2	613.7 (9)
37931.460	11/2	629.3 (6)

Vanadyumla yapılan deneysel çalışmanın birinci kısmında aşırı ince yapı sabitlerini bulduğumuz $3d^34s4p \ ^6G$ multipletini içeren spektral çizgiler araştırıldı ve bunların 366 nm ile 370 nm dalgaboyu aralığında olduğu belirlendi ve bu spektral bölge ölçüldü. Bu bölgede $3d^34s4d \ ^6H$ ve $3d^34s4d \ ^6G$ multipletlerinden, $3d^34s4p \ ^6G$ multipletlerine olan 7 spektral geçiş analiz edildi. $3d^34s4p \ ^6G$ alt enerji seviyelerini için ilk adımda elde edilen A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri fit işlemi sırasında sabit tutuldu ve $3d^34s4d \ ^6H$ ve $3d^34s4d \ ^6G$ multipletlerinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri belirlendi. $3d^34s4p \ ^6G$ multipleti için elde edilen aşırı ince yapı sabitleri Tablo 4.10'da verildi. $3d^34s4d \ ^6H$ ve $3d^34s4d \ ^6G$ multipletleri için elde edilen aşırı ince yapı sabitleri Tablo 4.11'de verildi.

Tablo 4.10 ve Tablo 4.11'de, $A_{den.}$ değerlerinin elde edildiği spektral çizgiler 3. kolonda λ_{hava} olarak verildi. Her spektral çizgi 5 kez ölçülmüştür ve $A_{den.}$ bu 5 ölçümün istatistik ortalama değeridir. Elde edilen her $A_{den.}$ değerlerinin belirsizlikleri için, geçişlerdeki seviyelerin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitlerinin belirsizliklerinden hesaplanan

standart sapma değerleri verilmiştir. Standart sapma değerleri, fit sırasında B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitinin ihmal edilmesinden kaynaklanan sistematik hataları içermez. Tablo 4.6'da incelenen bazı spektral çizginin alt enerji seviyeleri aynıdır. Bu durumda, bu alt enerji seviyesinin $A_{den.}$ aşırı ince yapı etkileşim sabitini belirlemek için, her bir spektral çizgiden elde edilen değerlerin ağırlıklı ortalama değeri hesaplandı. $A_{ort.}$ değerinin belirsizliği, ağırlıklı ortalama değerinden oluşan standart sapma değeri olarak verildi.

Tablo 4.10: V I' in $3d^34s4p$ 6G multipletinin enerji seviyeleri için hesaplanan $A_{den.}$ manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri. Enerjiler cm^{-1} , dalgaboyları nm , $A_{den.}$ ve $A_{ort.}$ manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri MHz cinsinden verilmiştir.

E	Terim	λ_{hava}	$A_{den.}$	$A_{ort.}$
16361.489	3/2	475.74736	-27 (2)	
16449.875	5/2	476.66245	285 (3)	289 (6)
		474.58082	299 (5)	
16572.638	7/2	477.63579	395 (11)	390 (4)
		475.09771	387 (7)	
16728.803	9/2	478.64995	430.6 (2)	432 (2)
		475.39313	434 (3)	
16917.210	11/2	479.69076	455 (2)	
17136.538	13/2	480.75237	466 (2)	

Tablo 4.11: V I' in $3d^34s4d$ konfigürasyonuna ait enerji seviyeleri için hesaplanan $A_{den.}$ manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri. Enerjiler cm^{-1} , dalgaboyları nm , $A_{den.}$ manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri MHz cinsinden verilmiştir.

E	Terim	λ_{hava}	$A_{den.}$
43649.336	${}^6H_{5/2}$	366.35915	200 (5)
43706.874	${}^6H_{7/2}$	366.77381	42 (9)
43787.604	${}^6H_{9/2}$	367.34027	685 (6)
43894.149	${}^6H_{11/2}$	368.01129	298 (6)
44028.269	${}^6H_{13/2}$	368.74827	366 (5)
44189.954	${}^6H_{15/2}$	369.53392	433 (11)
44327.214	${}^6G_{13/2}$	367.66843	503 (9)

İncelenen çizgiler için, Doppler genişliği çizgilerin aşırı ince yapı bileşenleri arasındaki aralıktan daha geniştir, bu yüzden spektrumdaki aşırı ince yapı örnekleri ayrılmamış çizgilerdir. Bu çalışmada incelenen tüm çizgilerin fit edilmiş spektrumları Ek – 3’te verilmiştir. Bu grafiklerde siyah spektrum deneysel, kırmızı spektrum fit sonucu oluşan teorik, yeşil spektrum ise deneysel ve teorik arasındaki farkı gösteren spektrumlardır. Her bir spektral çizginin aşırı ince yapı geçişlerinde $\Delta F = 0, \pm 1$ kuralı geçerlidir. Grafiklerde bu kurala göre, $\Delta F = 0$ geçişleri kırmızı, $\Delta F = +1$ geçişleri mavi, $\Delta F = -1$ geçişleri yeşil renkle gösterildi.

$3d^3(^4F)4s4p(^3P^o)$ konfigürasyonunda z^6G^o terimlerine sahip altı seviyenin, $3d^34s(^5F)4d$ konfigürasyonunda e^6H terimlerine sahip altı seviyenin ve $^6G_{13/2}$ terimine sahip bir seviyenin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri ilk defa bu çalışmada belirlendi.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1. LANTAN I

Bu çalışmada Lantan elementinin spektral çizgilerinin aşırı ince yapısı iki farklı deneysel yöntemle incelendi.

Fourier Transform Spektroskopisi yöntemi ile Lantan elementine ait yakın kırmızı altı spektral bölge spektrumu elde edilerek, **ilk kez** sistematik olarak analiz edildi. $833\text{ nm} - 1665\text{ nm}$ ($6000\text{ cm}^{-1} - 12000\text{ cm}^{-1}$) aralığındaki bölgede Lantan-Argon plazmasına ait toplam 2387 spektral çizgi gözlemlendi.

FT Spektrumunda gözlenen tüm çizgiler incelendi. Lantan (nötr ve iyonize) elementine ait 545 spektral çizgi olduğu belirlendi. Klasifikasyon [70] programı kullanılarak, bu çizgiler sınıflandırıldı. Sınıflandırılan çizgiler arasında,

- 535 'i La I geçişi ve
- 10 'i La II geçişi olarak tanımlandı.
- Toplam 440 spektral çizgi **ilk kez** sınıflandırıldı.

Diğer spektral geçişler literatür atomik dalgaboyu tablolarında [11,12,13,14] yer almaktadır.

827 spektral çizginin nötr ve iyonize Argon elementine ait olduğu belirlendi. Argon elementine ait bu çizgilerden 239 'u **ilk kez** belirlendi ve 260 tane Argon spektral çizgisi **ilk kez** tanımlandı.

781 tane düşük şiddetli spektral çizgi “La ya da Ar” geçişi olarak belirlendi fakat bu geçişlere ait sınıflandırmalar, Klasifikasyon [70] programı yardımıyla şu ana kadar bilinen La ve Ar enerji seviyeleri kullanılarak yapılamadı.

Bu çalışmada, analiz sırasında yakın kırmızı altı spektral bölgede incelenen tüm spektral çizgilerin yaklaşık 2500 MHz (900 nm’de) ve 1700 MHz (1600 nm’de) yarı genişliğe sahip olduğu gözlemlendi. Bu yarı genişlik Doppler genişlemesinden ve FT spektrometresinin genişliğinden kaynaklanmaktadır.

LIF Spektroskopisi yöntemi ile Lantan elementinin aşırı ince yapısını analiz ederek, zayıf şiddetli spektral çizgilerin sınıflandırılmasını ve yeni ince yapı enerji seviyelerinin araştırıldı.

Lantan elementinin yeni spektral çizgileri incelemek için, FT spektrumunda gözlenen şimdiye kadar sınıflandırılmamış çizgiler seçildi. Bu çizgiler FT spektrumunda (sinyal/gürültü oranı 20’den küçük olan) düşük şiddetli çizgiler olduğu görüldü. Bu spektral çizgilerin ağırlık merkezleri FT spektrumundan elde edildi ve LIF yöntemi ile ölçüldü. LIF Spektroskopisi yönteminde Doppler genişlemesi FT Spektroskopisindeki genişlemeden daha az olduğundan, FT spektrumunda düşük şiddetli gözlenen tüm spektral çizgiler, daha iyi ayrılmış olarak gözlemlendi.

430 nm – 742 nm aralığındaki spektral bölgede LIF ve OGS ile 96 tane spektral çizgi incelendi. Bu çizgilerden 94 tanesi atomik dalga boyu tablolarında [11,12,13,14] ve şu ana kadar Lantan elementine ait yayınlarda yer almamaktadır. 94 spektral çizgi **ilk kez** Klasifikasyon [70] programı kullanılarak sınıflandırıldı.

Spektral çizgilerin aşırı ince yapılarının incelenmesi sonucunda, 18 tane çift pariteli La I ince yapı enerji seviyesi **ilk kez** bulundu.

LIF yöntemi ile yapılan deneylerde laserle uyarılan seviyeden meydana gelen floresans çizgilerinin incelenmesi ile 31 tane floresans çizgisi Fourier Transform spektrumundaki ağırlık merkezi dalga boylarından ve aşırı ince yapı şekillerinden yararlanılarak **ilk kez** sınıflandırıldı.

Yeni bulunan 18 çift paiteli ince yapı enerji seviyelerinin doğruluğunu kanıtlamak için, 51 tane La I spektral geçişi, Fourier Transform spektrumundaki ağırlık merkezi dalgaboylarından ve aşırı ince yapı şekillerinden yararlanılarak **ilk kez** sınıflandırıldı.

Bu çalışmada bulunan enerji seviyelerinin doğruluğunu kanıtlamak için, ikinci kez uyarma dediğimiz işlem yapıldı. İlk uyarma sonucunda oluşan floresans çizgilerinden biri seçilerek laserle bu çizgi üstüne gidilerek LIF spektrumu alındı ve Klasifikasyon [70] programı yardımıyla sınıflandırıldı.

Bu çalışmada, toplam 176 tane spektral geçiş sınıflandırıldı. Bu geçişlerin alt ve üst enerji seviyeleri ve J değerleri saptandı. 73 tane üst enerji seviyesinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti belirlendi ve literatürde bilinen değerlerle karşılaştırılarak, daha az hata payıyla elde edildi. 23 tane A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti **ilk kez** bu çalışmada belirlendi.

5.2. VANADYUM I

Bu çalışmada Nötr Vanadyum elementinin aşırı ince yapısının deneysel analizi, yüksek çözünürlüklü Fourier Transform Spektroskopik metodu ile yapıldı. Vanadyum elementine ait spektrumda aşırı ince yapı ayrışması gösteren 16 geçişe ait üst veya alt enerji seviyelerinin manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri A değerleri ilk defa bu çalışmada belirlendi.

Vanadyum elementinin spektrumu $10\ 000 - 30\ 000\ cm^{-1}$ dalga sayısı aralığında bir Bruker IFS 125HR Fourier transform spektrometresi ile Letonya Üniversitesi, Laser merkezinde kaydedildi.

Deneyler sırasında kullanılan filtreler, $476 \pm 7\ nm$ ve $370 \pm 5\ nm$ dalgaboylarındadır. Bu filtreler sırasıyla $20700 - 21300\ cm^{-1}$ ve $26700 - 27400\ cm^{-1}$ dalga sayısı aralıklarına karşılık gelir.

İncelenen seviyelerin aşırı ince yapı sabitlerini belirlemek için, elde edilen aşırı ince yapı örnekleri Fitter [8] programı yardımıyla, Voigt profili kullanılarak fit edilmiştir.

Bu çalışmada, $V I'$ 'in aşırı ince yapı analizi iki adımda incelendi. İlk adımda, $3d^34s4p \ ^6G$ multipletleri ve $3d^34s5s \ ^6F$ multipletleri arasındaki geçişler analiz edildi. Bu geçişlerdeki, $3d^34s5s \ ^6F$ multipletlerinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri Fourier Transform Spektroskopi yöntemiyle referans [49]'da cm^{-1} cinsinden elde edilmiştir. Tablo 4.10'da bu değerler cm^{-1} 'den MHz 'e dönüştürülmüş olarak verilmiştir. Fit işlemi sırasında, $3d^34s5s \ ^6F$ multipletlerinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri sabit tutuldu.

İncelenen geçişlerin alt enerji seviyeleri olan $3d^34s4p \ ^6G$ multipletlerinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri **ilk kez** belirlenmiştir.

İncelenen çizgiler için, Doppler genişliği çizgilerin aşırı ince yapı bileşenleri arasındaki aralıktan daha geniştir, bu yüzden spektrumdaki aşırı ince yapı örnekleri ayrışmamış çizgilerdir.

KAYNAKLAR

1. HAKEN, H. ve WOLF, H. C., 2000, *The Physics of Atoms and Quanta, Introduction to Experiments and Theory*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, NewYork, 3-540-67274-5.
2. KOPFERMANN, H. ve SCHNEIDER, E. E., 1958, *Nuclear Moments*, Academic Pres Inc., Londra, Katalog kart numarası 56-6607.
3. SVANBERG, S., 1991, *Atomic and Molecular Spectroscopy, Basic Aspects and Practical Applications*, Springer Verlag, Berlin, 0-387-52594-7.
4. KURUCZ, R.L., 1993, Atomic data for interpreting stellar spectra: isotopic and hyperfine data, *Phys. Scr.*, 47, 110-117.
5. WHALİNG, W., HANNAFORD, P., LOWE, R.M., BİEMONT, E., GREVESSE, N., 1985, Absolute transition probabilities in vanadium I and the solar abundance of vanadium, *Astron. Astrophys.*, 153, 109.
6. AYGÜN, E., ZENGİN, D.M., 1988, *Atom ve Molekül Fiziği*, Bilim Yayınları, Ankara, 975-95625-0-2.
7. BRANSDEN, B.H., JOACHAIN C.J. 1999, *Atom ve Molekül Fiziği*, Bilim Yayıncılık, Ankara, 975-7636-03-7.
8. GUTHÖHRLEİN, G., 2004, *Fitter*, University of Bundeswehr Hamburg, unpublished.
9. RAGHAVAN, P., 1989, *At. Data Nucl. Data Tables*, 42, 189.
10. MEGGERS, W. F., BURNS, K., 1927, Hyperfine Structures of Lanthanum Lines, *J. Opt. Soc. Am.*, 14, 449-453.
11. MEGGERS, W.F., CORLISS, C.H, SCRİBNER, B.F., 1975, *Tables of Spectral-Line Intensities, Part I Arranged by Elements*, Natl. Bur. Stand. Monograph, 145.
12. NIST Atomic Spectra Database Version 2.0:
<http://www.nist.gov/pml/data/asd.cfm> [Ziyaret Tarihi: 7 Temmuz 2009]
13. HARRİSON, G.R., 1969, *Massachusetts Institute of Technology Wavelength Tables*, Cambridge, MA, MIT Press.

14. SAIDEL, A. N., PROKOFIEV, V. K., REIKI, S. M., 1955, *Tables of Spectral Lines*, Verlag Technik, Berlin.
15. TING, Y., 1957, Hyperfine Structure and Quadrupole Moment of Lanthanum-139, *Phys. Rev.*, 108, 295.
16. WILSON, M., 1971, LS-Term Dependence of Hyperfine-Interaction Parameters in d^2s Configurations, *Phys. Rev. A*, Vol. 3, No. 1, 45-50.
17. CHILDS, W. J., GOODMAN, L.S., 1971, Hyperfine and Zeeman Studies of Low-Lying Atomic Levels of ^{139}La and the Nuclear Electric Quadrupole-Moment, *Phys. Rev. A*, Vol. 3, No. 1, 25-45.
18. FISCHER, W., HÜHNERMANN, H., MANDREK, K., 1971, Optische Untersuchung der Hyperfeinstruktur einiger La I-Linien und Interpretation der gemessenen A -Faktoren, *Z. Physik*, 248, 53-60.
19. AHMED, Z.B., BAUCHE-AMOULT, C., WYART, J.F., 1974, Energy Levels and Hyperfine Structures in the $(5d+6s)^3$ Configurations of La I, *Physica*, 77, 148-158.
20. CHILDS, W. J., GOODMAN, L.S., 1977, Complete Resolution of Hyperfine Structure in the Close Doublet $\lambda = 5930.6$ of ^{139}La by Laser-Atomic-Beam Spectroscopy, *J. Opt. Soc. Am.*, Vol. 67, No. 9, 1230-1234.
21. CHILDS, W.J., GOODMAN, L.S., 1978, Hyperfine Structure of Excited, Odd-parity Levels in ^{139}La by Laser-Atomic-Beam Fluorescence, *J. Opt. Soc. Am.*, Vol. 68, No. 10, 1348-1350.
22. CHILDS, W.J., GOODMAN, L.S., 1979, $^{138,139}\text{La}$ Nuclear Electric-Quadrupole-Moment Ratio by Laser-Rf Double Resonance, *Phys. Rev. A*, Vol. 20, No. 5, 1922-1926.
23. BEHRENS, H.O., GUTHÖHRLEIN, G.H., 1983, High Resolution Optogalvanic Spectroscopy as a Useful Tool in the Determination of Atomic Hyperfine Parameters and Isotope Shifts, *J. Phys. (Paris) Colloques*, 44, C 7, 149-168.
24. CHILDS, W.J., NIELSEN, U., 1988, Hyperfine Structure of the $(5d+6s)^3$ Configuration of ^{139}La I: New Measurements and ab initio Multiconfigurational D,rac-Fock Calculations, *Phys. Rev. A*, Vol. 37, No. 1, 6-15.
25. GOVINDARAJAN, J., PRAMILA, T., 1989, Laser Optogalvanic Spectroscopy for Hyperfine Structure Studies of La I, *J. Opt. Soc. Am. B*, Vol. 6, No. 7, 1275-1277.
26. SHAW, R.W., YOUNG, J.P., SMITH, D.H., BONANNO, A.S., DALE, J.M., 1990, Hyperfine Structure of Lanthanum at Sub-Doppler Resolution by Diode Laser-Initiated Resonance-Ionization Mass Spectroscopy, *Phys. Rev. A*, Vol. 41, No. 5, 2566-2573.

27. PRAMÍLA, T., Hyperfine Structure Studies of Some La I Transitions by Laser Optogalvanic Spectroscopy, *Phys. Scr.*, Vol. 42, 556-558.
28. CAIYAN, L., FUCHENG, L., JIANAN, C., LIZHOU, Z., 1990, Studies on the Hyperfine Structure of La I in a Hollow-Cathode Discharge Tube, *Phys. D: Appl. Phys.*, 23, 1327-1328.
29. JIA, L., JING, C., LIN, F., 1992, Hyperfine Structure of Odd-Parity Levels in ^{139}La I by Laser Optogalvanic Spectroscopy, *Opt. Commun.*, 94, 331-334.
30. BENTON, D.M., COOKE, J.L., GRIFFITH, J.A.R., 1994, High Resolution Laser Spectroscopy Measurements of the Hyperfine Structure of ^{138}La , *Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, 27, 4365-4372.
31. KAYOCH, A., KRZYKOWSKI, A., STEFANSKA, D., FURMANN, B., JAROSZ, A., 1996, Studies of Hyperfine Structure of La I by Laser Spectroscopy of Atomic Beam, *Acta. Phys. Pol. A*, 89, 517-526.
32. JIN, W.G., ENDO, T., UEMATSU, H., MINOWA, T., KATSURAGAWA, H., 2001, Diode-Laser Hyperfine Structure Spectroscopy of $^{138,139}\text{La}$, *Phys. Rev. A*, Vol. 63, 064501.
33. BAŞAR, Gü., BAŞAR, Gö., ER, A., KRÖGER, S., 2007, Experimental Hyperfine Structure Investigation of Atomic La, *Phys. Scr.*, Vol. 75, 572-576.
34. FURMANN, B., STEFANSKA, D., DEMBCZYNSKI, J., 2007, Hyperfine Structure Analysis Odd Configurations Levels in Neutral Lanthanum, *Phys. Scr.*, Vol. 76, 264-279.
35. BAŞAR, Gö., BAŞAR, Gü., KRÖGER, S., 2008, High resolution measurements of the hyperfine structure of atomic Lanthanum for energetically low lying levels of odd parity, *Opt. Commun.*, 282, 562-567.
36. FURMANN, B., STEFANSKA, D., DEMBCZYNSKI, J., 2009, Experimental investigations of the hyperfine structure in neutral La: I. Odd parity levels, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, 42, 175005-175022.
37. FURMANN, B., STEFANSKA, D., DEMBCZYNSKI, J., 2010, Experimental Investigations of the Hyperfine Structure in Neutral La: II. Even parity levels, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, 43, 015001-015008.
38. NIGHAT, Y., RAITH M., HUSSAIN, M., WINDHOLZ, L., 2010, Investigations of the Hyperfine Structure of Lanthanum Lines by a Laser-induced Fluorescence Technique, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, 43, 125001-125010.
39. EMSLEY, J., 1995, *The Elements (Oxford Chemistry Guides)*, Oxford University Press, New York.

40. KOPFERMANN, H., RASMUSSEN, E., 1936, Über Die Hyperfein Structur Einiger Vanadiummultiplette, *Z. Phys.*, 98, 624-637.
41. MURAKAWA, K., 1956, The Quadrupole Moment of ^{51}V , *J. Phys. Soc. Japan*, 11, 422-425.
42. MURAKAWA, K., 1966, Quadrupole Moment of ^{51}V , *J. Phys. Soc. Japan* 21, 1466-1466.
43. CHILDS, W.J., GOODMAN, L.S., 1967, Hyperfine Structure of Nine Levels in Two Configuration of ^{51}V , I. Experimental, *Phys. Rev.*, 156, 64-70.
44. CHILDS, W.J., POULSEN, O., GOODMAN, L.S., CROSSWHITE, H., 1979, Laser-RF Double-Resonance Studies of the Hyperfine Structure of ^{51}V , *Phys. Rev. A*, Vol.19, 168-176.
45. GOUGH, D.S., HANNAFORD, P., LOWE, R.M., WILLIS, A.P., 1985, Hyperfine Structure in ^{51}V Using Laser Saturation Spectroscopy in a Hollow-Cathode Discharge, *J. Phys.B: At. Mol. Opt. Phys.*, 18, 3895-3900.
46. UNKEL, P., BUCH, P., DEMBCZYNSKI, J., ERTMER, W., JOHANN, U., 1989, Sternheimer Free Determination of the ^{51}V Nuclear Quadrupole Moment from Hyperfine Structure Measurements, *Z. Phys. D.*, 11, 259-271.
47. EL-KASHEF, H., LUDWIG, N., 1992, *Phys. Scr. B*, 179, 103.
48. PALMERI, P., BIEMONT, B., ABOUSSAÏD, A., GODEFROID, M., 1995, *J. Phys.B: At. Mol. Opt. Phys.*, 28, 3741-3752
49. PALMERI, P., BIEMONT, E., QUINET, P., DEMBCZYNSKI, J., SZAWIOLA, G., 1997, *Phys. Scr.*, Vol. 55, 586-598.
50. LEFEBVRE, P.H., GARNIR, H. P., BIEMONT, E., 2002, *Phys. Scr.*, Vol. 66, 363-366.
51. COCHRANE, A.C.E., BENTON, D.M., FOREST, D.H., GRIFFITH, J.A.R., 1998, *J. Phys. B: At. Mol. Phys.*, 31, 2203
52. ROSEN, A., 1973, *Phys. Scr.*, 8, 154.
53. ROSEN, A., 1973, *Phys., Scr.*, 8, 159.
54. BAUCHE-AMOULT, C., 1971, *Proc. R. Soc. A*, 322, 361.
55. BAUCHE-AMOULT, C., 1973, *J. Physique*, 34, 304.
56. OLLSEN, G., ROSEN, A., 1982, *Phys. Rev. A*, 25, 658.

57. THORNE, A.P., PICKERING, J.C., SEMENIUK, J., 2011, *Astrophys. J. Suppl.*, 192, 1.
58. TAYLOR, J. R., ZAFARITOS, C., 1996, *Fizik ve Mühendislikte Modern Fizik*, Güven Yayınları, İstanbul.
59. WOODGATE, G. K., 1970, *Elementary Atomic Structure*, McGraw-Hill Publishing Company Limited, England, 07 094137 8.
60. AYGÜN, E., ZENGİN, D.M., 2000, *Kuantum Fiziği*, Bilim Yayınları, Ankara, 975-556-005-x.
61. SIDDIQUI, I., 2010, *Hyperfine Structure Studies of Praseodymium Atoms and Ions*, Doktora Tezi, Avusturya Graz Teknik Üniversitesi Deneysel Fizik Enstitüsü.
62. <http://www.adl.gatech.edu/classes/flodiag/optics/c01.html> [Ziyaret Tarihi: 10 Aralık 2011]
63. THORNE, A., LITZEN, U., JOHANSSON, S., 1999, *Spectrophysics*, Springer-Verlag Berlin, 3-540-65117-9.
64. BAŞAR, G., 1994, *Lazer Spektroskopisi ve İnterferens Spektroskopisi ile Rhenium ve Platin Elementlerinin İzotopik Kaymalarının ve Hiper İnce Yapı Ayrılmalarının İncelenmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
65. KARAOĞLU, B., 1997, *Kuantum Mekaniğine Giriş*, Bilgitek Yayıncılık, İstanbul.
66. DEMTRÖDER, W., 2006, *Atoms, Molecules and Photons, An Introduction to Atomic-, Molecular and Quantum- Physics*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 13 978-3-540-20631-6.
67. DEMTRÖDER, W., 1982, *Laser Spectroscopy Basic Concepts and Instrumentation*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
68. <http://www.ptable.com/> [Ziyaret Tarihi: 15 Aralık 2011]
69. BARBIERİ, B., BEVERİNİ, N., SASSO, A., 1990, *Optogalvanic Spectroscopy*, *Reviews of Modern Physics*, Vol. 62, No. 3, 603.
70. WINDHOLZ, L., GUTHÖHRLEİN, G.H., 2003, *Phys. Scr. T*, 105, 55.

71. PECK, R., READER, K., 1972, *J. Opt. Soc. Am.*, 62, 958.
72. BRUIN, T.L., 1938, *K. Akad. van Wetens., Amsterdam, Proc.* 40, 342.
73. ZAIDEL, A. N., PROKOFEV, V. K., RAISKII, S. M., 1955, *Tables of Spectral Lines*, (Verlag Technik, Berlin)
74. MİNNHAGEN, L., 1963, *Ark. Fys. (Stockholm)*, 25, 203.
75. MİNNHAGEN, L., 1973, *J. Opt. Soc. Am.*, 63, 1185.
76. NORLEN, G., 1973, *Phys. Scr.*, 8, 249.
77. WHALING, W., ANDERSON, W. H. C., CARLE, M. T., BRAULT, J. W., ZAREM, H. A., 1995, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 53, 1.
78. HINKLE, K. H., JOYCE, R. R., HEDDEN, A., WALLACE, L., ENGLEMAN, R., 2001, *Publ. Astron. Soc. Pac.*, 113, 548.
79. WHALING, W., ANDERSON, W. H. C., CARLE, M. T., BRAULT, J. W., ZAREM, H. A., 2002, *J. Res Natl Inst Stand Technol*, 107, 149.
80. ENGLEMAN, R., HINKLE, K. H., WALLACE, L., 2003, *J Quant Spectrosc Radiat Transfer* ,78, 1.
81. KERBER, F., NAVE, G., SANSONETTI, C. J., 2008, *Astrophys. J., Suppl. Ser*, 178, 374.

EK - 1

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}	λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	Sınıflandırma			
									E_{cift} / cm^{-1}	J_{cift}	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
34	833.2230	11998.291	-0.001	833.2237	0.0007	81		Ar I	124137.214	3	112138.924	2
30	833.4404	11995.161	0.006	833.441	0.0006	73	nc	La I	29905.331	2.5	17910.164	3.5
9	833.5936	11992.957	0.000			Bu çalışma	nl nc	La I	40172.000	5.5	28179.043	5.5
15	833.7255	11991.059	-0.010			Bu çalışma	nl nc	La I	36400.733	4.5	24409.684	3.5
3	833.8389	11989.429	0.006	833.8384	-0.0005	74		Ar II	189040.9351	1.5	201030.3698	0.5
4	833.929	11988.15				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
21	834.4995	11979.938	-0.004			Bu çalışma	nl nc	La I	13238.331	3.5	25218.265	2.5
10189	834.6555	11977.699	0.005	834.653	-0.0025	11,13	nc	La I	4121.572	4.5	16099.276	3.5
4	834.829	11975.21				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	835.755	11961.95				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
10	835.8401	11960.723	0.009			Bu çalışma	nl nc	La I	34400.079	2.5	22439.347	1.5
3	836.3076	11954.037	0.016	836.3074	-0.0002	74		Ar II	189654.8487	2.5	201608.9017	3.5
4	836.7013	11948.412	0.001			Bu çalışma	nl nc	Ar I	107496.4166	1	119444.83	2
7	836.7387	11947.878	0.011			Bu çalışma	nl nc	La I	18037.619	1.5	29985.508	0.5
125	837.9650	11930.394	0.001	837.980	0.0150	13,73	nc	La I	19129.307	4.5	31059.702	3.5
6	838.0141	11929.695	0.008			Bu çalışma	nl nc	La I	34369.050	1.5	22439.347	1.5
8	838.1451	11927.826	0.001			Bu çalışma	nl nc	La I	29874.962	1.5	17947.135	2.5
157	838.4727	11923.170	0.000	838.4723	-0.0004	81		Ar I	107289.7001	2	119212.87	3
62	839.2262	11912.464	-0.013	839.2270	0.0008	75	nc	Ar I	124051.375	3	112138.924	2
6	839.2722	11911.812				Bu çalışma		La ya da Ar				
14	839.5725	11907.551	0.002	839.5724	-0.0001	77		Ar II	189437.7396	0.5	201345.2925	1.5
16	839.934	11902.43				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	840.2385	11898.113	0.009			Bu çalışma	nl nc	La I	28754.915	2.5	16856.793	2.5
5	840.2803	11897.521	0.008			Bu çalışma	nl nc	La I	20392.631	0.5	32290.16	0.5
3	840.305	11897.17				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
4	840.346	11896.59				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
24986	840.8213	11889.866	0.006	840.8210	-0.0003	76		Ar I	107289.7001	2	95399.8276	1
4	841.1252	11885.571	0.001			Bu çalışma	nl nc	La I	28742.365	1.5	16856.793	2.5
8	841.1890	11884.670	0.010	841.1880	-0.0010	74		Ar II	196076.4715	1.5	184191.7917	0.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}	λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}	
11	841.5727	11879.240	0.014	841.5730	0.0003	77		Ar II	172213.8798	1.5	184093.1337	0.5	
3	841.735	11876.96				Bu çalışma	nl	La I ya da La II					
6	841.873	11875.02				Bu çalışma	nl	La I ya da La II					
9	842.3424	11868.395	0.004			Bu çalışma	nl nc	La I	31247.796	1.5	19379.397	2.5	
27034	842.4653	11866.664	0.008	842.4648	-0.0005	76		Ar I	105617.2700	2	93750.5978	1	
4	842.948	11859.87				Bu çalışma	nl	La I ya da La II					
4	843.478	11852.42				Bu çalışma	nl	La ya da Ar					
6	843.580	11850.98				Bu çalışma	nl	La I ya da La II					
22	844.0044	11845.024	0.001	844.006	0.0016	73	nc	La I	13238.331	3.5	25083.356	3.5	
13	844.3426	11840.280	-0.020	844.3472	0.0046	81		Ar I	124860.615	4	113020.355	3	
4	844.443	11838.87				Bu çalışma	nl	La I ya da La II					
5	846.1890	11814.444	-0.001			Bu çalışma	nl nc	La I	35117.700	2.5	23303.257	3.5	
224	846.7518	11806.592	0.000	846.762	0.0102	11,13	nc	La I	31923.960	4.5	20117.368	5.5	
4	846.8340	11805.446	0.007			Bu çalışma	nl nc	La I	30934.760	4.5	19129.307	4.5	
10	847.383	11797.79				Bu çalışma	nl	La I ya da La II					
3021	847.6508	11794.070	0.004	847.648	-0.0028	11,13	nc	La I	3009.993	2.5	14804.067	2.5	
11	847.7375	11792.864	0.003			Bu çalışma	nl nc	La I	35096.124	3.5	23303.257	3.5	
17	848.0615	11788.358	0.002			Bu çalışma	nl nc	La I	9183.806	2.5	20972.166	2.5	
3	848.400	11783.66				Bu çalışma	nl	La I ya da La II					
10	848.8403	11777.543	0.006			Bu çalışma	nl nc	La I	32749.715	1.5	20972.166	2.5	
77	849.0308	11774.900	0.002	849.0306	-0.0002	81		Ar I	107131.7086	1	118906.6110	2	
13	850.0994	11760.099	0.004	850.0997	0.0003	74		Ar II	203151.2627	2.5	214911.3656	2.5	
160	850.7363	11751.295	0.008	850.737	0.0007	11,13	nc	La I	8446.039	1.5	20197.342	0.5	
13	850.8041	11750.358	0.002			Bu çalışma	nl nc	La I	30354.282	2.5	18603.922	3.5	
3	851.012	11747.48				Bu çalışma	nl	La I ya da La II					
5	851.050	11746.96				Bu çalışma	nl	La ya da Ar					
5	851.124	11745.94				Bu çalışma	nl	La I ya da La II					
20	851.3211	11743.222	0.003	B		Bu çalışma	nl nc	La I	12430.605	1.5	24173.830	1.5	
128	851.3611	11742.671	0.007	B	851.357	-0.0040	11,13	nc	La I	9919.826	4.5	21662.504	3.5
6	851.441	11741.58				Bu çalışma	nl	La ya da Ar					

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
6	851.4692	11741.180	0.000		851.465	-0.0042	73	nc	La II	7473.347	4	19214.527	4
29491	852.1444	11731.877	0.004		852.1441	-0.0003	81		Ar I	107131.7086	1	95399.8276	1
37	852.9734	11720.475	-0.003		852.967	-0.0064	73	nc	La I	12787.399	2.5	24507.871	2.5
5	853.1538	11717.996	0.006				Bu çalışma	nl nc	La I	29874.962	1.5	18156.960	2.5
100	854.2983	11702.296	0.001	B			Bu çalışma	nl nc	La I	3494.525	3.5	15196.822	2.5
282	854.3498	11701.592	0.008	B	854.346	-0.0040	11,13	nc	La I	9960.904	3.5	21662.504	3.5
7	854.4099	11700.769	-0.005				Bu çalışma	nl nc	Ar II	172213.8798	1.5	183914.6440	0.5
32	854.5063	11699.449	0.003	B			Bu çalışma	nl nc	La I	7679.945	2.5	19379.397	2.5
8448	854.5453	11698.915	0.005	B	854.544	-0.0010	11,13	nc	La I	3009.993	2.5	14708.913	1.5
10	854.7020	11696.770	-0.002		854.7023	0.0003	74		Ar II	189654.8487	2.5	201351.6169	2.5
4	854.791	11695.55					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
4	855.376	11687.55					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
7	855.541	11685.294	0.006				Bu çalışma	nl nc	La I	34124.647	2.5	22439.347	1.5
12	855.9072	11680.300	0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	31059.702	3.5	19379.397	2.5
3	856.0737	11678.029	0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	34482.280	3.5	22804.250	2.5
7	856.926	11666.42					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
11	857.304	11661.26					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	857.8066	11654.432	0.012		857.8055	-0.0011	81		Ar I	107054.2720	0	95399.8276	1
5	858.350	11647.06					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
8	858.5264	11644.666	0.009		858.5262	-0.0002	74		Ar II	190511.2674	2.5	202155.9425	2.5
50	859.0967	11636.936	0.007		859.094	-0.0027	11,13	nc	La I	8446.039	1.5	20082.982	1.5
3	859.215	11635.33					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
13	859.2624	11634.692	-0.001		859.2624	0.0000	74		Ar II	203197.5711	3.5	214832.2625	3.5
4	859.3874	11633.000	0.004				Bu çalışma	nl nc	La I	13747.276	4.5	25380.280	3.5
6	860.052	11624.016	-0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	33286.519	3.5	21662.504	3.5
20	860.4021	11619.281	0.006		860.4017	-0.0004	77		Ar II	160239.4280	1.5	148620.1414	1.5
896	860.5780	11616.906	0.005		860.5776	-0.0004	76		Ar I	107289.7001	2	118906.6110	2
8	861.411	11605.67					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	861.552	11603.77					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
637	862.0466	11597.115	0.008		862.0459	-0.0007	81		Ar I	107054.2720	0	118651.3950	1

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}	λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
26	862.1421	11595.830	-0.001	862.155	0.0129	73	nc	La I	34400.079	2.5	22804.250	2.5
14	862.3802	11592.629	0.001	862.3805	0.0003	77		Ar II	189437.7396	0.5	201030.3698	0.5
237	862.4263	11592.009	0.009	862.422	-0.0043	11,13	nc	La I	7011.904	2.5	18603.922	3.5
4	862.7908	11587.112				Bu çalışma		La ya da Ar				
3	862.836	11586.51				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
12	862.9380	11585.135	-0.003			Bu çalışma	nl nc	La I	32348.346	2.5	20763.214	3.5
6	862.985	11584.50				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	863.389	11579.08				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
13	863.534	11577.14				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
100	863.8485	11572.925	0.013	863.847	-0.0015	11,13	nc	La I	8446.039	1.5	20018.977	1.5
5	864.4550	11564.808	-0.008			Bu çalışma	nl nc	La I	34369.050	1.5	22804.250	2.5
3	865.0881	11556.342	0.003	865.082	-0.0061	73	nc	La II	2591.609	2	14147.954	2
17613	866.7947	11533.589	0.006	866.7944	-0.0003	76		Ar I	106087.2598	1	94553.6652	0
294	867.2131	11528.024	0.004	867.211	-0.0021	11,13	nc	La I	9919.826	4.5	21447.854	3.5
4454	867.4433	11524.965	0.006	867.443	-0.0003	11,13	nc	La I	3494.525	3.5	15019.496	3.5
243	867.8411	11519.682	0.004	867.8407	-0.0004	81		Ar I	107131.7086	1	118651.3950	1
3	868.277	11513.90				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	869.0113	11504.170	-0.016			Bu çalışma	nl nc	Ar I	123171.920	1	111667.766	0
3	869.262	11500.85				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	869.3090	11500.230	0.003	869.3086	-0.0004	74		Ar II	195297.6798	1.5	183797.4473	2.5
3	869.5240	11497.387	-0.006			Bu çalışma	nl nc	La I	35907.065	3.5	24409.684	3.5
63	870.3144	11486.945	0.005	870.311	-0.0034	73	nc	La I	9960.904	3.5	21447.854	3.5
3	870.608	11483.07				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	871.376	11472.95				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	871.9380	11465.556	0.002	871.9374	-0.0006	74		Ar II	189415.0280	3.5	200880.5857	3.5
120	872.0439	11464.164	0.004	872.041	-0.0029	11,13,73	nc	La I	9919.826	4.5	21383.994	4.5
10	872.3521	11460.113	0.011			Bu çalışma	nl nc	La I	36543.480	2.5	25083.356	3.5
6	872.610	11456.73				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
14	872.7064	11455.461	0.005			Bu çalışma	nl nc	La I	21037.296	1.5	32492.762	2.5
3	873.038	11451.11				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}	λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
6	873.550	11444.40				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
4	873.679	11442.71				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	873.726	11442.10				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5376	874.8422	11427.494	0.007	874.842	-0.0004	11,13	nc	La I	2668.176	1.5	14095.677	0.5
17	875.0270	11425.085	0.006			Bu çalışma	nl nc	La I	32872.945	2.5	21447.854	3.5
2	875.121	11423.85				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	875.1801	11423.082	0.008			Bu çalışma	nl nc	La I	9960.904	3.5	21383.994	4.5
9	875.4020	11420.190	0.010	875.4009	-0.0011	74		Ar II	191012.4246	1.5	179592.2248	2.5
4	875.592	11417.71				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	875.709	11416.18				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	875.737	11415.82				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
1011	876.1692	11410.187	0.007	876.1685	-0.0007	81		Ar I	107496.4166	1	118906.6110	2
16	876.7875	11402.140	-0.012	876.792	0.0045	73	nc	La I	17140.940	4.5	28543.068	3.5
10	876.822	11401.69				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
420	877.1862	11396.958	0.003	877.1860	-0.0002	77		Ar II	160239.4280	1.5	148842.4674	2.5
7	877.9980	11386.424	0.007			Bu çalışma	nl nc	La I	12787.399	2.5	24173.830	1.5
3	878.031	11386.00				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
17	878.0701	11385.485	0.003	878.0698	-0.0003	77		Ar II	188766.2129	2.5	200151.7014	1.5
64	878.4559	11380.488	0.000	878.4554	-0.0005	81		Ar I	107131.7086	1	118512.197	0
25	879.6139	11365.503	-0.002	879.6141	0.0002	77		Ar II	189040.9351	1.5	200406.4358	0.5
419	879.9091	11361.690	0.005	879.9087	-0.0004	80		Ar I	107289.7001	2	118651.3950	1
3	879.982	11360.75				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
15	880.1290	11358.852	0.001			Bu çalışma	nl nc	La I	20392.631	0.5	31751.484	1.5
3	880.155	11358.52				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	880.272	11357.01				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	880.3858	11355.538	0.003	880.3860	0.0002	74		Ar II	195031.2028	2.5	183675.6614	3.5
7	880.5131	11353.896	-0.004	880.5160	0.0029	13	nc	Ar I	123171.920	1	111818.028	1
5	880.7830	11350.413	-0.003			Bu çalışma	nl nc	La I	31688.660	1.5	20338.250	2.5
4	881.5620	11340.387	0.008			Bu çalışma	nl nc	Ar II	194996.5613	1.5	206336.9566	2.5
6	881.8641	11336.50		B		Bu çalışma	nl	La ya da Ar				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
262	881.8968	11336.082	-0.002	B	881.893	-0.0038	11,13	nc	La I	13747.276	4.5	25083.356	3.5
11	882.1660	11332.619	0.004				Bu çalışma	nl nc	La I	31351.600	2.5	20018.977	1.5
1011	882.5861	11327.228	0.006		882.582	-0.0041	13,73	nc	La I	8052.163	3.5	19379.397	2.5
3	882.744	11325.20					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	882.928	11322.84					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
8	883.1187	11320.397	0.000				Bu çalışma	nl nc	La I	34124.647	2.5	22804.250	2.5
6	883.8000	11311.670	-0.004		883.8009	0.0009	74		Ar II	195297.6798	1.5	183986.0137	1.5
1408	883.9665	11309.540	0.002	B	883.963	-0.0040	11,13	nc	La I	3494.525	3.5	14804.067	2.5
23	884.0775	11308.120	-0.032	B	884.0820	0.0045	13	nc	Ar I	124058.241	4	112750.153	4
7	884.2530	11305.873	0.006		884.2527	-0.0003	74		Ar II	195031.2028	2.5	206337.0822	3.5
7	884.300	11305.28					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
3	884.622	11301.16					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
240	884.9902	11296.458	-0.009		884.9890	-0.0012	80		Ar I	124046.602	5	112750.153	4
7	886.5303	11276.834	0.007				Bu çalışma	nl nc	Ar II	172816.2926	0.5	184093.1337	0.5
6	886.585	11276.13					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
11	886.7185	11274.440	0.006	B	886.7170	-0.0015	74		Ar II	190507.4128	1.5	201781.8583	2.5
33	886.7367	11274.209	0.002	B	886.735	0.0020	73	nc	La I	12430.605	1.5	23704.816	1.5
6	887.0217	11270.586	0.005		887.0216	-0.0001	74		Ar II	190511.2674	2.5	201781.8583	2.5
72	887.1040	11269.541	-0.001		887.102	-0.0020	73	nc	La I	13238.331	3.5	24507.871	2.5
10	887.1770	11268.615	0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	31351.600	2.5	20082.982	1.5
29	887.4807	11264.757	0.010		887.4797	-0.0010	81		Ar I	104102.0990	1	115366.866	1
3	887.550	11263.88					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	887.910	11259.31					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
35	887.9587	11258.693	0.003		887.956	-0.0027	73	nc	La I	12787.399	2.5	24046.095	2.5
25	888.4295	11252.727	0.010		888.424	-0.0055	73	nc	La I	9719.429	1.5	20972.166	2.5
4	888.487	11252.00					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
38	889.0160	11245.300	0.017		889.0150	-0.0010	77		Ar II	190106.3000	1.5	201351.6169	2.5
11	889.5150	11238.995	-0.002	B	889.5144	-0.0006	74		Ar II	190106.3000	1.5	201345.2925	1.5
20	889.525	11238.87		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
28	889.9301	11233.753	0.002	B	889.9298	-0.0003	81		Ar II	183797.4473	2.5	195031.2028	2.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
3	889.947	11233.54		B			Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
3	890.207	11230.26					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
142	890.5661	11225.730	0.007	B	890.5656	-0.0005	77		Ar II	189654.8487	2.5	200880.5857	3.5
7	890.594	11225.38		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	890.746	11223.46					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
11	890.9281	11221.174	0.004				Bu çalışma	nl nc	La I	35096.124	3.5	23874.946	2.5
28	891.2028	11217.710	0.000				Bu çalışma	nl nc	La I	33657.057	1.5	22439.347	1.5
9	891.5515	11213.323	-0.003		891.5522	0.0007	74		Ar II	190507.4128	1.5	201720.7331	1.5
15	891.7813	11210.433	0.008				Bu çalışma	nl nc	La I	32872.945	2.5	21662.504	3.5
15	892.0200	11207.430	0.001		892.0190	-0.0010	77		Ar II	194883.0921	3.5	183675.6614	3.5
4	892.126	11206.10					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	892.6073	11200.060	-0.003		892.6074	0.0001	74		Ar II	158428.1087	0.5	147228.0521	0.5
4	892.6840	11199.100	0.014		892.6819	-0.0021	74		Ar II	194996.5613	1.5	183797.4473	2.5
66	893.1330	11193.467	0.000	B	893.1331	0.0001	77		Ar II	188766.2129	2.5	199959.6798	2.5
10	893.146	11193.30		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	893.433	11189.71					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
10	893.488	11189.02					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	894.051	11181.97					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
6	894.2871	11179.022	0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	34482.280	3.5	23303.257	3.5
5	894.5612	11175.596	0.013				Bu çalışma	nl nc	La I	36258.965	2.5	25083.356	3.5
30	894.7761	11172.912	0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	33419.552	0.5	22246.635	0.5
19	894.9015	11171.347	0.006		894.889	-0.0125	73	nc	La I	13238.331	3.5	24409.684	3.5
15	895.4257	11164.807	0.007				Bu çalışma	nl nc	La I	31247.796	1.5	20082.982	1.5
5	895.658	11161.91					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
2253	895.7771	11160.427	0.006		895.773	-0.0041	73	nc	La I	7011.904	2.5	18172.337	1.5
27	895.895	11158.95					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
174	896.2150	11154.974	0.004		896.2145	-0.0005	81		Ar I	107496.4166	1	118651.3950	1
11	896.2580	11154.443	0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	9183.806	2.5	20338.250	2.5
467	896.3635	11153.126	0.004		896.365	0.0015	73	nc	La I	9044.212	0.5	20197.342	0.5
17	896.4429	11152.138	-0.013		896.4465	0.0036	13	nc	Ar I	124868.68	4	113716.555	3

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma / \text{cm}^{-1}$		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}} / \text{cm}^{-1}$	$J_{\text{çift}}$	$E_{\text{tek}} / \text{cm}^{-1}$	J_{tek}	
54	896.5459	11150.857	-0.010		896.541	-0.0049	73		nc	La I	18315.822	4.5	29466.669	3.5
5	896.6893	11149.074	0.012		896.6880	-0.0013	74			Ar II	190196.2066	0.5	201345.2925	1.5
4	896.7399	11148.44					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
25	896.8950	11146.510	0.012		896.8950	0.0000	77			Ar II	194822.1833	3.5	183675.6614	3.5
82	897.0131	11145.049	0.007		897.007	-0.0061	73		nc	La I	7011.904	2.5	18156.960	2.5
7	897.111	11143.82					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
146	897.1367	11143.514	0.004		897.1364	-0.0003	77			Ar II	191012.4246	1.5	202155.9425	2.5
11	897.2109	11142.59					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
38	897.7150	11136.340	0.006				Bu çalışma	nl	nc	La I	32108.512	3.5	20972.166	2.5
9	897.7700	11135.649	0.007				Bu çalışma	nl	nc	La I	29045.820	3.5	17910.164	3.5
4	897.863	11134.50					Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
23	898.215	11130.13					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
3	898.454	11127.18					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
3	898.596	11125.42					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
8	898.631	11124.98		B			Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
82	898.6620	11124.600	0.005	B	898.6616	-0.0004	77			Ar II	194800.2662	4.5	183675.6614	3.5
21	898.8223	11122.616	-0.015		898.8235	0.0012	13		nc	Ar I	123261.5250	2	112138.924	2
4	899.2879	11116.857	0.002				Bu çalışma	nl	nc	Ar I	124137.214	3	113020.355	3
3	899.3585	11115.985	0.001				Bu çalışma	nl	nc	Ar I	123254.91	1	112138.924	2
39	899.4101	11115.347	-0.004		899.4090	-0.0011	13		nc	Ar I	124135.698	4	113020.355	3
105	899.5860	11113.170	0.000		899.5864	0.0004	77			Ar II	188766.2129	2.5	199879.3828	3.5
66	899.7810	11110.765	0.001		899.7808	-0.0002	77			Ar II	189040.9351	1.5	200151.7014	1.5
7	900.6500	11100.046	-0.003				Bu çalışma	nl	nc	La I	31119.020	2.5	20018.977	1.5
13	900.7878	11098.347	0.004		900.7900	0.0022	74			Ar II	172816.2926	0.5	183914.6440	0.5
132	900.8292	11097.837	0.004	B	900.826	-0.0030	73		nc	La I	12430.605	1.5	23528.446	0.5
210	900.8459	11097.631	0.003	B	900.8457	-0.0002	77			Ar II	190511.2674	2.5	201608.9017	3.5
19	901.6654	11087.545	0.002		901.680	0.0146	73			La I	12787.399	2.5	23874.946	2.5
304	901.7595	11086.388	0.004		901.7592	-0.0003	77			Ar II	159706.5337	0.5	148620.1414	1.5
11	901.8200	11085.640	0.005		901.8220	0.0020	74			Ar II	194883.0921	3.5	183797.4473	2.5
4	902.152	11081.56					Bu çalışma	nl		La I ya da La II				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
10	902.233	11080.57					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
25	902.5128	11077.134	0.010		902.505	-0.0078	73	nc	La I	8052.163	3.5	19129.307	4.5
4	902.838	11073.14					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	902.976	11071.45					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
8	903.1357	11069.494	-0.005		903.1350	-0.0007	74		Ar II	189040.9351	1.5	200110.4236	0.5
5	903.3523	11066.840	0.016				Bu çalışma	nl nc	Ar I	123205.780	3	112138.924	2
5	903.553	11064.38					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
37	903.5920	11063.900	0.006		903.5920	0.0000	77		Ar II	194861.3529	2.5	183797.4473	2.5
31	904.6921	11050.451	0.003		904.697	0.0049	73	nc	La I	31247.796	1.5	20197.342	0.5
3	904.972	11047.03					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	905.014	11046.53					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
14	905.1230	11045.190	-0.001		905.1229	-0.0001	77		Ar II	195031.2028	2.5	183986.0137	1.5
5	905.3141	11042.858	0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	31061.838	0.5	20018.977	1.5
4	905.476	11040.88					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
154	905.6497	11038.766	0.004		905.648	-0.0017	73	nc	La I	9044.212	0.5	20082.982	1.5
45	905.675	11038.46					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
68	905.7044	11038.101	0.002	B			Bu çalışma	nl nc	La I	17140.940	4.5	28179.043	5.5
46	905.7202	11037.907	-0.021	B	905.7230	0.0028	13	nc	Ar I	113020.355	3	124058.241	4
65	905.7498	11037.546	0.007	B	905.7492	-0.0006	81		Ar I	108722.6194	0	119760.1725	1
25	905.8499	11036.328	-0.006				Bu çalışma	nl nc	La I	35446.006	4.5	24409.684	3.5
30	905.8738	11036.034	0.004				Bu çalışma	nl nc	La I	31119.020	2.5	20082.982	1.5
214	906.0743	11033.593	-0.004		906.0746	0.0003	77		Ar II	203151.2627	2.5	214184.8519	3.5
7	906.2854	11031.023	-0.003				Bu çalışma	nl nc	Ar I	124051.375	3	113020.355	3
221	906.6743	11026.292	-0.017		906.6770	0.0027	13	nc	Ar I	124046.630	4	113020.355	3
75	906.8030	11024.730	0.006		906.8023	-0.0007	77		Ar II	194822.1833	3.5	183797.4473	2.5
9	906.844	11024.23					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	907.0030	11022.302	0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	30401.704	3.5	19379.397	2.5
4	907.247	11019.33					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	907.293	11018.77					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
406	907.3324	11018.294	0.005		907.3319	-0.0005	81		Ar I	122686.065	1	111667.766	0

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum		Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
15	907.5120	11016.113	-0.007	B			Bu çalışma	nl	nc	La I	17023.342	3.5	28039.448	3.5
672	907.5398	11015.776	0.004	B	907.5394	-0.0004	76			Ar I	107496.4166	1	118512.197	0
6	907.6954	11013.888	-0.014				Bu çalışma	nl	nc	La I	16735.095	1.5	27748.969	0.5
25	907.716	11013.64					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
13	907.739	11013.36					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
1421	907.9125	11011.254	0.008	B			Bu çalışma	nl	nc	La I	9960.904	3.5	20972.166	2.5
31	907.9710	11010.550	-0.002	B	907.9707	-0.0003	77			Ar II	194996.5613	1.5	183986.0137	1.5
10	908.1721	11008.107					Bu çalışma			La ya da Ar				
4	908.226	11007.45					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
3	908.446	11004.79					Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
2	909.075	10997.17					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
11	909.146	10996.32					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
3	909.291	10994.56					Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
288	909.5100	10991.914	-0.003		909.5103	0.0003	77			Ar II	203197.5711	3.5	214189.4823	4.5
4	909.647	10990.26					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
4	909.675	10989.92					Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
4	909.744	10989.09					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
94	909.8579	10987.711	0.006		909.8574	-0.0005	77			Ar II	190733.0156	0.5	201720.7331	1.5
10	909.8943	10987.271	0.010				Bu çalışma	nl	nc	Ar II	203197.5711	3.5	214184.8519	3.5
6	910.231	10983.21					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
4	910.480	10980.20					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
11	910.5917	10978.857	-0.001				Bu çalışma	nl	nc	La I	31061.838	0.5	20082.982	1.5
178	910.6560	10978.081	-0.002		910.6562	0.0002	77			Ar II	189415.0280	3.5	200393.1067	4.5
11	910.775	10976.65					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
46	910.9296	10974.784	-0.016				Bu çalışma	nl	nc	Ar I	125122.500	0	114147.732	1
20	911.1183	10972.511	0.008				Bu çalışma	nl	nc	Ar I	122790.547	0	111818.028	1
20	911.4349	10968.700	-0.004		911.4348	-0.0001	77			Ar II	189437.7396	0.5	200406.4358	0.5
7	911.610	10966.59					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
1088	911.9210	10962.853	0.003		911.917	-0.0040	73		nc	La I	2668.176	1.5	13631.032	2.5
7	912.124	10960.41					Bu çalışma	nl		La I ya da La II				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}	λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	E_{cift} / cm^{-1}	J_{cift}	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
84378	912.2973	10958.331	0.008	912.2967	-0.0006	76		Ar I	104102.0990	1	93143.7600	2
7	912.611	10954.56				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
4	912.968	10950.28				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	913.616	10942.51				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
9	913.6694	10941.874	0.011			Bu çalışma	nl nc	Ar I	124658.44	2	113716.555	3
3	913.968	10938.30				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	914.022	10937.65				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
8	914.111	10936.59				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
237	914.2250	10935.225	0.006	914.218	-0.0070	73	nc	La I	7011.904	2.5	17947.135	2.5
4	914.309	10934.22				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
114	914.3819	10933.348	0.010	914.377	-0.0049	73	nc	La I	8446.039	1.5	19379.397	2.5
3	914.814	10928.19				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
8	914.913	10927.00				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
31	915.0198	10925.726	0.004			Bu çalışma	nl nc	La I	30055.037	3.5	19129.307	4.5
3	915.0814	10924.991	0.004	915.0820	0.0006	74		Ar II	158428.1087	0.5	147503.1134	1.5
116	915.1666	10923.974	0.003	915.163	-0.0036	73	nc	La I	7679.945	2.5	18603.922	3.5
5	915.5797	10919.045	0.000			Bu çalışma	nl nc	Ar I	117562.9553	0	128482.0	1
60	915.6047	10918.747	-0.002	915.6049	0.0002	77		Ar II	189040.9351	1.5	199959.6798	2.5
528	915.7164	10917.415	0.002	915.711	-0.0054	73	nc	La I	12787.399	2.5	23704.816	1.5
24	915.841	10915.93				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
91	915.9040	10915.185	0.000			Bu çalışma	nl nc	La I	42666.669	2.5	31751.484	1.5
4	916.1110	10912.712	0.025			Bu çalışma	nl nc	La I	36293.017	3.5	25380.280	3.5
3	916.140	10912.37				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
4	916.343	10909.95				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	916.557	10907.40				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	916.607	10906.81				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	916.735	10905.28				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
5	916.887	10903.48				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
6	917.071	10901.29				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
140	917.2490	10899.173	0.003	917.239	-0.0100	73	nc	La I	9183.806	2.5	20082.982	1.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum		Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
160	917.3040	10898.519	-0.011		917.288	-0.0160	81		nc	La I	17140.940	4.5	28039.448	3.5
20	917.3260	10898.255	0.005				Bu çalışma	nl	nc	La I	7011.904	2.5	17910.164	3.5
29	917.3550	10897.920	0.004				Bu çalışma	nl	nc	La I	4121.572	4.5	15019.496	3.5
17	917.7838	10892.822	0.016				Bu çalışma	nl	nc	Ar I	125533.83	2	114640.992	2
5	917.903	10891.41					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
227	918.0121	10890.113	-0.015	B	918.0127	0.0006	81			Ar I	122708.126	2	111818.0280	1
14	918.0295	10889.907	0.002	B			Bu çalışma	nl	nc	La I	30908.886	2.5	20018.977	1.5
12	918.118	10888.86					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
4	918.450	10884.92					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
4	918.563	10883.58					Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
5	918.633	10882.75					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
3	918.8184	10880.557	-0.010				Bu çalışma	nl	nc	Ar I	124349.02	3	113468.473	2
6	918.956	10878.93					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
16	919.1180	10877.010	0.003		919.1185	0.0005	77			Ar II	172213.8798	1.5	183090.8927	1.5
68	919.2590	10875.340	-0.001		919.2592	0.0002	77			Ar II	194861.3529	2.5	183986.0137	1.5
5	919.352	10874.24					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
20	919.3750	10873.971	-0.001				Bu çalışma	nl	nc	La I	33678.220	2.5	22804.250	2.5
7270	919.4640	10872.917	0.003		919.4638	-0.0002	76			Ar I	104102.0990	1	114975.019	1
8	919.721	10869.88					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
826	919.8472	10868.388	-0.006		919.8479	0.0007	81			Ar I	122686.410	2	111818.028	1
438	919.8762	10868.045	-0.008		919.8770	0.0008	81			Ar I	122686.065	1	111818.028	1
5	920.866	10856.36					Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
4	920.905	10855.90					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
3	920.952	10855.35					Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
4	920.997	10854.82					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
5	921.0368	10854.350	0.002		921.0390	0.0022	74			Ar II	158730.2995	2.5	147875.9477	2.5
10	921.168	10852.80					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
7	921.263	10851.69					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
7	921.416	10849.88					Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
4	921.553	10848.27					Bu çalışma	nl		La I ya da La II				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
4	921.767	10845.75					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
14	921.8522	10844.749	0.002				Bu çalışma	nl nc	La I	28754.915	2.5	17910.164	3.5
103	921.8981	10844.209	-0.005		921.8985	0.0004	77		Ar II	190507.4128	1.5	201351.6169	2.5
134	921.9683	10843.384	0.004		921.963	-0.0053	73	nc	La I	9919.826	4.5	20763.214	3.5
62	922.1135	10841.676	-0.027	B	922.1142	0.0007	81		Ar I	125482.641	3	114640.992	2
11	922.137	10841.40		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
32	922.2272	10840.340	0.009		922.2268	-0.0004	77		Ar II	190511.2674	2.5	201351.6169	2.5
89293	922.4502	10837.719	0.005		922.4499	-0.0003	76		Ar I	106237.5518	2	95399.8276	1
342	922.6675	10835.167	0.004		922.660	-0.0075	73	nc	La I	9183.806	2.5	20018.977	1.5
9	922.759	10834.09					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
9	923.0815	10830.307	0.000				Bu çalışma	nl nc	La I	12430.605	1.5	23260.912	0.5
5	923.131	10829.73					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	923.854	10821.25					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
24	924.2134	10817.043	-0.017				Bu çalışma	nl nc	Ar I	122635.054	2	111818.028	1
7	924.835	10809.77					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
282	925.0068	10807.765	-0.001		925.006	-0.0008	73	nc	La I	13238.331	3.5	24046.095	2.5
7	925.123	10806.41					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
24	925.2640	10804.764	0.006		925.2633	-0.0007	77		Ar II	194996.5613	1.5	184191.7917	0.5
120	925.4745	10802.303	0.007		925.472	-0.0025	73	nc	La I	9960.904	3.5	20763.214	3.5
4	925.852	10797.90		B			Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
68	925.8772	10797.606	0.000	B	925.8772	0.0000	77		Ar II	204113.7598	1.5	214911.3656	2.5
4	925.902	10797.32					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	926.0095	10796.062	0.018	B			Bu çalışma	nl nc	Ar I	124439.34	0	113643.260	1
9	926.0397	10795.71	-0.006	B	926.042	0.0023	73	nc	La II	37209.732	3	26414.028	2
14	926.0808	10795.231	-0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	28742.365	1.5	17947.135	2.5
5	926.4526	10790.899	-0.002				Bu çalışma	nl nc	La I	30988.239	1.5	20197.342	0.5
18	926.5079	10790.255	0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	35298.127	3.5	24507.871	2.5
14	926.6112	10789.052	-0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	34663.997	3.5	23874.946	2.5
41	926.9256	10785.392	0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	7011.904	2.5	17797.301	1.5
5	927.0951	10783.420	-0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	34488.233	0.5	23704.816	1.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
7	927.325	10780.75					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
12	927.6222	10777.293	0.007				Bu çalışma	nl nc	Ar II	204134.0653	2.5	214911.3656	2.5
4	927.660	10776.85					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
45	927.864	10774.49					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
22	927.907	10773.98					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
99	927.9711	10773.241	0.003		927.9710	-0.0001	77		Ar II	159393.3850	1.5	148620.1414	1.5
3	928.028	10772.58					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
25	928.1060	10771.680	0.002				Bu çalışma	nl nc	La I	32219.536	3.5	21447.854	3.5
4	928.266	10769.82		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	928.277	10769.69		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
8	928.520	10766.87					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	928.599	10765.96					Bu çalışma		La ya da Ar				
4	928.916	10762.28					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3520	929.1545	10759.520	0.016		929.1531	-0.0014	76		Ar I	104102.0990	1	114861.635	0
28	929.3276	10757.516	-0.017		929.330	0.0024	73	nc	La I	16991.470	0.5	27748.969	0.5
5	929.489	10755.65					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	929.533	10755.14					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
10	929.6202	10754.130	0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	35393.395	2.5	24639.262	1.5
4	929.770	10752.40					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
7	929.931	10750.53					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
8	930.130	10748.24					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
11	930.5870	10742.950	0.008		930.5870	0.0000	74		Ar II	209337.9564	3.5	198594.9984	3.5
4	930.755	10741.02					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
6	931.113	10736.88					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
2	931.165	10736.29					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
5	931.200	10735.89					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
14	931.3520	10734.140	0.003		931.3510	-0.0010	74		Ar II	209338.2903	4.5	198604.1476	4.5
6	931.453	10732.97					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
3	931.497	10732.46					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	931.741	10729.65					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
21	932.0965	10725.560	0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	18776.615	2.5	29502.176	2.5
23	932.1877	10724.510	0.008				Bu çalışma	nl nc	La I	32108.512	3.5	21383.994	4.5
40	932.4539	10721.449	0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	31059.702	3.5	20338.250	2.5
5	932.6799	10718.85	-0.002				Bu çalışma	nl nc	La I	36172.800	1.5	25453.951	0.5
15	932.8050	10717.415	-0.057		932.8047	-0.0003	81	nc	Ar I	114147.7320	1	124865.0900	2
221	932.8853	10716.491	0.003		932.887	0.0017	73	nc	La I	31688.660	1.5	20972.166	2.5
9	932.940	10715.86					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
9	933.066	10714.41					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
14	933.1060	10713.956	0.006		933.1050	-0.0010	74		Ar II	189437.7396	0.5	200151.7014	1.5
20	933.3213	10711.484	-0.012	B			Bu çalışma	nl nc	Ar I	124137.436	2	113425.964	2
7	933.339	10711.28		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	933.441	10710.11					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
142	933.4780	10709.686	0.019		933.4763	-0.0017	81		Ar I	124135.669	3	113425.964	2
7	933.530	10709.09					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
7	933.5983	10708.306	0.003	B	933.5980	-0.0003	74		Ar II	191012.4246	1.5	201720.7331	1.5
20	933.6225	10708.029	-0.013	B			Bu çalışma	nl nc	La I	35117.700	2.5	24409.684	3.5
10	933.828	10705.67					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
18	933.9520	10704.250	0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	33143.602	0.5	22439.347	1.5
27	934.0586	10703.029	0.007		934.0579	-0.0007	81		Ar I	104102.0990	1	114805.135	2
20	934.2040	10701.360	0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	37833.795	3.5	27132.434	4.5
90	934.4814	10698.194	0.003		934.4803	-0.0011	77		Ar II	204134.0653	2.5	214832.2625	3.5
49	934.6754	10695.966	0.000		934.669	-0.0064	73	nc	La II	39221.691	4	28525.725	5
25	934.734	10695.30					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
16	934.8594	10693.861	0.072				Bu çalışma	nl nc	Ar II	203197.5711	3.5	213891.504	2.5
8	935.305	10688.77					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
29286	935.4223	10687.426	0.006	B	935.4220	-0.0003	76		Ar I	106087.2598	1	95399.8276	1
39	935.508	10686.45		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
7	936.0460	10680.310	-0.009		936.0466	0.0006	74		Ar II	196305.1289	3.5	185624.8282	3.5
27	936.0734	10679.992	-0.003				Bu çalışma	nl nc	Ar II	202253.6552	1.5	212933.6439	2.5
6	936.1862	10678.705	0.000				Bu çalışma	nl nc	Ar II	202253.6552	1.5	212932.3602	1.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum		Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
6	936.2297	10678.209	0.018	B			Bu çalışma	nl	nc	Ar I	125483.362	2	114805.135	2
62	936.2479	10678.002	0.008	B	936.2478	-0.0001	81			Ar I	125483.145	3	114805.135	2
5	936.3470	10676.872	0.016				Bu çalışma	nl	nc	La I	39183.299	2.5	28506.411	2.5
6	936.626	10673.69					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
4	936.825	10671.42					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
9	936.876	10670.85					Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
6	937.0420	10668.953	0.010				Bu çalışma	nl	nc	Ar I	124137.436	2	113468.473	2
32	937.063	10668.71					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
1690	937.2636	10666.430	0.009		937.258	-0.0056	13,73		nc	La I	7490.521	1.5	18156.960	2.5
18	937.4172	10664.682	0.005	B	937.4163	-0.0009	74			Ar II	158167.7999	1.5	147503.1134	1.5
6	937.4566	10664.234	0.000	B			Bu çalışma	nl	nc	La I	34369.050	1.5	23704.816	1.5
58	937.6179	10662.400	0.008		937.610	-0.0079	73		nc	La I	13747.276	4.5	24409.684	3.5
5	937.7215	10661.222	-0.016				Bu çalışma	nl	nc	Ar I	125483.145	3	114821.939	3
171	937.771	10660.66					Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
17	937.886	10659.35					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
4	938.144	10656.43					Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
5	938.368	10653.88					Bu çalışma			La ya da Ar				
23	938.7108	10649.986	0.003				Bu çalışma	nl	nc	La I	30988.239	1.5	20338.250	2.5
174	939.0594	10646.032	-0.011		939.050	-0.0094	73		nc	La I	17023.342	3.5	27669.363	2.5
4	939.200	10644.44					Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
5	939.247	10643.90					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
6	939.291	10643.41					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
38	939.380	10642.39					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
5	939.6881	10638.910	-0.001		939.6900	0.0019	74			Ar II	189040.9351	1.5	199679.8440	2.5
27	939.782	10637.84					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
23	939.819	10637.43					Bu çalışma			La ya da Ar				
12	940.011	10635.26					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
6	940.043	10634.89					Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
9	940.153	10633.65					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
60	940.225	10632.84		B			Bu çalışma	nl		La ya da Ar				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma / \text{cm}^{-1}$		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}} / \text{cm}^{-1}$	$J_{\text{çift}}$	$E_{\text{tek}} / \text{cm}^{-1}$	J_{tek}
224	940.2728	10632.294	-0.026	B	940.2729	0.0001	81		Ar I	124058.232	3	113425.964	2
50	940.8601	10625.657	0.009		940.8660	0.0059	13	nc	Ar I	124051.630	2	113425.964	2
14	940.930	10624.87					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4403	941.2697	10621.033	0.006		941.264	-0.0057	13,73	nc	La I	3009.993	2.5	13631.032	2.5
9	941.431	10619.21		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
57	941.4663	10618.815	0.006	B			Bu çalışma	nl nc	La I	9719.429	1.5	20338.250	2.5
8	941.7190	10615.969	-0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	36258.965	2.5	25643.001	1.5
5	941.7918	10615.145	-0.009				Bu çalışma	nl nc	Ar I	124041.100	1	113425.964	2
10	941.8591	10614.387	0.007		941.8582	-0.0009	74		Ar II	161089.3846	0.5	150474.9903	1.5
206	942.0478	10612.261	0.003		942.0476	-0.0002	77		Ar II	191169.5946	1.5	201781.8583	2.5
12	942.197	10610.58					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
5	942.298	10609.45					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
11	943.274	10598.47					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	943.476	10596.20					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
19	943.6230	10594.546	0.001		943.6230	0.0000	77		Ar II	189437.7396	0.5	200032.2867	1.5
16794	943.8332	10592.186	0.007		943.829	-0.0042	73	nc	La I	2668.176	1.5	13260.369	1.5
37	944.1718	10588.388	-0.002				Bu çalışma	nl nc	La I	31351.600	2.5	20763.214	3.5
13	944.4376	10585.408	-0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	28742.365	1.5	18156.960	2.5
16	944.6599	10582.917	-0.015		944.6570	-0.0029	13	nc	Ar I	124051.375	3	113468.473	2
21	945.329	10575.43					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	945.558	10572.86					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
27	945.7578	10570.631	0.005		945.762	0.0042	73	nc	La I	30908.886	2.5	20338.250	2.5
9	945.8119	10570.027	0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	28742.365	1.5	18172.337	1.5
154	945.8845	10569.215	-0.013	B			Bu çalışma	nl nc	Ar I	112138.924	2	122708.126	2
1702	945.9066	10568.968	0.010	B	945.9090	0.0024	13	nc	Ar I	122707.902	3	112138.924	2
40	946.1057	10566.744	-0.016				Bu çalışma	nl nc	Ar II	173347.9158	1.5	183914.6440	1.5
3891	946.1833	10565.878	0.007		946.179	-0.0043	13,73	nc	La I	7231.416	0.5	17797.301	1.5
24	946.281	10564.79					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
26	946.6810	10560.320	0.008		946.6810	0.0000	74		Ar II	208592.2016	1.5	219152.53	2.5
95	946.716	10559.93					Bu çalışma		La ya da Ar				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
21	946.7490	10559.560	0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	36556.744	4.5	25997.181	4.5
5	946.831	10558.65					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
43	946.9762	10557.031	0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	32219.536	3.5	21662.504	3.5
25	947.273	10553.72		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
15	947.284	10553.60		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
16	947.3160	10553.244	0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	38172.793	4.5	27619.548	4.5
154	947.4501	10551.751	0.008		947.445	-0.0051	73	nc	La I	8052.163	3.5	18603.922	3.5
15	947.5058	10551.130	0.009				Bu çalışma	nl nc	Ar II	191169.5946	1.5	201720.7331	1.5
164	947.5243	10550.924	-0.006	B	947.5250	0.0006	77		Ar II	159393.3850	1.5	148842.4674	2.5
6	947.550	10550.64		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
43	947.7015	10548.951	0.000		947.698	-0.0035	73	nc	La I	21943.811	3.5	32492.762	2.5
602	947.8341	10547.476	0.010		947.8328	-0.0013	81		Ar I	122686.410	2	112138.924	2
72	947.8638	10547.145	-0.004				Bu çalışma	nl nc	Ar I	122686.065	1	112138.924	2
5	947.986	10545.79					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
23	948.0879	10544.652	0.000	B	948.0877	-0.0002	77		Ar II	189415.0280	3.5	199959.6798	2.5
4	948.1206	10544.288	0.002	B	948.1206	0.0000	81	nc	Ar I	199982.02	1.5	189437.73	0.5
7	948.144	10544.03		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
35	948.4166	10540.998	0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	31924.993	3.5	21383.994	4.5
525	948.5094	10539.966	0.000		948.514	0.0046	13,73	nc	La I	31923.960	4.5	21383.994	4.5
22	948.6057	10538.896	-0.003		948.6020	-0.0037	13	nc	Ar I	104102.0990	1	114640.992	2
12	949.0987	10533.422	0.038		949.0980	-0.0007	74		Ar II	214667.52	2.5	204134.06	2.5
2	949.198	10532.32					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
3	949.377	10530.33					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	949.576	10528.13					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	949.666	10527.14					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
10	949.7468	10526.234	-0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	36400.733	4.5	25874.500	5.5
4	949.8466	10525.128	0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	34400.079	2.5	23874.946	2.5
3	950.000	10523.43					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
5	950.4162	10518.820	0.019		950.4160	-0.0002	74		Ar II	208803.3311	5.5	219322.170	5.5
										208803.3348	4.5	219322.1402	4.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma / \text{cm}^{-1}$		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}} / \text{cm}^{-1}$	$J_{\text{çift}}$	$E_{\text{tek}} / \text{cm}^{-1}$	J_{tek}
131	950.8460	10514.070	0.005		950.8440	-0.0020	74		Ar II	190106.3000	1.5	179592.2248	2.5
2	951.210	10510.04					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	951.485	10507.01					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	951.620	10505.51					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	951.685	10504.80					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
11	951.929	10502.11		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	951.9644	10501.713	0.005	B			Bu çalışma	nl nc	La I	13747.276	4.5	24248.994	4.5
6	952.138	10499.80					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	952.210	10499.01					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	952.4052	10496.853	0.000		952.4040	-0.0012	74		Ar II	189654.8487	2.5	200151.7014	1.5
6	952.4701	10496.138	-0.008				Bu çalışma	nl nc	Ar I	122635.054	2	112138.924	2
6	952.544	10495.33					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	952.6400	10494.270	0.004		952.6390	-0.0010	74		Ar II	196119.1021	3.5	185624.8282	3.5
12	952.8104	10492.389	0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	7679.945	2.5	18172.337	1.5
14	953.511	10484.66					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	953.5450	10484.306	0.005	B			Bu çalışma	nl nc	Ar II	189040.9351	1.5	199525.2465	1.5
70	953.5666	10484.068	0.014	B	953.5655	-0.0011	77		Ar II	189654.8487	2.5	200138.9307	3.5
2	953.827	10481.21					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
46	954.0670	10478.570	0.005		954.0665	-0.0005	77		Ar II	196103.4029	4.5	185624.8282	3.5
278	954.1276	10477.904	0.009	B	954.123	-0.0050	13,73	nc	La I	9719.429	1.5	20197.342	0.5
1267	954.2091	10477.009	0.006	B	954.209	0.0010	13,73	nc	La I	7679.945	2.5	18156.960	2.5
26	954.291	10476.11	-0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	31923.960	4.5	21447.854	3.5
2	954.771	10470.84		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
9	954.7823	10470.719	-0.006	B			Bu çalışma	nl nc	Ar I	122609.637	1	112138.9240	1
3	954.958	10468.80					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
4	955.127	10466.94					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
16	955.1694	10466.476	-0.004				Bu çalışma	nl nc	Ar II	202467.1718	1.5	212933.6439	2.5
3	955.2871	10465.186	0.002				Bu çalışma	nl nc	Ar II	202467.1718	1.5	212932.3602	1.5
53	955.3631	10464.354	0.001		955.3631	0.0000	77		Ar II	189415.0280	3.5	199879.3828	3.5
27	955.5520	10462.285	0.016				Bu çalışma	nl nc	Ar I	122601.225	1	112138.924	2

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}	λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum		Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
272	956.0709	10456.607	0.007	956.072	0.0011	73		nc	La I	7490.521	1.5	17947.135	2.5
39	956.1607	10455.625	0.002	956.1595	-0.0012	81			Ar I	123205.780	3	112750.153	4
3	956.293	10454.18				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
4	956.3722	10453.312	0.028			Bu çalışma	nl	nc	La II	39018.74	5	28565.4	4
25	957.0413	10446.004	0.004	957.038	-0.0033	73		nc	La I	32108.512	3.5	21662.504	3.5
7	957.5982	10439.929	0.009			Bu çalışma	nl	nc	La I	21037.296	1.5	31477.234	2.5
2	957.6313	10439.568	0.005	957.6310	-0.0003	74			Ar II	194861.3529	2.5	205300.9264	1.5
2	957.727	10438.53				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
3	958.168	10433.72				Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
6	958.636	10428.63				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
20	958.6999	10427.932	0.014	958.6989	-0.0010	77			Ar II	194822.1833	3.5	205250.1293	3.5
3	958.892	10425.84				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
2	959.088	10423.71				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
3	959.160	10422.93				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
8	959.3688	10420.661	-0.002			Bu çalışma	nl	nc	Ar I	124137.214	3	113716.555	3
22	959.5085	10419.144	-0.001	959.5081	-0.0004	81			Ar I	124135.698	4	113716.555	3
6	959.742	10416.61				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
37	959.9324	10414.543	-0.008	959.9325	0.0001	74			Ar II	194800.2662	4.5	205214.8014	4.5
144	960.1935	10411.711	0.011	960.1925	-0.0010	77			Ar II	194800.2662	4.5	205211.9886	5.5
4	960.319	10410.35				Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
4	960.512	10408.26				Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
3	961.0372	10402.571	0.000	961.0380	0.0008	74			Ar II	190942.7220	0.5	201345.2925	1.5
54	961.2510	10400.250	0.010	961.2508	-0.0002	74			Ar II	208803.3311	5.5	219203.591	6.5
										208803.3348	4.5	219203.595	5.5
3	961.308	10399.65				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
2	961.365	10399.02				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
2	961.428	10398.34				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
2	961.4731	10397.855	-0.015			Bu çalışma	nl	nc	Ar I	124041.100	1	113643.260	1
3	961.7236	10395.146	-0.012			Bu çalışma	nl	nc	La I	25414.630	2.5	15019.496	3.5
2	961.783	10394.50				Bu çalışma	nl		La I ya da La II				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
98	961.9578	10392.616	0.002		961.9577	-0.0002	77		Ar II	194822.1833	3.5	205214.8014	4.5
										194822.1833	3.5	205214.7991	3.5
2	962.125	10390.81					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
119	962.2070	10389.920	0.007		962.2066	-0.0004	77		Ar II	194822.1833	3.5	205212.1106	4.5
31	962.3239	10388.662	0.003		962.3236	-0.0003	77		Ar II	194861.3529	2.5	205250.0179	2.5
13	962.818	10383.33					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	962.906	10382.38					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	963.071	10380.60		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
11	963.0860	10380.440	0.000	B	963.0890	0.0030	74		Ar II	191974.5800	2.5	181594.1404	1.5
13	963.1796	10379.432	0.002		963.184	0.0044	73	nc	La I	31351.600	2.5	20972.166	2.5
126	963.3735	10377.343	0.003		963.372	-0.0015	73	nc	La I	9960.904	3.5	20338.250	2.5
2	963.502	10375.96					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	963.538	10375.57					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	963.716	10373.66					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
4	963.8423	10372.296	0.002		963.8410	-0.0013	74		Ar II	188766.2129	2.5	199138.5106	1.5
7	963.9873	10370.736	-0.008				Bu çalışma	nl nc	La I	35009.990	1.5	24639.262	1.5
397	964.0844	10369.691	-0.006	B	964.081	-0.0030	73	nc	La I	17023.342	3.5	27393.027	2.5
24	964.1192	10369.317	0.001	B	964.1188	-0.0004	77		Ar II	190511.2674	2.5	200880.5857	3.5
27	964.3316	10367.033	0.004		964.3315	-0.0001	77		Ar II	194883.0921	3.5	205250.1293	3.5
22	964.6560	10363.547	0.006		964.647	-0.0090	73	nc	La I	9719.429	1.5	20082.982	1.5
8	964.740	10362.64					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
30	964.805	10361.95					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
8	964.994	10359.92					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	965.032	10359.51		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	965.053	10359.28		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	965.297	10356.67					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
140	965.5974	10353.443	0.003		965.5973	-0.0001	77		Ar II	194861.3529	2.5	205214.7991	3.5
96670	965.7788	10351.498	0.003		965.7786	-0.0002	76		Ar I	104102.0990	1	93750.5978	1
17	966.087	10348.20					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
9	966.414	10344.70					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
9	966.438	10344.44					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
6	966.457	10344.23					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
47	966.643	10342.25		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
150	966.6921	10341.719	-0.033	B	966.6915	-0.0006	81		Ar I	113716.5550	3	124058.2410	4
22	966.7346	10341.264	0.001	B			Bu çalışma	nl nc	La I	13747.276	4.5	24088.541	3.5
4	966.877	10339.74					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	966.9290	10339.185	0.007		966.9270	-0.0020	74		Ar II	191012.4246	1.5	201351.6169	2.5
5	966.960	10338.86					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
397	967.2181	10336.095	0.006		967.204	-0.0141	73	nc	La I	7231.416	0.5	17567.517	0.5
6	967.311	10335.10					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
36	967.3365	10334.829	-0.009		967.3390	0.0025	13	nc	Ar I	124051.375	3	113716.555	3
9	967.365	10334.53					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
10	967.5206	10332.863	0.005		967.5210	0.0004	74		Ar II	191012.4246	1.5	201345.2925	1.5
125	967.6285	10331.711	-0.002	B	967.6285	0.0000	77		Ar II	194883.0921	3.5	205214.8014	4.5
4	967.672	10331.25		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
41	967.716	10330.77					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
35	967.7798	10330.096	-0.021	B	967.7800	0.0002	13	nc	Ar I	124046.630	4	113716.555	3
8	967.805	10329.83		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
92	967.8820	10329.010	0.009		967.8808	-0.0012	77		Ar II	194883.0921	3.5	205212.1106	4.5
32	968.014	10327.59					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
31	968.2228	10325.369	0.011		968.2219	-0.0009	77		Ar II	208921.2645	2.5	219246.644	3.5
4	968.277	10324.79					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	969.150	10315.49					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
8	969.260	10314.32					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
3	969.305	10313.84					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
24	969.6629	10310.034	0.005	B			Bu çalışma	nl nc	La I	35393.395	2.5	25083.356	3.5
70	969.689	10309.76		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
598	969.9697	10306.773	0.007		969.964	-0.0057	13,73	nc	La I	7490.521	1.5	17797.301	1.5
9	970.1527	10304.829	0.002	B	970.1515	-0.0012	74		Ar II	189654.8487	2.5	199959.6798	2.5
15	970.1967	10304.362	0.003	B	970.1963	-0.0004	77		Ar II	194996.5613	1.5	205300.9264	1.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}	λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum		Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
120	970.6508	10299.541	0.007	970.648	-0.0028	13,73		nc	La I	9719.429	1.5	20018.977	1.5
2	970.728	10298.72				Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
3	970.819	10297.76				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
4	970.8578	10297.345	0.009	970.8590	0.0012	74			Ar II	190733.0156	0.5	201030.3698	0.5
224	970.9387	10296.487	0.001	970.945	0.0063	13,73		nc	La I	31059.702	3.5	20763.214	3.5
4	970.972	10296.13				Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
9	971.1772	10293.959	0.008	971.1768	-0.0004	77			Ar II	196103.4029	4.5	206397.3699	4.5
4	971.232	10293.38				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
38	971.3120	10292.540	-0.001	971.3111	-0.0009	77			Ar II	196633.1005	2.5	186340.5616	1.5
25	971.362	10292.00				Bu çalışma			La ya da Ar				
5	971.8707	10286.613	0.007			Bu çalışma	nl	nc	La I	30305.597	2.5	20018.977	1.5
19	972.386	10281.16				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
12	972.6591	10278.275	0.004	972.6582	-0.0009	77			Ar II	196119.1021	3.5	206397.3813	3.5
21	972.909	10275.63				Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
3	973.0069	10274.601	-0.001	973.0060	-0.0009	74			Ar II	172816.2926	0.5	183090.8927	1.5
6	973.143	10273.16				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
3	973.3194	10271.303	-0.003			Bu çalışma	nl	nc	La I	30354.282	2.5	20082.982	1.5
34	973.4551	10269.871	0.004	973.4555	0.0004	77			Ar II	195031.2028	2.5	205301.0773	2.5
701	973.7096	10267.186	0.004	973.709	-0.0006	13,73		nc	La I	7679.945	2.5	17947.135	2.5
8	973.825	10265.97				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
45	973.861	10265.59				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
10	973.922	10264.95				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
110	973.9770	10264.370	-0.003	973.9768	-0.0002	77			Ar II	190196.2066	0.5	179931.8393	1.5
3	974.1554	10262.488	0.001			Bu çalışma	nl	nc	La I	31924.993	3.5	21662.504	3.5
100	974.3460	10260.480	0.005	974.3457	-0.0003	77			Ar II	196076.4715	1.5	206336.9566	2.5
6	974.533	10258.51				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
86	975.0133	10253.458	-0.001	975.0135	0.0002	77			Ar II	194996.5613	1.5	205250.0179	2.5
15	975.3066	10250.375	0.001			Bu çalışma	nl	nc	La I	3009.993	2.5	13260.369	1.5
4	975.372	10249.69				Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
4	975.484	10248.51				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
169	975.6152	10247.132	0.012		975.6142	-0.0010	77		Ar II	196089.9385	2.5	206337.0822	3.5
160	975.8637	10244.524	0.000		975.8637	0.0000	77		Ar II	196103.4029	4.5	206347.9267	5.5
4	975.937	10243.76					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	976.029	10242.79					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
15	976.1851	10241.151	0.003		976.1851	0.0000	77		Ar II	196315.5916	2.5	186074.4375	2.5
27	976.239	10240.58					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
22	976.8876	10233.79	-0.012				Bu çalışma	nl nc	La I	16991.470	0.5	27225.243	1.5
13	977.1830	10230.693	-0.002		977.1830	0.0000	77		Ar II	196305.1289	3.5	186074.4375	2.5
174	977.2285	10230.215	0.004		977.224	-0.0045	13,73	nc	La I	7679.945	2.5	17910.164	3.5
213	977.3571	10228.869	0.005	B	977.3567	-0.0004	77		Ar II	196119.1021	3.5	206347.9756	4.5
9	977.3921	10228.501	0.002	B			Bu çalışma	nl nc	La I	13238.331	3.5	23466.834	4.5
58	977.5114	10227.255	-0.009		977.509	-0.0024	73	nc	La I	18315.822	4.5	28543.068	3.5
7	977.695	10225.34					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	977.964	10222.53					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
5	978.039	10221.74					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
165	978.3095	10218.911	0.016		978.3079	-0.0016	77		Ar II	195031.2028	2.5	205250.1293	3.5
41780	978.4507	10217.437	0.005		978.4503	-0.0004	76		Ar I	105617.2700	2	95399.8276	1
6	979.058	10211.10					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	979.1417	10210.226	0.003				Bu çalışma	nl nc	Ar II	190196.2066	0.5	200406.4358	0.5
6	979.2771	10208.814	-0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	35298.127	3.5	25089.316	4.5
53	979.3230	10208.340	-0.004		979.3231	0.0001	77		Ar II	208803.3348	4.5	198594.9984	3.5
5	979.689	10204.52		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
19	979.704	10204.37		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
34	980.0936	10200.310	0.025		980.0927	-0.0009	81		Ar I	123220.69	2	113020.355	3
5	980.1796	10199.415	0.003	B			Bu çalışma	nl nc	La I	29578.815	2.5	19379.397	2.5
66	980.2020	10199.180	0.004	B	980.2020	0.0000	77		Ar II	208803.3311	5.5	198604.1476	4.5
182	980.3694	10197.440	0.005		980.3690	-0.0004	77		Ar II	196621.9658	3.5	206819.4106	4.5
7	980.4350	10196.758	0.001		980.420	-0.0150	73	nc	La I	21943.811	3.5	32140.570	3.5
11	980.5476	10195.587	0.004				Bu çalışma	nl nc	La I	9183.806	2.5	19379.397	2.5
3	981.065	10190.21					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
3	981.170	10189.13					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
5	981.391	10186.83		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	981.402	10186.71		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
181	981.4428	10186.287	0.020		981.4421	-0.0007	77		Ar II	196633.1005	2.5	206819.407	3.5
9	981.491	10185.78					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	981.5247	10185.437	-0.012				Bu çalışma	nl nc	Ar I	123205.780	3	113020.355	3
4	981.605	10184.61					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	981.660	10184.03					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	981.7023	10183.595	0.001		981.7100	0.0077	74		Ar II	195031.2028	2.5	205214.7991	3.5
3	981.832	10182.25					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	981.907	10181.47		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
11	981.9176	10181.362	0.001	B	981.9174	-0.0002	77		Ar II	191974.5800	1.5	202155.9425	2.5
3	982.197	10178.46					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	982.235	10178.07					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
3	982.310	10177.30					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
36	982.4640	10175.700	-0.002		982.4640	0.0000	77		Ar II	191169.5946	1.5	201345.2925	1.5
3	982.520	10175.12					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
30	982.5840	10174.460	0.001		982.5832	-0.0008	77		Ar II	190106.3000	1.5	179931.8393	1.5
5	982.634	10173.94					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	982.751	10172.73					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
10	982.8651	10171.547	-0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	30934.760	4.5	20763.214	3.5
7	982.9856	10170.300	0.000		982.9856	0.0000	74		Ar II	157673.4134	2.5	147503.1134	1.5
5	983.109	10169.02					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
32	983.327	10166.77					Bu çalışma		La ya da Ar				
4	983.5550	10164.412	0.020				Bu çalışma	nl nc	La I	37833.795	3.5	27669.363	2.5
11	983.581	10164.14					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	983.671	10163.21					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
42	983.7169	10162.72	0.020		983.7170	0.0001	81		Ar II	186470.3603	1.5	196633.1005	2.5
3	984.035	10159.46					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
19	984.1968	10157.784	0.004		984.200	0.0032	73		La I	34032.734	3.5	23874.946	2.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
4	984.305	10156.66					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	984.3574	10156.127	-0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	34663.997	3.5	24507.871	2.5
4	984.641	10153.20					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
43	984.859	10150.95		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
24	984.869	10150.86		B			Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
165	984.9459	10150.058	0.002		984.9458	-0.0001	77		Ar II	195123.6464	5.5	205273.7060	6.5
4	985.018	10149.32					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
110	985.2569	10146.854	0.000		985.258	0.0011	73	nc	La I	31119.020	2.5	20972.166	2.5
6	985.3719	10145.670	0.002	B			Bu çalışma	nl nc	La I	30908.886	2.5	20763.214	3.5
200	985.4064	10145.315	0.004	B	985.4061	-0.0003	77		Ar II	195128.3735	4.5	205273.6921	5.5
23	985.750	10141.78					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	985.808	10141.18					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
87	986.2630	10136.504	0.003		986.260	-0.0030	73	nc	La I	3494.525	3.5	13631.032	2.5
4	986.683	10132.19		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	986.713	10131.88		B			Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
6	986.827	10130.71					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	986.916	10129.80					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	987.039	10128.53					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
7	987.108	10127.83					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	987.293	10125.93					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
8	987.376	10125.08					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	987.454	10124.28					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	987.490	10123.91					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
19	987.547	10123.33					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
13	987.597	10122.81					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	987.637	10122.41					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2061	988.1301	10117.350	0.006		988.124	-0.0061	13,73	nc	La I	7679.945	2.5	17797.301	1.5
25	988.2147	10116.484	0.012		988.2180	0.0033	13	nc	Ar I	125483.362	2	115366.866	1
3	988.313	10115.48					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
3	988.480	10113.77					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
3	988.670	10111.82					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
10	988.7140	10111.380	-0.002		988.7140	0.0000	74		Ar II	192333.4986	0.5	182222.1209	1.5
10	988.846	10110.03					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	988.889	10109.59					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
14	989.3585	10104.789	0.008				Bu çalışma	nl nc	La I	8052.163	3.5	18156.960	2.5
3	989.587	10102.46					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	989.708	10101.23					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	990.0657	10097.571	0.005		990.0640	-0.0017	74		Ar II	189040.9351	1.5	199138.5106	1.5
5	990.4250	10093.910	-0.006		990.4290	0.0040	74		Ar II	173393.4658	2.5	163299.5616	2.5
146	990.5890	10092.237	0.004		990.5886	-0.0004	77		Ar II	196305.1289	3.5	206397.3699	4.5
166	990.6395	10091.722	0.004		990.6392	-0.0003	77		Ar II	160239.4280	1.5	150147.7021	2.5
24	990.708	10091.02					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	990.772	10090.37					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	990.797	10090.12					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
16	990.9711	10088.345	-0.003		990.9717	0.0006	77		Ar II	195123.6464	5.5	205211.9886	5.5
4	991.0396	10087.648	0.000	B			Bu çalışma	nl nc	Ar II	190942.7220	0.5	201030.3698	0.5
8	991.0534	10087.507	0.000	B			Bu çalışma	nl nc	Ar II	189437.7396	0.5	199525.2465	1.5
23	991.1183	10086.847	0.005		991.108	-0.0103	73	nc	La I	30169.834	1.5	20082.982	1.5
45	991.214	10085.87		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
7	991.238	10085.63		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
22	991.4240	10083.730	0.007		991.4238	-0.0002	77		Ar II	195128.3735	4.5	205212.1106	4.5
160	991.6154	10081.790	0.000		991.6155	0.0001	77		Ar II	196315.5916	2.5	206397.3813	3.5
2931	992.0881	10076.987	0.009		992.082	-0.0061	13,73	nc	La I	7490.521	1.5	17567.517	0.5
4	992.517	10072.64					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
5	992.801	10069.75					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
37	992.8834	10068.915	0.002		992.8833	-0.0001	77		Ar II	209248.6316	3.5	219317.5482	4.5
2	992.913	10068.62					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
5	992.992	10067.82					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
33	993.1678	10066.032	-0.001		993.1679	0.0001	77		Ar II	209251.5031	2.5	219317.5345	3.5
11	993.227	10065.43					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
22	993.2770	10064.924	0.002		993.272	-0.0050	73	nc	La I	13238.331	3.5	23303.257	3.5
8	993.4222	10063.454	0.000				Bu çalışma	nl nc	La I	30401.704	3.5	20338.250	2.5
10	993.5040	10062.630	-0.006		993.5046	0.0006	74		Ar II	189654.8487	2.5	179592.2248	2.5
14	993.5494	10062.166	0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	35280.436	1.5	25218.265	2.5
3	993.631	10061.34					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
4	993.775	10059.88					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
9	994.418	10053.38					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	994.815	10049.37					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
156	994.9151	10048.354	0.000		994.9150	-0.0001	77		Ar II	173347.9158	1.5	163299.5616	2.5
58	995.1087	10046.399	-0.002		995.1089	0.0002	77		Ar II	188766.2129	2.5	198812.6100	2.5
230	995.1851	10045.627	0.006		995.1880	0.0029	13	nc	Ar I	104102.0990	1	114147.732	1
86	995.2810	10044.660	0.005		995.2805	-0.0005	77		Ar II	196119.1021	3.5	186074.4375	2.5
5	995.814	10039.29					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
9	996.3042	10034.344	0.000	B			Bu çalışma	nl nc	La I	35117.700	2.5	25083.356	3.5
5	996.322	10034.16		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	996.434	10033.04					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
14	996.5417	10031.952	0.001		996.5416	-0.0001	77		Ar II	196305.1289	3.5	206337.0822	3.5
86	996.5771	10031.596	0.002		996.570	-0.0071	73	nc	La I	17023.342	3.5	27054.940	4.5
7	996.648	10030.88					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
90	996.7040	10030.320	-0.003		996.7043	0.0003	77		Ar II	195123.6464	5.5	185093.3298	4.5
19	997.2335	10024.993	0.002	B	997.2336	0.0001	77		Ar II	189654.8487	2.5	199679.8440	2.5
7	997.267	10024.66		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	997.503	10022.28					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
9	997.5960	10021.360	0.005		997.5943	-0.0017	77		Ar II	196315.5916	2.5	206336.9566	2.5
46	997.7828	10019.474	0.002		997.7827	-0.0001	77		Ar II	195281.4505	0.5	205300.9264	1.5
2	997.988	10017.42					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
98	998.0443	10016.859	-0.008		998.038	-0.0063	13,73	nc	La I	12787.399	2.5	22804.250	2.5
67	998.1259	10016.030	0.002		998.124	-0.0019	73	nc	La I	30354.282	2.5	20338.250	2.5
53	998.8523	10008.746	-0.004		998.847	-0.0053	13,73	nc	La I	12430.605	1.5	22439.347	1.5
6	998.9030	10008.238	0.003		998.9020	-0.0010	74		Ar II	172213.8798	1.5	182222.1209	1.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
3	999.123	10006.03					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	999.236	10004.90					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
7	999.3140	10004.122	0.002				Bu çalışma	nl nc	Ar II	190106.3000	1.5	200110.4236	0.5
130	999.3868	10003.393	0.004		999.3863	-0.0005	77		Ar II	195297.6798	1.5	205301.0773	2.5
7	999.486	10002.40					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	999.578	10001.48					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
10	999.7031	10000.228	0.021				Bu çalışma	nl nc	Ar I	118469.0508	2	128469.3	1
9	999.990	9997.36					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1000.458	9992.69					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
474	1000.5762	9991.502	-0.008		1000.573	-0.0032	13	nc	La I	17140.940	4.5	27132.434	3.5
4	1000.7284	9989.982	0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	34752.589	0.5	24762.602	1.5
23	1000.7556	9989.711	-0.007				Bu çalışma	nl nc	Ar I	124137.436	2	114147.732	1
5	1000.858	9988.69					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
7	1000.9789	9987.482	0.005				Bu çalışma	nl nc	Ar II	192556.9179	2.5	202544.405	2.5
4	1001.064	9986.63					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
23	1001.3100	9984.180	0.004		1001.3096	-0.0004	77		Ar II	209337.9564	3.5	219322.1402	4.5
27	1001.3404	9983.877	0.003		1001.3401	-0.0003	77		Ar II	209338.2903	4.5	219322.170	5.5
4	1001.382	9983.47					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
58	1001.4520	9982.766	0.000				Bu çalışma	nl nc	La I	13238.331	3.5	23221.097	3.5
2	1001.729	9980.00					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
7	1001.7715	9979.580	-0.002				Bu çalışma	nl nc	Ar II	209337.9564	3.5	219317.5345	3.5
8	1001.8041	9979.255	-0.011				Bu çalışma	nl nc	Ar II	209338.2903	4.5	219317.5345	3.5
5	1001.879	9978.51					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	1002.192	9975.40					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
63	1002.2290	9975.030	0.000		1002.2285	-0.0005	77		Ar II	196315.5916	2.5	186340.5616	1.5
6	1002.328	9974.04					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1002.587	9971.46					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
10	1002.680	9970.54					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
240	1002.9650	9967.705	-0.005	B	1002.9686	0.0036	81		Ar I	122717.853	4	112750.153	4
14	1003.0013	9967.352	-0.005	B			Bu çalışma	nl nc	La I	30305.597	2.5	20338.250	2.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
6	1003.152	9965.85					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
8	1003.432	9963.07					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1003.835	9959.07					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
15	1003.9685	9957.742	0.007				Bu çalışma	nl nc	Ar I	122707.902	3	112750.153	4
5	1004.6658	9950.830	-0.013				Bu çalışma	nl nc	La I	34124.647	2.5	24173.830	1.5
4	1004.811	9949.39					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1005.058	9946.95					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2100	1005.2040	9945.503	-0.020		1005.2040	0.0000	80		Ar I	122695.636	5	112750.153	4
9	1005.484	9942.74					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
7	1005.726	9940.34					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1006.0929	9936.716	0.004	B			Bu çalışma	nl nc	La I	30908.886	2.5	20972.166	2.5
3	1006.142	9936.24		B			Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
18	1006.3913	9933.769	0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	32219.536	3.5	22285.766	4.5
10	1006.604	9931.67					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
121	1006.6793	9930.927	-0.012				Bu çalışma	nl nc	La I	18037.619	1.5	27968.534	1.5
27	1006.810	9929.64					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
395	1006.8976	9928.774	0.002		1006.8975	-0.0001	81		Ar I	108722.6194	0	118651.3950	1
4	1007.045	9927.33					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1007.2144	9925.651	0.002				Bu çalışma	nl nc	La I	35875.976	1.5	25950.323	1.5
8	1007.326	9924.55					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1007.525	9922.59					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
11	1007.703	9920.84					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1007.7856	9920.026	0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	36258.965	2.5	26338.934	2.5
9	1008.1426	9916.513	0.000				Bu çalışma	nl nc	La I	29045.820	3.5	19129.307	4.5
10	1008.368	9914.28		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
41	1008.3977	9914.004	-0.004	B			Bu çalışma	nl nc	La I	17140.940	4.5	27054.940	4.5
4	1008.780	9910.25					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
11	1009.300	9905.14					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
11	1009.3000	9905.140	-0.001		1009.3007	0.0007	77		Ar II	196076.4715	1.5	186171.3330	0.5
63	1009.4261	9903.904	-0.006	B			Bu çalışma	nl nc	Ar I	124051.630	2	114147.732	1

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
6	1009.4569	9903.602	0.009	B			Bu çalışma	nl nc	La I	31287.605	3.5	21383.994	4.5
2	1009.702	9901.20					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1009.804	9900.20					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1009.9240	9899.021	0.002		1009.9250	0.0010	74		Ar II	190507.4128	1.5	200406.4358	0.5
3	1010.3381	9894.964	0.008				Bu çalışma	nl nc	La I	8052.163	3.5	17947.135	2.5
4	1010.4160	9894.199	-0.023				Bu çalışma	nl nc	La I	35537.177	0.5	25643.001	1.5
33	1010.475	9893.62		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1010.4999	9893.380	-0.012	B			Bu çalışma	nl nc	Ar I	124041.100	1	114147.732	1
4	1010.7685	9890.751	0.001				Bu çalışma	nl nc	Ar II	190733.0156	0.5	200623.7672	0.5
2	1010.869	9889.77					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1010.997	9888.52					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
15	1011.0674	9887.827	0.005		1011.0669	-0.0005	77		Ar II	158730.2995	2.5	148842.4674	2.5
14	1011.107	9887.44					Bu çalışma		La ya da Ar				
184	1011.1600	9886.920	0.009	B	1011.1592	-0.0008	77		Ar II	173393.4658	2.5	163506.5368	3.5
13	1011.2182	9886.352	0.002	B			Bu çalışma	nl nc	La I	29905.331	2.5	20018.977	1.5
2	1011.594	9882.68					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
8	1011.7086	9881.560	0.010				Bu çalışma	nl nc	Ar I	118407.4303	1	128289	1
3	1012.3065	9875.724	0.000				Bu çalışma	nl nc	Ar II	190106.3000	1.5	199982.0244	1.5
3	1012.656	9872.31					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1012.834	9870.58					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
189	1013.0884	9868.102	0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	18310.940	5.5	28179.043	5.5
6	1013.285	9866.19					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
7	1013.327	9865.78					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1013.480	9864.29					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
10	1013.5917	9863.202	0.019				Bu çalışma	nl nc	La I	18315.822	4.5	28179.043	5.5
3	1013.653	9862.60					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
15	1013.8410	9860.776	-0.001		1013.8412	0.0002	77		Ar II	191169.5946	1.5	201030.3698	0.5
8	1013.932	9859.90					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
121	1014.1271	9857.994	0.007		1014.120	-0.0071	13	nc	La I	8052.163	3.5	17910.164	3.5
21	1014.3340	9855.986	-0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	29874.962	1.5	20018.977	1.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
2	1014.492	9854.45					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
2	1014.6034	9853.367	0.013				Bu çalışma	nl nc	Ar II	190106.3000	3.5	199959.6798	2.5
5	1015.3808	9845.823	-0.008				Bu çalışma	nl nc	Ar I	124650.95	1	114805.135	2
1357	1015.4775	9844.885	0.004		1015.474	-0.0035	13	nc	La I	7011.904	2.5	16856.793	2.5
3	1015.785	9841.90					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1016.139	9838.47					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
477	1016.3381	9836.549	0.003		1016.3377	-0.0004	81		Ar I	121654.580	2	111818.028	1
10	1016.3872	9836.074	0.006		1016.3865	-0.0007	77		Ar II	190196.2066	0.5	200032.2867	1.5
3	1016.6156	9833.864	0.002				Bu çalışma	nl nc	La I	36172.800	1.5	26338.934	2.5
4	1016.8511	9831.586	-0.002				Bu çalışma	nl nc	La I	30169.834	1.5	20338.250	2.5
12	1017.1251	9828.938	0.008				Bu çalışma	nl nc	Ar I	123254.91	1	113425.964	2
7	1017.352	9826.75					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
7	1017.686	9823.52					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
63	1017.7671	9822.739	0.007	B			Bu çalışma	nl nc	La I	32108.512	3.5	22285.766	4.5
12	1017.8077	9822.346	0.003	B			Bu çalışma	nl nc	La I	29905.331	2.5	20082.982	1.5
3	1018.082	9819.70					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1018.170	9818.86					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
174	1018.4624	9816.032	-0.002		1018.460	-0.0024	13	nc	La I	12430.605	1.5	22246.635	0.5
3	1018.656	9814.17					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1019.062	9810.26					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1019.3720	9807.270	0.008		1019.3720	0.0000	74		Ar II	191974.5800	1.5	201781.8583	2.5
7	1019.7879	9803.273	0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	33678.220	2.5	23874.946	2.5
2	1020.088	9800.39					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
16	1020.3393	9797.976	-0.001	B	1020.3396	0.0003	77		Ar II	202544.4050	2.5	212342.380	3.5
11	1020.360	9797.78		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	1020.3930	9797.460	0.006		1020.3928	-0.0002	77		Ar II	157673.4134	2.5	147875.9477	2.5
6	1020.554	9795.92					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1020.637	9795.12					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
7	1020.6787	9794.717	0.009	B			Bu çalışma	nl nc	Ar I	123220.69	2	113425.964	2
11	1020.6996	9794.517	-0.027	B			Bu çalışma	nl nc	Ar II	212224.38	4.5	202429.89	3.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
3	1020.797	9793.58					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
10	1020.8522	9793.053	-0.001				Bu çalışma	nl nc	Ar I	123261.5250	2	113468.473	2
12	1020.9645	9791.976	0.004				Bu çalışma	nl nc	La I	29874.962	1.5	20082.982	1.5
3	1021.245	9789.28					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	1021.513	9786.72					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1021.5441	9786.420	0.017				Bu çalışma	nl nc	Ar I	123254.91	1	113468.473	2
4	1021.8234	9783.745	-0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	34032.734	3.5	24248.994	4.5
9	1021.9658	9782.382	-0.001	B			Bu çalışma	nl nc	Ar II	203151.2627	2.5	212933.6439	2.5
52	1021.9873	9782.176	0.009	B			Bu çalışma	nl nc	La I	21969.299	2.5	31751.484	1.5
83	1022.0997	9781.100	-0.002		1022.1001	0.0004	77		Ar II	203151.2627	2.5	212932.3602	1.5
6	1022.3990	9778.237	0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	18310.940	5.5	28089.180	4.5
6	1022.7594	9774.791	-0.005	B			Bu çalışma	nl nc	Ar I	114975.019	1	124749.805	0
3	1022.785	9774.54		B			Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
27	1023.0859	9771.672	0.003				Bu çalışma	nl nc	Ar II	198812.6100	2.5	189040.9351	1.5
3	1023.193	9770.65					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
15	1023.4883	9767.830	0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	36822.775	4.5	27054.940	4.5
9	1023.6322	9766.453	0.000				Bu çalışma	nl nc	La I	18776.615	2.5	28543.068	3.5
4	1023.972	9763.21					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1024.233	9760.73					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
72	1025.1020	9752.460	-0.001	B	1025.1009	-0.0011	77		Ar II	191974.5800	1.5	182222.1209	1.5
3	1025.1288	9752.199	0.018	B			Bu çalışma	nl nc	Ar I	123220.69	2	113468.473	2
3	1025.2378	9751.162	-0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	21037.296	1.5	30788.453	2.5
5	1025.319	9750.39					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
262	1025.4024	9749.596	0.000		1025.4026	0.0002	81		Ar I	105617.2700	2	115366.866	1
4	1025.690	9746.86					Bu çalışma		La ya da Ar				
2	1025.872	9745.13					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1025.992	9744.00					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1026.1960	9742.060	0.001		1026.2020	0.0060	74		Ar II	196633.1005	2.5	186891.0393	2.5
25	1026.2254	9741.778	0.006				Bu çalışma	nl nc	Ar I	123385.044	0	113643.260	1
2	1026.664	9737.62					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum		Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
13	1026.6971	9737.302	0.005				Bu çalışma	nl	nc	Ar I	123205.780	3	113468.473	2
127	1026.8268	9736.072	0.001	B	1026.8267	-0.0001	77			Ar II	203197.5711	3.5	212933.6439	2.5
9	1026.844	9735.91		B			Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
2	1027.188	9732.65					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
40	1027.3700	9730.920	0.007		1027.3699	-0.0001	77			Ar II	196621.9658	3.5	186891.0393	2.5
47	1027.4893	9729.794	0.002		1027.485	-0.0043	13		nc	La I	18776.615	2.5	28506.411	2.5
2	1027.671	9728.07					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
3	1027.7268	9727.546	-0.001		1027.7300	0.0032	74			Ar II	190507.4128	1.5	200234.9579	2.5
76	1027.8594	9726.291	0.007	B			Bu çalışma	nl	nc	La I	8446.039	1.5	18172.337	1.5
6	1027.893	9725.97		B			Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
189	1028.1407	9723.630	-0.004		1028.1340	-0.0067	13		nc	La I	18315.822	4.5	28039.448	3.5
7	1028.368	9721.48					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
40	1028.5717	9719.552	0.006				Bu çalışma	nl	nc	La I	13747.276	4.5	23466.834	4.5
3	1029.082	9714.73					Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
13	1029.419	9711.55		B			Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
132	1029.4871	9710.913	0.008	B	1029.487	-0.0001	13		nc	La I	8446.039	1.5	18156.960	2.5
3	1029.742	9708.51					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
2	1029.872	9707.28					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
12	1029.9090	9706.930	0.006		1029.9089	-0.0001	77			Ar II	194800.2662	4.5	185093.3298	4.5
8	1030.238	9703.83					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
5	1030.2777	9703.461	-0.014				Bu çalışma	nl	nc	Ar I	123171.920	1	113468.473	2
5	1030.345	9702.83					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
14	1030.5637	9700.768	0.003		1030.5635	-0.0002	77			Ar II	189437.7396	0.5	199138.5106	1.5
270	1030.9123	9697.488	0.010	B	1030.9155	0.0032	81			Ar I	122717.853	4	113020.355	3
21	1030.995	9696.71		B			Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
4	1031.282	9694.01					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
2	1031.569	9691.31					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
3	1031.671	9690.36					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
40	1031.8051	9689.094	0.002				Bu çalışma	nl	nc	La I	31351.600	2.5	21662.504	3.5
9	1031.8557	9688.624	0.010				Bu çalışma	nl	nc	La I	34906.899	1.5	25218.265	2.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
21	1031.945	9687.79					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
27	1031.9709	9687.540	0.007				Bu çalışma	nl nc	Ar I	122707.902	3	113020.355	3
4	1032.256	9684.87					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	1032.4101	9683.419	0.002				Bu çalışma	nl nc	Ar I	124658.44	2	114975.019	1
4	1032.553	9682.08					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1032.6633	9681.045	0.000		1032.6620	-0.0013	74		Ar II	190942.7220	0.5	200623.7672	0.5
7	1032.799	9679.77					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
23	1033.0289	9677.619	0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	29874.962	1.5	20197.342	0.5
58	1033.2333	9675.704	0.004	B			Bu çalışma	nl nc	La I	31059.702	3.5	21383.994	4.5
1100	1033.2724	9675.338	0.004	B	1033.2723	-0.0001	80		Ar I	122695.697	4	113020.355	3
126	1033.7181	9671.166	0.000				Bu çalışma	nl nc	La I	31119.020	2.5	21447.854	3.5
3	1033.816	9670.25					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1034.2642	9666.060	-0.005				Bu çalışma	nl nc	Ar I	122686.410	2	113020.355	3
2	1034.335	9665.40					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
13	1034.841	9660.68		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
595	1034.9173	9659.960	0.008	B	1034.908	-0.0093	13	nc	La I	9719.429	1.5	19379.397	2.5
10	1035.311	9656.29					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1035.363	9655.80					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1035.449	9655.00					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1035.642	9653.20					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1035.6723	9652.918	0.014				Bu çalışma	nl nc	La I	37692.380	3.5	28039.448	3.5
58	1035.7487	9652.206	0.004	B			Bu çalışma	nl nc	Ar I	121470.238	0	111818.028	1
413	1035.7762	9651.950	-0.002	B	1035.770	0.0060	13	nc	La I	12787.399	2.5	22439.347	1.5
4	1036.399	9646.15					Bu çalışma		La ya da Ar				
2	1036.5989	9644.290	-0.001		1036.5960	-0.0029	74		Ar II	190507.4128	1.5	200151.7014	1.5
3	1037.0142	9640.427	0.007		1037.0080	-0.0062	74		Ar II	190511.2674	2.5	200151.7014	1.5
2	1037.045	9640.14					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1037.148	9639.19					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
20	1037.255	9638.19					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
7	1037.3353	9637.443	-0.008				Bu çalışma	nl nc	La I	35280.436	1.5	25643.001	1.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}	λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
2	1037.427	9636.60				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
2	1037.909	9632.12				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
15	1037.9481	9631.753	-0.009			Bu çalışma	nl nc	La I	18037.619	1.5	27669.363	2.5
27	1038.184	9629.57				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1038.3896	9627.658	0.005	1038.3900	0.0004	74		Ar II	190511.2674	2.5	200138.9307	3.5
2	1039.201	9620.14				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
40	1039.2614	9619.582	-0.004	1039.2619	0.0005	77		Ar II	196089.9385	2.5	186470.3603	1.5
3	1039.4023	9618.278	-0.013			Bu çalışma	nl nc	Ar I	123261.5250	2	113643.260	1
5	1039.5648	9616.774	0.002			Bu çalışma	nl nc	La I	34124.647	2.5	24507.871	2.5
13	1039.7888	9614.703	-0.004			Bu çalışma	nl nc	Ar I	122635.054	2	113020.355	3
2	1039.973	9613.00				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
6	1040.0981	9611.843	0.005			Bu çalışma	nl nc	La I	31059.702	3.5	21447.854	3.5
7	1040.1203	9611.638	0.012			Bu çalışma	nl nc	Ar I	123254.91	1	113643.260	1
25	1040.1526	9611.340	0.003	1040.1523	-0.0003	77		Ar II	191012.4246	1.5	200623.7672	0.5
3	1040.301	9609.97				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	1040.404	9609.02				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	1040.593	9607.27				Bu çalışma		La ya da Ar				
5	1040.7190	9606.110	0.001	1040.7186	-0.0004	77		Ar II	196076.4715	1.5	186470.3603	1.5
6	1040.785	9605.50				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
22	1040.9646	9603.842	-0.003			Bu çalışma	nl nc	La I	16735.095	1.5	26338.934	2.5
18	1041.0551	9603.008	0.003	1041.0548	-0.0003	77		Ar II	190507.4128	1.5	200110.4236	0.5
2	1041.146	9602.17				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
19	1042.3510	9591.071	-0.003			Bu çalışma	nl nc	La I	30354.282	2.5	20763.214	3.5
9	1042.5334	9589.391	0.004			Bu çalışma	nl nc	Ar I	121257.161	1	111667.766	0
7	1042.6179	9588.614	-0.003			Bu çalışma	nl nc	Ar II	203345.0332	1.5	212933.6439	2.5
3	1042.647	9588.34				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1042.8006	9586.934	-0.024			Bu çalışma	nl nc	Ar I	117183.5901	2	126770.5	1
2	1042.909	9585.94				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
2	1043.710	9578.58				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
7	1043.839	9577.40				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
107	1044.0510	9575.450	0.004		1044.0508	-0.0002	77		Ar II	191169.5946	1.5	181594.1404	2.5
3	1044.135	9574.68		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1044.148	9574.56		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
15	1044.2594	9573.541	0.003		1044.2591	-0.0003	77		Ar II	190106.3000	1.5	199679.8440	2.5
2	1044.331	9572.88					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1044.417	9572.09					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
27	1044.4822	9571.499	0.007				Bu çalışma	nl nc	La I	35446.006	4.5	25874.500	5.5
5	1044.545	9570.92					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1044.6796	9569.690	-0.002				Bu çalışma	nl nc	La I	32872.945	2.5	23303.257	3.5
4	1044.754	9569.01		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
33	1044.7780	9568.790	-0.002	B	1044.7781	0.0001	77		Ar II	209248.6316	3.5	199679.8440	2.5
9	1044.9644	9567.082	-0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	29905.331	2.5	20338.250	2.5
2	1045.028	9566.50					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
435	1045.0915	9565.919	0.000		1045.082	-0.0095	13	nc	La I	13238.331	3.5	22804.250	2.5
6	1045.277	9564.22					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	1045.755	9559.85		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
13	1045.774	9559.68		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1045.789	9559.54		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	1046.011	9557.51					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
422	1046.1786	9555.978	0.003		1046.169	-0.0096	13	nc	La I	13747.276	4.5	23303.257	3.5
3	1046.574	9552.37					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
374	1046.7183	9551.051	0.004		1046.7179	-0.0004	77		Ar II	158730.2995	2.5	149179.2444	3.5
27650	1047.0056	9548.431	0.003		1047.0054	-0.0002	76		Ar I	104102.0990	1	94553.6652	0
17	1047.3831	9544.989	-0.019				Bu çalışma	nl nc	Ar I	123261.5250	2	113716.555	3
10	1047.6691	9542.383	0.000				Bu çalışma	nl nc	La I	30305.597	2.5	20763.214	3.5
11415	1047.8034	9541.160	0.001		1047.8034	0.0000	76		Ar I	104102.0990	1	113643.260	1
32	1048.2919	9536.714	-0.002				Bu çalışma	nl nc	La I	29874.962	1.5	20338.250	2.5
17	1048.6543	9533.418	0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	21943.811	3.5	31477.234	2.5
5	1049.134	9529.06					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1049.419	9526.47					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
16	1049.525	9525.51					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
14	1049.5954	9524.871	0.003		1049.5941	-0.0013	74		Ar II	190507.4128	1.5	200032.2867	1.5
5	1049.714	9523.79					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
63	1050.0200	9521.019	0.000		1050.0200	0.0000	77		Ar II	190511.2674	2.5	200032.2867	1.5
2	1050.224	9519.17					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1050.265	9518.80					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
160	1050.6120	9515.654	0.002	B	1050.6117	-0.0003	81		Ar I	121654.580	2	112138.924	2
1460	1050.6504	9515.306	0.004	B	1050.6500	-0.0004	75		Ar I	121654.234	3	112138.924	2
11	1051.4660	9507.924	0.011				Bu çalışma	nl nc	La I	21969.299	2.5	31477.234	2.5
4	1051.519	9507.45					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
3	1051.6905	9505.896	0.004		1051.6910	0.0005	74		Ar II	189437.7396	0.5	179931.8393	1.5
7	1051.857	9504.39					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
7	1051.8868	9504.122	0.013				Bu çalışma	nl nc	Ar I	123220.69	2	113716.555	3
51	1051.9510	9503.540	0.005		1051.9506	-0.0004	77		Ar II	195128.3735	4.5	185624.8282	3.5
262	1052.2226	9501.089	0.007		1052.209	-0.0136	13	nc	La I	8446.039	1.5	17947.135	2.5
5	1052.328	9500.13					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
23	1052.7363	9496.453	-0.009				Bu çalışma	nl nc	Ar I	124137.436	2	114640.992	2
3	1052.7621	9496.220	0.002				Bu çalışma	nl nc	Ar I	124137.214	3	114640.992	2
420	1052.9332	9494.677	0.000		1052.9344	0.0012	81		Ar I	124135.669	3	114640.992	2
2	1053.378	9490.67					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1053.5361	9489.243	-0.018	B			Bu çalışma	nl nc	Ar I	123205.780	3	113716.555	3
4	1053.5540	9489.080	-0.001	B	1053.5520	-0.0020	74		Ar II	196305.1289	3.5	186816.0496	3.5
13	1053.8253	9486.639	0.006				Bu çalışma	nl nc	La I	34249.247	0.5	24762.602	1.5
54	1054.1563	9483.660	0.002		1054.1566	0.0003	77		Ar II	189654.8487	2.5	199138.5106	1.5
2	1054.649	9479.23					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
2	1054.762	9478.21					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
9	1054.9140	9476.850	0.008		1054.9126	-0.0014	77		Ar II	208923.4846	1.5	199446.6269	0.5
2	1055.112	9475.07					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
352	1055.2514	9473.819	0.002				Bu çalışma	nl nc	La I	13747.276	4.5	23221.097	3.5
7	1055.5931	9470.753	0.004		1055.5931	0.0000	77		Ar II	190511.2674	2.5	199982.0244	1.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
2	1055.975	9467.33					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1056.3777	9463.718	-0.004				Bu çalışma	nl nc	Ar II	190942.7220	0.5	200406.4358	0.5
9	1056.953	9458.57		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1056.972	9458.40		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
34	1057.1817	9456.521	-0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	31119.020	2.5	21662.504	3.5
41	1057.6215	9452.588	0.001		1057.6220	0.0005	81		Ar I	121270.617	2	111818.028	1
3	1058.0891	9448.411	0.001		1058.0830	-0.0061	74		Ar II	190511.2674	2.5	199959.6798	2.5
2	1058.433	9445.34					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
21	1059.1293	9439.131	0.002	B	1059.1304	0.0011	81		Ar I	121257.161	1	111818.028	1
4	1059.153	9438.92		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1060.190	9429.54					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
2	1060.504	9426.90					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1060.899	9423.39					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
333	1061.2677	9420.112	0.004		1061.256	-0.0117	13	nc	La I	9183.806	2.5	18603.922	3.5
10	1061.3991	9418.946	0.001		1061.3995	0.0004	77		Ar II	190106.3000	1.5	199525.2465	1.5
4	1061.455	9418.45					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
2	1061.528	9417.81					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1061.588	9417.27					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1061.811	9415.29					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
28	1061.9470	9414.090	0.000		1061.9466	-0.0004	77		Ar II	196305.1289	3.5	186891.0393	2.5
3	1062.229	9411.59					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
7	1062.3356	9410.643	-0.005				Bu çalışma	nl nc	Ar I	124051.630	2	114640.992	2
4	1062.739	9407.07					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
4	1062.974	9404.99					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1063.152	9403.42					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
50	1063.4278	9400.977	-0.007		1063.4286	0.0008	81		Ar I	121068.736	1	111667.766	0
3	1063.566	9399.75					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
7	1063.7380	9398.240	-0.002		1063.7378	-0.0002	77		Ar II	208923.4846	1.5	199525.2465	1.5
71	1063.8120	9397.582	0.000	B	1063.8121	0.0001	77		Ar II	189415.0280	3.5	198812.6100	2.5
27	1063.8560	9397.192	0.006	B			Bu çalışma	nl nc	La I	31059.702	3.5	21662.504	3.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}	λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}	
8	1063.9900	9396.010	-0.010	1063.9885	-0.0015	77		Ar II	208921.2465	2.5	199525.2465	1.5	
2	1064.326	9393.05				Bu çalışma	nl	La ya da Ar					
2	1064.776	9389.08				Bu çalışma	nl	La ya da Ar					
2	1064.879	9388.17				Bu çalışma	nl	La ya da Ar					
2	1065.1126	9386.107	-0.011			Bu çalışma	nl nc	Ar II	195031.2028	2.5	204417.2985	1.5	
3	1065.190	9385.32				Bu çalışma	nl	La ya da Ar					
20	1065.304	9384.42				Bu çalışma	nl	La ya da Ar					
3	1065.483	9382.84				Bu çalışma	nl	La I ya da La II					
13	1065.552	9382.24				Bu çalışma	nl	La ya da Ar					
6	1065.788	9380.16				Bu çalışma	nl	La ya da Ar					
19	1066.1007	9377.408	0.000	1066.1008	0.0001	77		Ar II	190733.0156	0.5	200110.4236	0.5	
4	1066.140	9377.06				Bu çalışma	nl	La ya da Ar					
9	1066.182	9376.70				Bu çalışma	nl	La ya da Ar					
2	1066.311	9375.56				Bu çalışma	nl	La I ya da La II					
5	1066.862	9370.72				Bu çalışma	nl	La ya da Ar					
25190	1067.3567	9366.373	0.001	1067.3565	-0.0002	76		Ar I	104102.0990	1	113468.473	2	
9	1067.8501	9362.043	0.002			Bu çalışma	nl nc	La I	34124.647	2.5	24762.602	1.5	
4560	1068.1775	9359.176	0.003	1068.1773	-0.0002	80		Ar I	105462.7596	3	114821.939	3	
9	1068.3041	9358.066	0.006	B	1068.3037	-0.0004	77		Ar II	157234.0196	3.5	147875.9477	2.5
455	1068.3407	9357.746	0.003	B	1068.3404	-0.0003	81		Ar I	105617.2700	2	114975.019	1
4	1068.531	9356.08				Bu çalışma	nl	La ya da Ar					
14	1069.0826	9351.252	0.010			Bu çalışma	nl nc	La I	8446.039	1.5	17797.301	1.5	
5	1069.911	9344.01				Bu çalışma	nl	La ya da Ar					
3	1069.941	9343.75				Bu çalışma	nl	La ya da Ar					
3	1070.004	9343.20				Bu çalışma	nl	La ya da Ar					
522	1070.0989	9342.371	0.004	1070.0986	-0.0003	80		Ar I	105462.7596	3	114805.135	2	
2	1070.3323	9340.334	-0.007			Bu çalışma	nl nc	Ar II	190106.3000	1.5	199446.6269	0.5	
3	1070.5994	9338.003	0.003			Bu çalışma	nl nc	Ar II	203594.3546	0.5	212932.3602	1.5	
4	1071.1240	9333.430	0.001			Bu çalışma	nl nc	La I	30305.597	2.5	20972.166	2.5	
5	1071.1692	9333.036	0.003			Bu çalışma	nl nc	La I	16617.284	0.5	25950.323	1.5	

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum		Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
28	1071.2530	9332.306	-0.005				Bu çalışma	nl	nc	Ar I	124137.436	2	114805.135	2
360	1071.2787	9332.082	-0.003		1071.2813	0.0026	81			Ar I	124137.214	3	114805.135	2
9	1071.4562	9330.536	-0.002				Bu çalışma	nl	nc	Ar I	124135.669	3	114805.135	2
4	1071.504	9330.12					Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
3	1071.6281	9329.039	0.001				Bu çalışma	nl	nc	Ar II	190196.2066	0.5	199525.2465	1.5
2	1072.199	9324.07		B			Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
38	1072.2232	9323.862	0.003	B	1072.2229	-0.0003	81			Ar I	104102.0990	1	113425.964	2
3	1072.553	9320.99					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
2	1073.045	9316.72					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
13	1073.176	9315.59		B			Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
27	1073.2114	9315.276	-0.001	B	1073.2149	0.0035	81			Ar I	124137.214	3	114821.939	3
5	1073.229	9315.12		B			Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
600	1073.3856	9313.765	-0.006		1073.3854	-0.0002	80			Ar I	124135.698	4	114821.939	3
5	1073.700	9311.04					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
333	1073.9802	9308.609	-0.001				Bu çalışma	nl	nc	La I	18310.940	5.5	27619.548	4.5
22	1074.4821	9304.260	0.002				Bu çalışma	nl	nc	La I	32108.512	3.5	22804.250	2.5
2	1074.544	9303.72					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
2	1074.819	9301.35					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
3	1074.905	9300.60					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
4	1075.0581	9299.275	-0.004				Bu çalışma	nl	nc	Ar II	190733.0156	0.5	200032.2867	1.5
5	1075.689	9293.82					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
6	1075.787	9292.97					Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
800	1075.9155	9291.864	-0.005		1075.9160	0.0005	75		nc	Ar I	122717.823	3	113425.964	2
5	1076.3406	9288.195	0.001				Bu çalışma	nl	nc	La I	34272.490	3.5	24984.294	2.5
6	1076.383	9287.83					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
35	1076.4390	9287.350	0.004		1076.4382	-0.0009	77			Ar II	196103.4029	4.5	186816.0490	3.5
206	1077.0383	9282.178	-0.016	B			Bu çalışma	nl	nc	Ar I	113425.9640	2	122708.1260	2
20	1077.0666	9281.934	0.004	B			Bu çalışma	nl	nc	Ar I	122707.9020	3	113425.9640	2
950	1077.3372	9279.603	0.003		1077.3368	-0.0004	81			Ar I	106087.2598	1	115366.866	1
3	1077.571	9277.59					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
2	1078.307	9271.26					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
16	1078.5136	9269.481	-0.002		1078.5135	-0.0001	77		Ar II	209251.5031	2.5	199982.0244	1.5
534	1078.6457	9268.341	0.010				Bu çalışma	nl nc	La I	7011.904	2.5	16280.255	1.5
4	1079.049	9264.88					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1079.165	9263.89					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
14	1079.6046	9260.113	-0.012	B			Bu çalışma	nl nc	Ar I	122686.065	1	113425.964	2
10	1079.631	9259.89		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1079.664	9259.60					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
3	1079.821	9258.26					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1080.021	9256.55					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
97	1080.7021	9250.709	-0.001		1080.7023	0.0002	81		Ar I	121068.736	1	111818.028	1
5	1080.7353	9250.425	-0.005				Bu çalışma	nl nc	Ar II	190196.2066	0.5	199446.6269	0.5
4	1080.8608	9249.351	-0.001				Bu çalışma	nl nc	Ar I	122717.823	3	113468.473	2
2	1080.9010	9249.007	0.002				Bu çalışma	nl nc	Ar II	190733.0156	0.5	199982.0244	1.5
2	1080.951	9248.58					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1081.2227	9246.255	-0.015				Bu çalışma	nl nc	Ar I	124051.375	3	114805.135	2
317	1081.2901	9245.679	0.004		1081.2897	-0.0004	77		Ar II	159393.3850	1.5	150147.7021	2.5
38	1081.6500	9242.610	-0.004		1081.6490	-0.0010	77		Ar II	192333.4986	0.5	183090.8927	1.5
14	1081.7890	9241.420	0.000		1081.7883	-0.0007	77		Ar II	208921.2645	2.5	199679.8440	2.5
7	1081.8906	9240.547	0.018				Bu çalışma	nl nc	La I	29578.815	2.5	20338.250	2.5
38	1082.001	9239.60					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
45	1082.0219	9239.426	0.003	B			Bu çalışma	nl nc	Ar I	122707.902	3	113468.473	2
7	1082.0703	9239.013	-0.002	B			Bu çalışma	nl nc	La I	35236.192	5.5	25997.181	4.5
14	1082.2705	9237.304	0.008				Bu çalışma	nl nc	Ar I	123385.044	0	114147.732	1
6	1082.3248	9236.840	0.001				Bu çalışma	nl nc	Ar II	191169.5946	1.5	200406.4358	0.5
7	1082.398	9236.22					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1082.602	9234.48					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1082.919	9231.77		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
26	1082.9464	9231.538	0.005	B	1082.9458	-0.0006	77		Ar II	159706.5337	0.5	150474.9903	1.5
4	1083.1918	9229.447	-0.011				Bu çalışma	nl nc	Ar I	124051.375	3	114821.939	3

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}	λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
2	1083.354	9228.06				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1083.433	9227.39				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1083.561	9226.30				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1083.748	9224.71				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	1084.0046	9222.527	0.006	1084.0040	-0.0006	78		Ar II	191012.4246	1.5	200234.9579	2.5
3	1084.394	9219.21				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
15	1084.5445	9217.935	0.002			Bu çalışma	nl nc	Ar I	122686.410	2	113468.473	2
15	1084.5844	9217.596	-0.004			Bu çalışma	nl nc	Ar I	122686.065	1	113468.473	2
5	1084.800	9215.76				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1085.3457	9211.131	0.008			Bu çalışma	nl nc	Ar II	196089.9385	2.5	205301.0773	2.5
4	1085.5858	9209.094	-0.004			Bu çalışma	nl nc	Ar I	122635.054	2	113425.964	2
160	1086.1080	9204.666	0.003	1086.1077	-0.0003	81		Ar I	105617.2700	2	114821.939	3
2	1086.4885	9201.442	0.000			Bu çalışma	nl nc	Ar II	203730.9181	1.5	212932.3602	1.5
23	1086.7340	9199.360	0.000	1086.7345	0.0005	77		Ar II	209338.2903	4.5	200138.9307	3.5
12	1086.7890	9198.900	-0.001	1086.7885	-0.0005	77		Ar II	196089.9385	2.5	186891.0393	2.5
8	1086.9710	9197.360	-0.005	1086.9711	0.0001	77		Ar II	194822.1833	3.5	185624.8282	3.5
2	1087.336	9194.27				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
37	1087.6135	9191.925	-0.006			Bu çalışma	nl nc	La I	18776.615	2.5	27968.534	1.5
3	1087.880	9189.68				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
1845	1088.0948	9187.859	0.006	1088.0941	-0.0007	81		Ar I	105617.2700	2	114805.135	2
16	1088.5908	9183.672	0.001			Bu çalışma	nl nc	Ar I	122609.637	1	113425.964	2
2	1089.187	9178.65				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
265	1089.2368	9178.226	0.006	1089.2361	-0.0007	81		Ar I	105462.7596	3	114640.992	2
7	1089.4002	9176.849	-0.001			Bu çalışma	nl nc	La I	7679.945	2.5	16856.793	2.5
5	1089.5886	9175.262	-0.001	1089.5855	-0.0031	81	nc	Ar I	122601.225	1	113425.964	2
4	1089.7919	9173.551	-0.005	1089.7940	0.0021	78		Ar II	196076.4715	1.5	205250.0179	2.5
5	1089.9656	9172.089	-0.011			Bu çalışma	nl nc	La I	20392.631	0.5	29564.709	0.5
5	1090.1723	9170.350	-0.001			Bu çalışma	nl nc	La I	33678.220	2.5	24507.871	2.5
5	1090.3839	9168.570	0.007			Bu çalışma	nl nc	Ar II	190511.2674	2.5	199679.8440	2.5
2	1091.028	9163.16				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma / \text{cm}^{-1}$		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}} / \text{cm}^{-1}$	$J_{\text{çift}}$	$E_{\text{tek}} / \text{cm}^{-1}$	J_{tek}
6	1091.1149	9162.428	-0.011				Bu çalışma	nl nc	Ar I	124137.436	2	114975.019	1
5	1091.3816	9160.189	0.002		1091.3790	-0.0026	74		Ar II	196089.9385	2.5	205250.1293	3.5
3	1091.6713	9157.758	0.003		1091.6670	-0.0043	74		Ar II	189654.8487	2.5	198812.6100	2.5
218	1092.3447	9152.112	0.003		1092.3444	-0.0003	77		Ar II	160239.4280	1.5	151087.3128	2.5
5	1092.5035	9150.784	0.001	B			Bu çalışma	nl nc	La I	34369.050	1.5	25218.265	2.5
3	1092.5475	9150.413	0.040	B			Bu çalışma	nl nc	La I	36543.480	2.5	27393.027	2.5
4	1092.6818	9149.289	0.023				Bu çalışma	nl nc	La I	37692.380	3.5	28543.068	3.5
6	1093.0237	9146.424	0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	34526.709	4.5	25380.280	3.5
8	1093.126	9145.57					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
21	1093.1737	9145.172	0.005		1093.1730	-0.0007	77		Ar II	208591.8039	0.5	199446.6269	0.5
22	1093.5385	9142.121	-0.004				Bu çalışma	nl nc	La I	29905.331	2.5	20763.214	3.5
10	1094.4654	9134.379	-0.004				Bu çalışma	nl nc	La I	25414.630	2.5	16280.255	1.5
6	1094.6609	9132.747	0.005				Bu çalışma	nl nc	Ar I	122601.225	1	113468.473	2
215	1094.7872	9131.694	-0.001		1094.7868	-0.0004	80		Ar I	121270.617	2	112138.924	2
4045	1095.0726	9129.314	0.000		1095.0727	0.0001	81		Ar I	106237.5518	2	115366.866	1
1805	1095.2153	9128.129	-0.004				Bu çalışma	nl nc	La I	9044.212	0.5	18172.337	1.5
16	1095.4290	9126.350	-0.003		1095.4287	-0.0004	77		Ar II	195297.6798	1.5	186171.3330	0.5
134	1095.4808	9125.912	-0.003				Bu çalışma	nl nc	La II	7473.347	4	16599.256	4
13	1096.0144	9121.469	0.009				Bu çalışma	nl nc	La I	8446.039	1.5	17567.517	0.5
3	1096.185	9120.05					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
35	1096.4025	9118.240	-0.003		1096.4033	0.0008	81		Ar I	121257.161	1	112138.924	2
12	1097.3800	9110.120	-0.003		1097.3801	0.0001	77		Ar II	195281.4505	0.5	186171.3330	0.5
15	1097.4310	9109.700	0.001		1097.4330	0.0020	74		Ar II	209248.6316	3.5	200138.9307	3.5
2	1097.5663	9108.572	0.014				Bu çalışma	nl nc	Ar II	196103.4029	4.5	205211.9886	5.5
6	1097.7349	9107.173	0.005				Bu çalışma	nl nc	Ar I	123254.910	1	114147.732	1
21	1098.2390	9103.000	-0.002	B	1098.2383	-0.0007	77		Ar II	209337.9564	3.5	200234.9579	2.5
5	1098.282	9102.64		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1098.581	9100.16					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
15	1099.283	9094.35					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1099.446	9093.00					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
3	1099.580	9091.89					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
8	1099.834	9089.79					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1099.861	9089.57					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
70	1100.1278	9087.364	0.008				Bu çalışma	nl nc	La I	7011.904	2.5	16099.276	3.5
6	1101.489	9076.13					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
38	1102.6050	9066.950	0.005		1102.6041	-0.0009	77		Ar II	208592.2016	1.5	199525.2465	1.5
18	1102.6530	9066.550	0.007		1102.6523	-0.0007	77		Ar II	208591.8039	0.5	199525.2465	1.5
10	1102.8565	9064.880	-0.014				Bu çalışma	nl nc	Ar I	113643.2600	1	122708.1260	2
125	1103.1350	9062.600	-0.003		1103.1344	-0.0006	77		Ar II	204929.4477	0.5	195866.8503	1.5
4	1103.818	9056.98					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1104.126	9054.46					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
22	1104.3186	9052.878	0.003				Bu çalışma	nl nc	Ar I	121191.805	2	112138.924	2
16	1104.8122	9048.834	0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	7231.416	0.5	16280.255	1.5
4	1104.904	9048.08					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
18	1104.9830	9047.436	-0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	13238.331	3.5	22285.766	4.5
2	1105.242	9045.32					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1105.433	9043.76					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1105.5060	9043.155	-0.005				Bu çalışma	nl nc	Ar I	122686.410	2	113643.260	1
5	1105.5487	9042.805	0.000				Bu çalışma	nl nc	Ar I	122686.065	1	113643.260	1
5	1105.9775	9039.299	0.003				Bu çalışma	nl nc	Ar II	190942.7220	0.5	199982.0244	1.5
6	1106.011	9039.03					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
7	1106.499	9035.04					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
28	1106.7940	9032.620	0.008		1106.7944	0.0004	77		Ar II	196621.9658	3.5	187589.3383	2.5
20	1106.8456	9032.210	0.001		1106.8455	-0.0001	77		Ar II	190106.3000	1.5	199138.5106	1.5
20	1107.5530	9026.441	0.002		1107.5536	0.0006	81		Ar I	121165.367	3	112138.924	2
13	1107.641	9025.72		B			Bu çalışma		La ya da Ar				
40	1107.684	9025.38		B			Bu çalışma		La ya da Ar				
2725	1107.8869	9023.721	0.001		1107.8869	0.0000	76		Ar I	105617.2700	2	114640.992	2
5	1108.004	9022.77					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1108.2318	9020.910	-0.013				Bu çalışma	nl nc	La I	21943.811	3.5	30964.708	3.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma / \text{cm}^{-1}$		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}} / \text{cm}^{-1}$	$J_{\text{çift}}$	$E_{\text{tek}} / \text{cm}^{-1}$	J_{tek}
8	1108.3610	9019.861	0.001		1108.3617	0.0007	77		Ar II	191012.4246	1.5	200032.2867	1.5
3	1108.615	9017.79					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1108.743	9016.75		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
13	1108.7690	9016.540	0.005	B	1108.7687	-0.0003	77		Ar II	209251.5031	2.5	200234.9579	2.5
6	1108.9014	9015.465	0.004				Bu çalışma	nl	Ar II	203918.1752	1.5	212933.6439	2.5
870	1110.6449	9001.312	-0.014		1110.6450	0.0001	80		Ar I	122717.853	4	113716.555	3
11	1110.8485	8999.663	-0.019				Bu çalışma	nl	La I	16617.284	0.5	25616.928	0.5
3	1111.000	8998.43					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
10	1111.294	8996.05					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1111.683	8992.91					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1111.8195	8991.803	-0.009	B			Bu çalışma	nl	Ar I	122635.054	2	113643.260	1
7	1111.847	8991.59		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
205	1111.8765	8991.342	0.005	B	1111.8784	0.0019	81		Ar I	122707.902	3	113716.555	3
5	1112.371	8987.35					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1113.0197	8982.107	0.000				Bu çalışma	nl	Ar II	191169.5946	1.5	200151.7014	1.5
17	1113.0927	8981.518	0.000				Bu çalışma	nl	La I	32448.352	4.5	23466.834	4.5
2	1113.225	8980.45					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
190	1113.3879	8979.136	0.006		1113.3898	0.0019	81		Ar I	122695.697	4	113716.555	3
17	1113.801	8975.81					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
205	1114.1308	8973.151	0.003				Bu çalışma	nl	La I	9183.806	2.5	18156.960	2.5
3	1114.283	8971.92					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
17	1114.5398	8969.856	-0.001				Bu çalışma	nl	Ar I	122686.410	2	113716.555	3
10	1114.5718	8969.599	0.001		1114.5716	-0.0002	77		Ar II	191012.4246	1.5	199982.0244	1.5
7	1114.741	8968.24					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
9	1114.860	8967.28					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
19	1115.9090	8958.850	0.003				Bu çalışma	nl	La I	16991.470	0.5	25950.323	1.5
4	1116.125	8957.12					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1116.1916	8956.582	-0.006				Bu çalışma	nl	La I	34906.899	1.5	25950.323	1.5
2	1116.533	8953.84					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
87	1117.3281	8947.472	0.002		1117.3276	-0.0005	80		Ar II	191169.5946	1.5	182222.1209	1.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
2	1117.678	8944.67					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1117.729	8944.27					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
7	1117.830	8943.46					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
3	1118.080	8941.46					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
15	1118.1589	8940.824	0.005		1118.1584	-0.0005	77		Ar II	191169.5946	1.5	200110.4236	0.5
5	1118.3572	8939.239	0.001				Bu çalışma	nl nc	Ar II	199982.0244	1.5	208921.2645	2.5
31	1118.684	8936.63					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1118.909	8934.83					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
8	1119.025	8933.90					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1119.227	8932.29					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
23	1119.5380	8929.810	0.002	B	1119.5384	0.0004	81		Ar I	121068.736	1	112138.924	2
4	1119.559	8929.64		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1119.703	8928.50					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1119.831	8927.48					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
2	1119.974	8926.33					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1120.442	8922.61					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
8	1120.5778	8921.524	-0.007				Bu çalışma	nl nc	Ar II	204937.8473	4.5	213859.364	5.5
2	1120.620	8921.19					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1120.846	8919.39					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
11	1120.9571	8918.505	-0.006	B			Bu çalışma	nl nc	Ar I	122635.054	2	113716.555	3
16	1120.9719	8918.388	0.007	B	1120.9710	-0.0009	77		Ar II	159393.3850	1.5	150474.9903	1.5
2	1121.058	8917.70					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
15	1121.1300	8917.130	-0.003		1121.1305	0.0005	77		Ar II	190511.2674	2.5	181594.1404	2.5
5	1121.2402	8916.254	0.000				Bu çalışma	nl nc	Ar II	204977.6464	2.5	213893.900	3.5
10	1121.4840	8914.320	-0.002		1121.4836	-0.0004	77		Ar II	172213.8798	1.5	163299.5616	2.5
13	1121.7318	8912.346	0.012		1121.7299	-0.0019	77		Ar II	208592.2016	1.5	199679.8440	2.5
4	1122.110	8909.34					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1122.2417	8908.297	-0.008				Bu çalışma	nl nc	Ar II	204951.1273	3.5	213859.416	4.5
5	1122.2913	8907.903	0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	16735.095	1.5	25643.001	1.5
3	1122.477	8906.43					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
2	1122.803	8903.85					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1122.935	8902.80		B			Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
5	1122.961	8902.59		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1123.3584	8899.441	-0.007				Bu çalışma	nl nc	La I	21037.296	1.5	29936.730	1.5
2	1123.762	8896.25					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1124.072	8893.79					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1124.2029	8892.756	-0.008				Bu çalışma	nl nc	La I	18776.615	2.5	27669.363	2.5
3	1124.519	8890.25					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	1124.741	8888.50					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
120	1124.8352	8887.757	0.002	B	1124.8349	-0.0003	81		Ar I	106087.2597	1	114975.019	1
7	1124.879	8887.41		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1125.280	8884.24					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
502	1125.3510	8883.680	0.007		1125.3507	-0.0004	77		Ar II	191974.5800	1.5	183090.8927	1.5
7	1125.443	8882.96					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1125.489	8882.60					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
39	1125.5836	8881.848	-0.015				Bu çalışma	nl nc	La I	16735.095	1.5	25616.928	0.5
23	1126.2932	8876.252	0.000				Bu çalışma	nl nc	La I	25414.630	2.5	16538.378	3.5
3	1126.438	8875.11					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
5	1126.9412	8871.148	-0.016				Bu çalışma	nl nc	Ar II	206103.4749	1.5	214974.607	2.5
3	1127.759	8864.71					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1127.812	8864.30					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1127.9454	8863.250	-0.008				Bu çalışma	nl nc	Ar II	204996.1739	3.5	213859.416	2.5
5	1128.0164	8862.692	0.000				Bu çalışma	nl nc	Ar II	191169.5946	1.5	200032.2867	1.5
4	1128.206	8861.20					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
156	1128.5590	8858.431	0.002				Bu çalışma	nl nc	La I	7679.945	2.5	16538.378	3.5
5	1128.649	8857.73					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
6	1128.818	8856.40					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
8	1129.0875	8854.285	-0.011				Bu çalışma	nl nc	Ar II	206120.3769	2.5	214974.651	3.5
13	1129.5051	8851.011	0.002				Bu çalışma	nl nc	La I	17099.310	2.5	25950.323	1.5
3	1129.594	8850.31					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}	λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
9	1130.1258	8846.150	-0.001			Bu çalışma	nl nc	Ar II	206132.7924	4.5	214978.941	5.5
3	1130.2433	8845.230	0.002			Bu çalışma	nl nc	La I	34488.233	0.5	25643.001	1.5
4	1130.3192	8844.636	0.006			Bu çalışma	nl nc	La I	21943.811	3.5	30788.453	2.5
2	1130.839	8840.57				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1131.845	8832.71				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1132.0697	8830.960	-0.014			Bu çalışma	nl nc	Ar II	157673.4134	2.5	148842.4674	2.5
10	1132.1914	8830.011	-0.015			Bu çalışma	nl nc	Ar II	206149.0242	3.5	214979.020	4.5
11	1132.5370	8827.315	-0.004			Bu çalışma	nl nc	La I	36220.338	3.5	27393.027	2.5
2	1132.807	8825.22				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1132.871	8824.72				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
8	1133.564	8819.32				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
46	1133.6560	8818.603	-0.003	1133.6564	0.0004	77		Ar II	204113.7598	1.5	212932.3602	1.5
8	1133.7530	8817.849	-0.008			Bu çalışma	nl nc	Ar II	206623.9138	3.5	215441.755	3.5
4	1133.789	8817.57				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
93	1133.9119	8816.613	-0.001			Bu çalışma	nl nc	La I	18315.822	4.5	27132.434	3.5
3	1134.042	8815.61				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1134.408	8812.76				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1134.4517	8812.418	0.012			Bu çalışma	nl nc	Ar II	191169.5946	1.5	199982.0244	1.5
8	1134.752	8810.08				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
13	1134.9370	8808.650	0.005	1134.9364	-0.0006	77		Ar II	194883.0921	3.5	186074.4375	2.5
11	1135.3747	8805.253	0.002			Bu çalışma	nl nc	La I	32108.512	3.5	23303.257	3.5
5	1135.453	8804.65				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
7	1135.828	8801.74				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
77	1135.9902	8800.483	0.005			Bu çalışma	nl nc	La II	10094.887	2	18895.375	2
71	1136.1066	8799.581	-0.002	1136.1071	0.0005	77		Ar II	204134.0653	2.5	212933.6439	2.5
7	1136.2730	8798.293	0.002			Bu çalışma	nl nc	Ar II	204134.0653	2.5	212932.3602	1.5
8	1136.6604	8795.294	0.002			Bu çalışma	nl nc	La I	34249.247	0.5	25453.951	0.5
11	1136.751	8794.60				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1137.306	8790.30				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
140	1137.3804	8789.727	0.007			Bu çalışma	nl nc	La I	7490.521	1.5	16280.255	1.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
5	1137.744	8786.92					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
10	1138.5587	8780.630	-0.001				Bu çalışma	nl nc	Ar II	205100.5847	5.5	213881.214	6.5
6	1138.871	8778.22					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
11	1139.0564	8776.793	-0.006				Bu çalışma	nl nc	Ar II	205104.4297	4.5	213881.217	5.5
1650	1139.3704	8774.374	0.001	B	1139.3701	-0.0003	81		Ar I	106087.2597	1	114861.635	0
12	1139.428	8773.93		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
13	1139.658	8772.16					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
250	1139.8639	8770.576	-0.006		1139.8649	0.0010	81		Ar I	124137.436	2	115366.866	1
51	1140.8065	8763.329	0.000				Bu çalışma	nl nc	La I	9183.806	2.5	17947.135	2.5
2	1141.152	8760.68					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1141.600	8757.24					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
3	1141.671	8756.70					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1141.724	8756.29					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1141.8915	8755.002	-0.016				Bu çalışma	nl nc	Ar II	205104.4297	4.5	213859.416	4.5
3	1142.019	8754.02					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
11	1142.1415	8753.086	0.003	B			Bu çalışma	nl nc	La I	9044.212	0.5	17797.301	1.5
11	1142.178	8752.80		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
7	1142.1920	8752.699	0.003	B			Bu çalışma	nl nc	La I	32219.536	3.5	23466.834	4.5
7	1142.2910	8751.940	0.010				Bu çalışma	nl nc	Ar II	214997.58	4.5	206245.63	3.5
2	1142.955	8746.86		B			Bu çalışma		La ya da Ar				
7	1143.621	8741.76					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
122	1143.9675	8739.119	-0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	18315.822	4.5	27054.940	4.5
5580	1144.1835	8737.464	0.003		1144.1832	-0.0003	76		Ar I	106237.5518	2	114975.019	1
154	1144.6950	8733.561	-0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	17140.940	4.5	25874.500	5.5
570	1145.6400	8726.356	0.002				Bu çalışma	nl nc	La I	9183.806	2.5	17910.164	3.5
7	1146.0294	8723.391	-0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	28742.365	1.5	20018.977	1.5
44	1146.321	8721.17					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
18	1146.3970	8720.590	0.011		1146.3959	-0.0011	77		Ar II	190942.7220	0.5	182222.1209	1.5
10	1146.6250	8718.857	-0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	16735.095	1.5	25453.951	0.5
4	1146.651	8718.66					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	E_{cift} / cm^{-1}	J_{cift}	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
1445	1146.7548	8717.873	0.002		1146.7544	-0.0004	81		Ar I	106087.2597	1	114805.135	2
20	1147.0290	8715.790	0.001		1147.0287	-0.0003	77		Ar II	196305.1289	3.5	187589.3383	2.5
4	1147.320	8713.58					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1147.692	8710.76					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
2	1147.7843	8710.053	-0.009				Bu çalışma	nl nc	Ar I	116999.3259	2	125709.37	2
8	1147.817	8709.81					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
10	1147.9317	8708.935	-0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	21969.299	2.5	13260.369	1.5
9	1148.1115	8707.571	-0.001	B			Bu çalışma	nl nc	La I	29045.820	3.5	20338.250	2.5
8	1148.132	8707.41		B			Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
8	1148.2544	8706.488	0.002				Bu çalışma	nl nc	La I	21943.811	3.5	30650.301	4.5
36	1148.733	8702.86		B			Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
7170	1148.8113	8702.267	0.004	B	1148.8109	-0.0004	76		Ar I	104102.0990	1	95399.8276	1
11	1149.065	8700.34					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1149.191	8699.39					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1149.448	8697.45					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
10	1150.1975	8691.779	-0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	30354.282	2.5	21662.504	3.5
9	1150.3480	8690.640	0.001		1150.3480	0.0000	77		Ar II	195031.2028	2.5	186340.5616	1.5
2	1150.628	8688.53					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	1151.1252	8684.774	-0.010				Bu çalışma	nl nc	Ar I	124051.630	2	115366.866	1
278	1151.2157	8684.092	0.004				Bu çalışma	nl nc	La I	9919.826	4.5	18603.922	3.5
5	1151.364	8682.97					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
78	1151.8023	8679.669	0.004	B			Bu çalışma	nl nc	La I	31119.020	2.5	22439.347	1.5
5	1151.833	8679.44		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1151.885	8679.05					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1151.914	8678.83					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
8	1151.9377	8678.649	0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	36298.200	4.5	27619.548	4.5
2	1151.980	8678.33					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1152.490	8674.49					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1152.549	8674.05					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1152.643	8673.34					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
4	1152.716	8672.79					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
6	1152.8297	8671.934	-0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	28754.915	2.5	20082.982	1.5
3	1152.946	8671.06					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1153.108	8669.84					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1153.351	8668.01					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
10	1153.557	8666.47		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
11	1153.5749	8666.332	0.017	B			Bu çalışma	nl nc	Ar II	210655.8214	6.5	219322.170	5.5
18	1153.970	8663.37					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1154.120	8662.24					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
74	1154.3577	8660.455	0.000				Bu çalışma	nl nc	La I	12787.399	2.5	21447.854	3.5
12	1154.5002	8659.386	-0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	28742.365	1.5	20082.982	1.5
7	1154.690	8657.96					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1154.919	8656.25					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	1155.012	8655.55					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
7	1155.071	8655.11		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
9	1155.086	8654.99		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1155.154	8654.48					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1155.394	8652.69					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
15	1155.5491	8651.526	0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	16991.470	0.5	25643.001	1.5
18	1155.8610	8649.190	-0.003	B	1155.8627	0.0017	77		Ar II	191974.5800	1.5	200623.7672	0.5
7	1155.889	8648.98		B			Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
13	1156.282	8646.04					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1156.322	8645.74					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
13	1156.687	8643.01					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
2	1156.811	8642.09					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	1156.8662	8641.676	0.002				Bu çalışma	nl nc	La I	32108.512	3.5	23466.834	4.5
3	1157.1089	8639.863	0.004				Bu çalışma	nl nc	La I	34590.190	0.5	25950.323	1.5
19	1157.704	8635.42					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
8	1157.812	8634.12		B			Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
9	1157.826	8634.51		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum		Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
3	1157.8651	8634.221	0.004				Bu çalışma	nl	nc	Ar I	121654.580	2	113020.355	3
31	1157.9111	8633.878	0.001		1157.9109	-0.0002	81			Ar I	121654.234	3	113020.355	3
590	1158.0391	8632.923	0.002		1158.0387	-0.0004	81			Ar I	121653.280	4	113020.355	3
3	1158.388	8630.32					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
3	1159.0397	8625.471	-0.013				Bu çalışma	nl	nc	La I	16991.470	0.5	25616.928	0.5
3	1159.247	8623.93					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
8	1159.5417	8621.736	0.000				Bu çalışma	nl	nc	La I	31924.993	3.5	23303.257	3.5
50	1159.6802	8620.707	-0.004				Bu çalışma	nl	nc	La I	31923.960	4.5	23303.257	3.5
2	1159.801	8619.81					Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
3	1159.970	8618.55					Bu çalışma			La ya da Ar				
26	1160.262	8616.38					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
5	1160.357	8615.68					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
300	1160.6513	8613.494	0.001				Bu çalışma	nl	nc	La I	9183.806	2.5	17797.301	1.5
7	1160.900	8611.65					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
16	1161.0979	8610.181	-0.004		1161.0982	0.0003	77			Ar II	208592.2016	1.5	199982.0244	1.5
20	1161.491	8607.27		B			Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
16	1161.5036	8607.173	0.010	B			Bu çalışma	nl	nc	La I	30055.037	3.5	21447.854	3.5
17	1161.560	8606.76					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
26	1161.574	8606.65					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
5	1162.057	8603.07					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
3	1162.338	8601.00					Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
540	1162.4313	8600.304	0.006				Bu çalışma	nl	nc	La I	7679.945	2.5	16280.255	1.5
6	1163.155	8594.96					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
4	1163.356	8593.47		B			Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
6	1163.376	8593.32		B			Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
2	1163.543	8592.09					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
4	1163.820	8590.04					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
4	1163.971	8588.93					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
2	1164.0420	8588.404	0.007				Bu çalışma	nl	nc	Ar II	196633.1005	2.5	205221.512	1.5
3	1164.177	8587.41					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
9	1164.5862	8584.391	-0.004		1164.5865	0.0003	81		Ar I	106237.5518	2	114821.939	3
22	1164.8300	8582.596	0.001	B	1164.8296	-0.0005	77		Ar II	150147.7021	2.5	158730.300	2.5
15	1164.8393	8582.525	-0.001	B	1164.8396	0.0003	77		Ar II	199525.2465	1.5	190942.722	0.5
2	1164.9520	8581.695	0.004				Bu çalışma	nl nc	Ar II	196633.1005	2.5	205214.7991	3.5
9	1165.293	8579.18					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1165.7422	8575.878	0.007				Bu çalışma	nl nc	La I	32749.715	1.5	24173.830	1.5
14540	1166.8713	8567.580	0.003		1166.8710	-0.0003	76		Ar I	106237.5518	2	114805.135	2
3	1167.538	8562.69					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
11	1167.7900	8560.840	0.002		1167.7896	-0.0004	77		Ar II	195031.2028	2.5	186470.3603	1.5
550	1167.8495	8560.404	-0.010	B	1167.8517	0.0022	81		Ar I	122708.126	2	114147.732	1
10	1167.920	8559.89		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
310	1168.7610	8553.727	0.005		1168.7602	-0.0008	81		Ar I	106087.2597	1	114640.992	2
3	1169.4231	8548.885	0.007	B			Bu çalışma	nl nc	La I	30988.239	1.5	22439.347	1.5
12	1169.448	8548.70		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1169.6335	8547.347	0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	31351.600	2.5	22804.250	2.5
12	1170.1342	8543.689	0.002				Bu çalışma	nl nc	La I	17099.310	2.5	25643.001	1.5
15	1170.4256	8541.562	-0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	12430.605	1.5	20972.166	2.5
290	1170.8205	8538.681	-0.003	B	1170.8230	0.0025	81		Ar I	122686.410	2	114147.732	1
130	1170.8484	8538.478	0.012	B			Bu çalışma	nl nc	La I	13747.276	4.5	22285.766	4.5
2	1171.286	8535.29					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1171.353	8534.80					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1171.437	8534.19					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6860	1171.9493	8530.457	0.005	B	1171.9488	-0.0005	76		Ar I	105617.2700	2	114147.732	1
22	1172.0450	8529.760	0.004	B	1172.0446	-0.0004	77		Ar II	196119.1021	3.5	187589.3383	2.5
3	1172.3672	8527.416	-0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	21037.296	1.5	29564.709	0.5
3	1172.535	8526.20					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1172.836	8524.01					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
38	1172.9334	8523.300	0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	9044.212	0.5	17567.517	0.5
3085	1173.3233	8520.468	-0.002		1173.3229	-0.0004	81		Ar I	120188.232	1	111667.766	0
4	1173.977	8515.72					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma / \text{cm}^{-1}$	λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}} / \text{cm}^{-1}$	$J_{\text{çift}}$	$E_{\text{tek}} / \text{cm}^{-1}$	J_{tek}
22	1174.4690	8512.160	0.000	1174.4686	-0.0004	77		Ar II	190106.3000	1.5	181594.1404	2.5
9	1174.555	8511.54				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1174.881	8509.17				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
4	1175.213	8506.77				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1175.5493	8504.333	0.007			Bu çalışma	nl nc	La I	33143.602	0.5	24639.262	1.5
13	1175.6092	8503.900	0.005	1175.6085	-0.0007	77		Ar II	190942.7220	0.5	199446.6269	0.5
3	1175.684	8503.36				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1176.023	8500.91				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1176.066	8500.60				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
35	1176.9558	8494.170	-0.001	1176.9561	0.0003	77		Ar II	157673.4134	2.5	149179.2444	3.5
6	1177.2958	8491.717	0.009			Bu çalışma	nl nc	La I	7011.904	2.5	15503.630	2.5
295	1178.0596	8486.212	0.003			Bu çalışma	nl nc	La I	8052.163	3.5	16538.378	3.5
2	1178.349	8484.13				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	1178.4568	8483.351	0.004			Bu çalışma	nl nc	La I	31287.605	3.5	22804.250	2.5
3	1178.9158	8480.049	0.006			Bu çalışma	nl nc	Ar II	155708.1075	0.5	147228.0521	0.5
2	1179.5003	8475.846	-0.008			Bu çalışma	nl nc	Ar I	116659.9934	1	125135.831	1
6	1179.8414	8473.396	0.004			Bu çalışma	nl nc	La I	32348.346	2.5	23874.946	2.5
3	1180.3795	8469.533	0.006			Bu çalışma	nl nc	La I	30908.886	2.5	22439.347	1.5
10	1180.747	8466.90				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	1181.0287	8464.877	0.003			Bu çalışma	nl nc	La I	21037.296	1.5	29502.176	2.5
2	1181.178	8463.81				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
16	1181.2537	8463.265	-0.004			Bu çalışma	nl nc	La I	32872.945	2.5	24409.684	3.5
22	1181.3640	8462.478	0.003			Bu çalışma	nl nc	La I	16991.470	0.5	25453.951	0.5
12	1182.0618	8457.479	-0.002			Bu çalışma	nl nc	La I	29905.331	2.5	21447.854	3.5
8	1182.089	8457.28		B		Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1182.107	8457.15		B		Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
141	1182.7017	8452.903	0.005			Bu çalışma	nl nc	La I	9719.429	1.5	18172.337	1.5
3	1182.795	8452.24				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
78	1183.2997	8448.632	-0.004			Bu çalışma	nl nc	La I	18776.615	2.5	27225.243	1.5
3	1184.441	8440.49				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
3	1184.5615	8439.632	0.002				Bu çalışma	nl nc	La I	33350.009	2.5	24910.375	1.5
43	1184.8575	8437.524	0.007				Bu çalışma	nl nc	La I	9719.429	1.5	18156.960	2.5
2	1186.735	8424.17					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
1306	1187.4186	8419.325	0.006	B			Bu çalışma	nl nc	La I	7679.945	2.5	16099.276	3.5
490	1187.4850	8418.850	0.005	B	1187.4850	0.0000	77		Ar II	192333.4986	0.5	183914.6440	0.5
26	1187.7941	8416.664	0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	28754.915	2.5	20338.250	2.5
340	1187.9989	8415.213	0.001	B	1187.9993	0.0004	81		Ar I	121165.367	3	112750.153	4
27	1188.020	8415.06		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1188.250	8413.43					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2190	1188.4486	8412.028	0.007		1188.4475	-0.0011	81		Ar I	120230.063	2	111818.028	1
682	1188.6295	8410.748	0.006				Bu çalışma	nl nc	La I	8446.039	1.5	16856.793	2.5
11	1188.7316	8410.026	-0.001				Bu çalışma	nl nc	Ar I	123385.044	0	114975.019	1
3	1189.5675	8404.116	-0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	28742.365	1.5	20338.250	2.5
430	1189.6634	8403.439	0.001	B	1189.6632	-0.0002	81		Ar I	106237.5518	2	114640.992	2
4	1189.711	8403.10		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1191.4283	8390.990	0.013				Bu çalışma	nl nc	Ar I	118459.5975	1	126850.6	1
2	1191.9692	8387.183	0.003				Bu çalışma	nl nc	Ar I	116942.7542	3	125329.94	2
4	1192.442	8383.86					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
11	1192.638	8382.48					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1192.852	8380.98					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1193.9677	8373.144	0.000				Bu çalışma	nl nc	La I	33753.424	4.5	25380.280	3.5
6245	1194.3283	8370.616	-0.013		1194.3276	-0.0007	81		Ar I	120188.631	2	111818.028	1
2800	1194.3869	8370.205	-0.001		1194.3865	-0.0004	81		Ar I	120188.232	1	111818.028	1
4	1194.696	8368.04					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1194.8728	8366.801	-0.016				Bu çalışma	nl nc	Ar I	123171.920	1	114805.135	2
2	1195.027	8365.72					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1195.1204	8365.068	0.006				Bu çalışma	nl nc	La I	32872.945	2.5	24507.871	2.5
5	1195.6624	8361.276	0.009				Bu çalışma	nl nc	La I	36400.733	4.5	28039.448	3.5
4	1196.379	8356.27					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1196.4679	8355.647	0.005				Bu çalışma	nl nc	Ar II	191169.5946	1.5	199525.2465	1.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
5	1197.227	8350.35					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
14	1197.601	8347.74					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1198.054	8344.59					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1198.285	8342.98					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1198.505	8341.45					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1198.9612	8338.271	-0.004				Bu çalışma	nl nc	La I	21969.299	2.5	13631.032	2.5
4	1201.823	8318.42					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
13	1202.3499	8314.771	-0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	31119.020	2.5	22804.250	2.5
4815	1202.6653	8312.590	0.004	B	1202.6648	-0.0005	81		Ar I	107054.2720	0	115366.866	1
56	1202.7040	8312.320	0.004	B	1202.7042	0.0002	80		Ar II	195128.3735	4.5	186816.0496	3.5
3	1202.9972	8310.297	-0.012				Bu çalışma	nl nc	Ar I	123171.920	1	114861.635	0
2	1203.149	8309.25					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1203.6103	8306.064	0.008				Bu çalışma	nl nc	Ar II	159393.3850	1.5	151087.3128	2.5
2	1203.963	8303.63					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
3	1204.165	8302.24					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1204.2954	8301.338	0.005		1204.2942	-0.0012	80		Ar II	190511.2674	2.5	198812.6100	2.5
130	1204.4219	8300.467	-0.002				Bu çalışma	nl nc	La II	7473.347	4	15773.812	3
2	1204.785	8297.97					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
4	1205.492	8293.10					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1205.673	8291.85					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
16	1205.9040	8290.260	0.009		1205.9035	-0.0005	77		Ar II	192333.4986	0.5	200623.7672	0.5
5	1205.943	8290.00					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
43	1206.0680	8289.140	0.007		1206.0668	-0.0012	77		Ar II	190511.2674	2.5	182222.1209	1.5
62	1206.6300	8285.280	0.012		1206.6279	-0.0021	77		Ar II	190507.4128	1.5	182222.1209	1.5
13	1207.0190	8282.604	0.002				Bu çalışma	nl nc	La I	29045.820	3.5	20763.214	3.5
4	1207.8311	8277.038	-0.006				Bu çalışma	nl nc	Ar II	191169.5946	1.5	199446.6269	0.5
5	1208.658	8271.38					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1208.8490	8270.068	0.004				Bu çalışma	nl nc	Ar II	196315.5916	2.5	204585.664	2.5
440	1208.9560	8269.330	0.006		1208.9561	0.0001	77		Ar II	204134.0653	2.5	195864.7296	2.5
41	1209.2670	8267.210	0.005		1209.2667	-0.0003	77		Ar II	204134.0653	2.5	195866.8503	1.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}	λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum		Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
4	1210.2675	8260.375	-0.005			Bu çalışma	nl	nc	Ar II	200234.95	2.5	191974.58	1.5
3	1210.643	8257.81				Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
50	1210.9895	8255.450	0.002			Bu çalışma	nl	nc	La I	31059.702	3.5	22804.250	2.5
18840	1211.2330	8253.791	0.004	1211.2326	-0.0004	76			Ar I	105462.7596	3	113716.555	3
3	1211.7506	8250.265	-0.003			Bu çalışma	nl	nc	Ar I	121270.617	2	113020.355	3
7	1211.933	8249.02				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
317	1212.2440	8246.910	0.000	1212.2436	-0.0004	77			Ar II	204113.7598	1.5	195866.8503	1.5
4	1213.062	8241.34				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
43000	1213.9742	8235.153	0.004	1213.9738	-0.0004	76			Ar I	107131.7086	1	115366.866	1
110	1214.9393	8228.612	0.004	1214.9386	-0.0007	81			Ar I	121654.580	2	113425.964	2
14	1214.9901	8228.268	0.002	1214.9898	-0.0003	81			Ar I	121654.234	3	113425.964	2
1450	1215.1368	8227.274	0.000	1215.1363	-0.0005	81			Ar I	121653.238	3	113425.964	2
4	1215.959	8221.71				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
165	1216.4600	8218.330	0.004	1216.4588	-0.0012	77			Ar II	191169.5946	1.5	182951.2609	0.5
9	1217.674	8210.13				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
278	1217.7643	8209.523	0.000			Bu çalışma	nl	nc	La I	13238.331	3.5	21447.854	3.5
3	1218.014	8207.84				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
2	1218.066	8207.49				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
12	1218.4373	8204.988	0.006	1218.4364	-0.0009	77			Ar II	155708.1075	0.5	147503.1134	1.5
2	1218.548	8204.24				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
4	1218.849	8202.22				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
4	1219.274	8199.36				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
3	1219.466	8198.07				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
3	1219.645	8196.87				Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
140	1219.7659	8196.051	0.005			Bu çalışma	nl	nc	La I	9960.904	3.5	18156.960	2.5
16	1219.9342	8194.921	0.002			Bu çalışma	nl	nc	La I	17023.342	3.5	25218.265	2.5
11	1220.5185	8190.997	0.005			Bu çalışma	nl	nc	La I	8052.163	3.5	16243.165	4.5
36	1221.2996	8185.759	0.002	1221.2997	0.0001	81			Ar I	121654.234	3	113468.473	2
1100	1221.4264	8184.909	0.009			Bu çalışma	nl	nc	La I	7011.904	2.5	15196.822	2.5
10	1221.823	8182.25				Bu çalışma	nl		La ya da Ar				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
4	1222.0520	8180.720	0.009				Bu çalışma	nl nc	La I	36687.140	2.5	28506.411	2.5
3	1223.139	8173.45					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1223.238	8172.79					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
310	1223.4378	8171.453	-0.003		1223.4383	0.0005	81		Ar I	121191.805	2	113020.355	3
2	1226.534	8150.83					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
3	1226.5661	8150.612	-0.001				Bu çalışma	nl nc	Ar I	116999.3259	2	125149.937	3
26	1226.693	8149.77					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
47	1227.3113	8145.663	0.000				Bu çalışma	nl nc	La I	13238.331	3.5	21383.994	4.5
36	1227.4105	8145.005	0.007		1227.4106	0.0001	81		Ar I	121165.367	3	113020.355	3
2	1227.555	8144.04					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
8	1228.123	8140.28		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	1228.141	8140.16		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1229.366	8132.05					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1229.522	8131.02					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
2	1229.814	8129.09					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1230.644	8123.60					Bu çalışma		La ya da Ar				
13	1230.7261	8123.062	0.006		1230.7252	-0.0009	77		Ar II	155351.1206	1.5	147228.0521	0.5
4	1230.784	8122.68					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1231.188	8120.02					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
14	1231.3479	8118.959	-0.004				Bu çalışma	nl nc	La I	17099.310	2.5	25218.265	2.5
13	1231.449	8118.29					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
8	1231.806	8115.94					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
3	1232.008	8114.61					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1232.4648	8111.602	-0.005				Bu çalışma	nl nc	Ar I	116659.9934	1	124771.59	2
11	1233.5242	8104.636	0.000				Bu çalışma	nl nc	La I	30908.886	2.5	22804.250	2.5
9115	1234.3397	8099.281	0.004		1234.3393	-0.0004	76		Ar I	105617.2700	2	113716.555	3
910	1235.5825	8091.135	0.004		1235.5817	-0.0008	81		Ar I	120230.063	2	112138.924	2
7530	1235.6293	8090.828	-0.002		1235.6291	-0.0002	81		Ar I	120229.750	3	112138.924	2
16	1237.4840	8078.700	0.002		1237.4840	0.0000	77		Ar II	191169.5946	1.5	183090.8927	1.5
5	1237.6117	8077.87	0.004				Bu çalışma	nl nc	La I	9719.429	1.5	17797.301	1.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum		Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
6	1237.7203	8077.159	0.007				Bu çalışma	nl	nc	Ar I	107289.7001	2	115366.866	1
160	1237.7685	8076.845	-0.014		1237.7710	0.0025	81			Ar I	122717.823	3	114640.992	2
35	1239.2560	8067.150	-0.016	B			Bu çalışma	nl	nc	Ar I	114640.992	2	122708.126	2
19	1239.2730	8067.040	0.003	B	1239.2726	-0.0004	77			Ar II	194883.0921	3.5	186816.0496	3.5
14	1239.2943	8066.901	0.009	B			Bu çalışma	nl	nc	Ar I	122707.902	3	114640.992	2
97	1239.4373	8065.970	0.004				Bu çalışma	nl	nc	La I	17023.342	3.5	25089.316	4.5
90930	1240.2832	8060.469	0.003		1240.2827	-0.0005	76			Ar I	106087.260	1	114147.732	1
16	1240.7080	8057.710	-0.003		1240.7091	0.0011	77			Ar II	191974.5800	1.5	200032.2867	1.5
4	1241.099	8055.17					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
30	1241.366	8053.44					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
7	1241.692	8051.33					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
2880	1241.9392	8049.721	-0.014		1241.9387	-0.0005	81			Ar I	120188.631	2	112138.924	2
250	1242.0030	8049.308	0.000		1242.0024	-0.0006	81			Ar I	120188.232	1	112138.924	2
102	1242.3426	8047.107	0.006				Bu çalışma	nl	nc	La I	8052.163	3.5	16099.276	3.5
5	1243.2250	8041.396	0.000				Bu çalışma	nl	nc	La I	39792.88	2.5	31751.484	1.5
54885	1243.9328	8036.820	0.005		1243.9321	-0.0007	76			Ar I	104102.0990	1	112138.924	2
48330	1245.6117	8025.988	0.002		1245.6120	0.0003	76			Ar I	105617.2700	2	113643.260	1
51	1246.2343	8021.978	0.000				Bu çalışma	nl	nc	La I	16617.284	0.5	24639.262	1.5
426	1246.5847	8019.723	0.007				Bu çalışma	nl	nc	La I	7011.904	2.5	15031.634	1.5
5	1246.825	8018.18					Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
1125	1247.6147	8013.102	0.007				Bu çalışma	nl	nc	La I	7490.521	1.5	15503.630	2.5
6	1247.8932	8011.314	0.006				Bu çalışma	nl	nc	Ar I	121654.580	2	113643.260	1
26	1248.4742	8007.586	0.006				Bu çalışma	nl	nc	La I	7011.904	2.5	15019.496	3.5
46080	1248.7667	8005.710	0.003		1248.7663	-0.0004	76			Ar I	105462.7596	3	113468.473	2
12	1249.2039	8002.908	0.012				Bu çalışma	nl	nc	Ar I	212932.36	1.5	204929.44	0.5
17	1250.5849	7994.071	-0.009				Bu çalışma	nl	nc	Ar I	122635.054	2	114640.992	2
10	1250.9010	7992.050	0.003		1250.9009	-0.0001	77			Ar II	194883.0921	3.5	186891.0393	2.5
458	1251.1695	7990.336	0.002				Bu çalışma	nl	nc	La I	9919.826	4.5	17910.164	3.5
210	1251.4613	7988.473	0.001				Bu çalışma	nl	nc	La I	7231.416	0.5	15219.890	0.5
3	1251.6744	7987.113	0.000				Bu çalışma	nl	nc	La I	32749.715	1.5	24762.602	1.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
71	1251.8131	7986.228	0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	9960.904	3.5	17947.135	2.5
4	1252.1089	7984.341	0.007	B			Bu çalışma	nl nc	La I	31287.605	3.5	23303.257	3.5
14	1252.1545	7984.050	-0.004	B			Bu çalışma	nl nc	La I	17099.310	2.5	25083.356	3.5
78	1253.4476	7975.814	0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	12787.399	2.5	20763.214	3.5
3	1253.719	7974.09					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1253.927	7972.76					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
7	1254.5327	7968.915	0.001		1254.5326	-0.0001	77		Ar II	191169.5946	1.5	199138.5106	1.5
51	1254.5740	7968.653	-0.008		1254.5741	0.0001	81		Ar I	122609.637	1	114640.992	2
3	1254.652	7968.16					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1255.3550	7963.695	0.003				Bu çalışma	nl nc	Ar II	196621.9658	3.5	204585.664	2.5
660	1255.4331	7963.200	0.004		1255.4326	-0.0005	81		Ar I	105462.7596	3	113425.964	2
3	1255.788	7960.95					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
29	1255.9015	7960.230	0.003				Bu çalışma	nl nc	Ar I	122601.225	1	114640.992	2
19	1257.6348	7949.259	0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	9960.904	3.5	17910.164	3.5
40	1257.775	7948.37					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1258.4851	7943.888	0.001				Bu çalışma	nl nc	Ar I	118469.0508	2	126412.94	1
36	1259.3127	7938.667	-0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	32348.346	2.5	24409.684	3.5
3	1259.4155	7938.019	0.006				Bu çalışma	nl nc	Ar I	121654.580	2	113716.555	3
32	1259.4699	7937.676	0.003		1259.4695	-0.0004	81		Ar I	121654.234	3	113716.555	3
550	1259.6215	7936.721	0.004		1259.6206	-0.0009	81		Ar I	121653.280	4	113716.555	3
4	1259.969	7934.53					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1261.7713	7923.199	0.000				Bu çalışma	nl nc	La I	30169.834	1.5	22246.635	0.5
168	1262.0380	7921.520	0.012		1262.0369	-0.0012	77		Ar II	191012.4246	1.5	183090.8927	1.5
1270	1262.1622	7920.745	0.002		1262.1619	-0.0003	81		Ar I	107054.2720	0	114975.019	1
7	1262.304	7919.86					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1262.398	7919.27					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1262.496	7918.65					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
13	1263.0425	7915.224	0.004	B			Bu çalışma	nl nc	La I	13747.276	4.5	21662.504	3.5
4	1263.0902	7914.925	0.010	B			Bu çalışma	nl nc	La I	30354.282	2.5	22439.347	1.5
5	1263.4452	7912.701	-0.013				Bu çalışma	nl nc	Ar I	122717.823	3	114805.135	2

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
1010	1263.8504	7910.165	0.015		1263.8480	-0.0024	81		Ar I	106237.5518	2	114147.732	1
112	1264.2532	7907.644	0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	12430.605	1.5	20338.250	2.5
90	1264.8097	7904.165	0.002				Bu çalışma	nl nc	La I	16735.095	1.5	24639.262	1.5
27	1264.9950	7903.005	-0.014	B			Bu çalışma	nl nc	Ar I	114805.1350	2	122708.126	2
200	1265.0344	7902.761	0.006	B	1265.0371	0.0027	81		Ar I	122707.902	3	114805.135	2
7	1265.2975	7901.118	0.011				Bu çalışma	nl nc	La I	35570.492	3.5	27669.363	2.5
90	1266.1307	7895.918	-0.004		1266.1332	0.0025	81		Ar I	122717.853	4	114821.939	3
14	1266.2990	7894.869	0.012				Bu çalışma	nl nc	Ar I	116659.9934	1	124554.874	1
5	1267.2971	7888.651	0.000				Bu çalışma	nl nc	La I	32872.945	2.5	24984.294	2.5
18	1267.7292	7885.962	0.001				Bu çalışma	nl nc	Ar I	122707.902	3	114821.939	3
282	1268.0160	7884.180	-0.001		1268.0160	0.0000	77		Ar II	190106.3000	1.5	182222.1209	1.5
12	1268.455	7881.45		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
62	1268.4824	7881.280	-0.005	B	1268.4841	0.0017	81		Ar I	122686.410	2	114805.135	2
9	1268.5377	7880.936	-0.006				Bu çalışma	nl nc	Ar I	122686.065	1	114805.135	2
30	1269.6944	7873.757	0.001		1269.6962	0.0018	81	nc	Ar I	122695.697	4	114821.939	3
69640	1270.2286	7870.445	0.004		1270.2281	-0.0005	76		Ar I	107496.4166	1	115366.866	1
8	1270.8332	7866.701	0.001				Bu çalışma	nl nc	Ar I	116659.9934	1	124526.695	0
4	1271.227	7864.26					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1271.2580	7864.070	-0.002		1271.2620	0.0040	78		Ar II	203730.9181	1.5	195866.8503	1.5
4	1272.293	7857.68					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
104	1273.2412	7851.823	0.006	B	1273.2402	-0.0010	77		Ar II	190942.7220	0.5	183090.8927	1.5
5630	1273.3425	7851.199	0.004	B	1273.3418	-0.0007	76		Ar I	105617.2700	2	113468.473	2
13	1273.8483	7848.081	0.007				Bu çalışma	nl nc	La I	9719.429	1.5	17567.517	0.5
2	1274.3186	7845.185	0.020				Bu çalışma	nl nc	Ar I	126496.6	2	118651.3950	1
8	1274.4049	7844.653	0.000				Bu çalışma	nl nc	Ar I	121270.617	2	113425.964	2
6400	1274.6232	7843.310	0.000		1274.6232	0.0000	76		Ar I	107131.7086	1	114975.019	1
3	1275.0830	7840.482	-0.007				Bu çalışma	nl nc	La I	32348.346	2.5	24507.871	2.5
5	1275.2696	7839.334	0.006				Bu çalışma	nl nc	La I	32749.715	1.5	24910.375	1.5
3	1275.386	7838.62					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
3	1275.7603	7836.319	0.007				Bu çalışma	nl nc	La I	34968.760	3.5	27132.434	3.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
140	1276.1038	7834.210	0.006				Bu çalışma	nl nc	La I	8446.039	1.5	16280.255	1.5
8	1276.5004	7831.776	0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	21943.811	3.5	29775.588	2.5
130	1276.5950	7831.195	0.002		1276.5954	0.0004	81		Ar I	121257.161	1	113425.964	2
11	1276.8011	7829.931	-0.012				Bu çalışma	nl nc	Ar I	122635.054	2	114805.135	2
5	1276.9791	7828.840	-0.004				Bu çalışma	nl nc	Ar I	116942.7542	3	124771.59	2
330	1277.2844	7826.969	0.009	B	1277.2838	-0.0006	81		Ar I	121470.238	0	113643.260	1
4	1277.367	7826.46		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1277.6985	7824.423	0.007				Bu çalışma	nl nc	Ar I	122686.065	1	114861.635	0
40	1277.8208	7823.683	0.002				Bu çalışma	nl nc	La I	7679.945	2.5	15503.630	2.5
315	1278.2780	7820.890	-0.002		1278.2776	-0.0004	77		Ar II	189415.0280	3.5	181594.1404	2.5
3	1279.058	7816.12					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
116	1279.1553	7815.521	0.007		1279.1550	-0.0003	81		Ar I	122790.547	0	114975.019	1
21	1279.4509	7813.715	-0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	31688.660	1.5	23874.946	2.5
170	1279.5478	7813.123	-0.008		1279.5474	-0.0004	81		Ar I	122635.054	2	114821.939	3
35	1279.8849	7811.066	-0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	17099.310	2.5	24910.375	1.5
25600	1280.2742	7808.690	0.004		1280.2739	-0.0003	76		Ar I	105617.2700	2	113425.964	2
26	1280.9606	7804.506	-0.004				Bu çalışma	nl nc	Ar I	122609.637	1	114805.135	2
152	1281.3489	7802.141	0.003		1281.3495	0.0006	81		Ar I	121270.617	2	113468.473	2
130	1281.6654	7800.214	0.004				Bu çalışma	nl nc	La I	7231.416	0.5	15031.634	1.5
44	1282.3442	7796.085	0.005		1282.3442	0.0000	79		Ar I	122601.225	1	114805.135	2
11	1283.4420	7789.417	0.011				Bu çalışma	nl nc	La I	25414.630	2.5	33204.058	1.5
3	1283.5244	7788.917	-0.023				Bu çalışma	nl nc	Ar I	116999.3259	2	124788.22	1
32	1283.5630	7788.683	0.005				Bu çalışma	nl nc	Ar I	121257.161	1	113468.473	2
3	1284.5397	7782.761	0.007				Bu çalışma	nl nc	Ar I	120188.232	1	127971.0	1
114	1284.7060	7781.760	-0.005		1284.7057	-0.0003	80		Ar II	190733.0156	0.5	182951.2609	0.5
5	1285.504	7776.92					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1286.174	7772.87		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
7	1286.2202	7772.592	0.005	B			Bu çalışma	nl nc	La I	30019.232	0.5	22246.635	0.5
3	1286.772	7769.26					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
8	1287.1907	7766.732	0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	12430.605	1.5	20197.342	0.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
60	1287.3393	7765.835	0.006		1287.3383	-0.0010	81		Ar I	121191.805	2	113425.964	2
7	1288.8988	7756.439	0.006				Bu çalışma	nl nc	La I	31059.702	3.5	23303.257	3.5
6	1288.975	7755.98					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
57	1290.3015	7748.007	-0.005		1290.3012	-0.0003	81		Ar I	122609.637	1	114861.635	0
14	1292.6655	7733.838	-0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	13238.331	3.5	20972.166	2.5
23	1293.229	7730.47		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6700	1293.3197	7729.926	0.000	B	1293.3195	-0.0002	76		Ar I	107131.7086	1	114861.635	0
108	1293.4131	7729.367	0.002	B			Bu çalışma	nl nc	La I	7490.521	1.5	15219.890	0.5
7	1293.725	7727.50					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
47	1294.4250	7723.325	0.007	B			Bu çalışma	nl nc	Ar I	121191.805	2	113468.473	2
51400	1295.6662	7715.926	0.003	B	1295.6659	-0.0003	76		Ar I	104102.0990	1	111818.028	1
11	1296.003	7713.92		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
7	1296.158	7713.00					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
4	1296.382	7711.67					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
9	1296.4278	7711.394	-0.003				Bu çalışma	nl nc	Ar I	122686.410	2	114975.019	1
4	1296.4854	7711.051	-0.005				Bu çalışma	nl nc	Ar I	122686.065	1	114975.019	1
13	1297.4600	7705.260	0.004		1297.4590	-0.0010	77		Ar II	191974.5800	1.5	199679.8440	2.5
2	1297.850	7702.94					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
15	1298.2676	7700.466	0.004				Bu çalışma	nl nc	La I	17140.940	4.5	24841.410	5.5
51	1298.853	7696.99		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
200	1298.8704	7696.892	0.002	B	1298.8710	0.0006	81		Ar I	121165.367	3	113468.473	2
2	1300.097	7689.63					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
30310	1300.8266	7685.317	0.002		1300.8264	-0.0002	76		Ar I	107289.7001	2	114975.019	1
3	1301.449	7681.64					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1302.725	7674.12					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
710	1302.8435	7673.420	0.006	B	1302.8424	-0.0011	81		Ar I	107131.7086	1	114805.135	2
5	1302.948	7672.80		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
13	1303.9185	7667.094	0.008				Bu çalışma	nl nc	Ar I	116942.7542	3	124609.856	4
130	1305.1182	7660.046	-0.011	B	1305.1187	0.0005	81		Ar I	122635.054	2	114975.019	1
7	1305.161	7659.80		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
2	1305.407	7658.35					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
2	1305.825	7655.90					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
2	1306.037	7654.66					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
177	1306.4259	7652.378	-0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	12430.605	1.5	20082.982	1.5
4	1306.8048	7650.160	-0.001				Bu çalışma	nl nc	Ar I	116999.3259	2	124649.485	3
3	1306.925	7649.46					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
9	1307.0850	7648.520	0.006		1307.0839	-0.0011	77		Ar II	192333.4986	0.5	199982.0244	1.5
6	1307.169	7648.03					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1307.253	7647.54					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
11	1308.0281	7643.005	0.010		1308.0263	-0.0018	77		Ar II	191169.5946	1.5	198812.6100	2.5
10	1308.180	7642.12					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1308.592	7639.71					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
403	1309.1054	7636.715	0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	13747.276	4.5	21383.994	4.5
2	1309.4643	7634.622	-0.004				Bu çalışma	nl nc	Ar I	122609.637	1	114975.019	1
19	1310.5450	7628.326	0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	29874.962	1.5	22246.635	0.5
47	1310.7120	7627.355	0.002		1310.7118	-0.0002	81		Ar I	121270.617	2	113643.260	1
44	1310.9101	7626.202	0.004		1310.9094	-0.0007	81		Ar I	122601.225	1	114975.019	1
26	1312.343	7617.88					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
110	1313.0282	7613.900	0.001	B	1313.0286	0.0004	81		Ar I	121257.161	1	113643.260	1
10	1313.063	7613.70		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
8	1313.462	7611.38					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
12	1315.076	7602.04					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
80	1315.3840	7600.263	0.000		1315.3842	0.0002	81		Ar I	121068.736	1	113468.473	2
3	1315.752	7598.14					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
12	1317.154	7590.05					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
78	1317.4453	7588.372	0.000				Bu çalışma	nl nc	La I	12430.605	1.5	20018.977	1.5
4	1318.9209	7579.882	0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	30019.232	0.5	22439.347	1.5
3	1319.019	7579.32					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
4	1320.978	7568.08					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
17820	1321.3995	7565.665	0.002		1321.3990	-0.0005	76		Ar I	104102.0990	1	111667.766	0

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma / \text{cm}^{-1}$		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}} / \text{cm}^{-1}$	$J_{\text{çift}}$	$E_{\text{tek}} / \text{cm}^{-1}$	J_{tek}
390	1321.7666	7563.563	-0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	18310.940	5.5	25874.500	5.5
28	1322.6214	7558.675	0.003	B			Bu çalışma	nl nc	La I	18315.822	4.5	25874.500	5.5
28	1322.676	7558.37		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
15770	1322.8105	7557.595	0.000		1322.8106	0.0001	80		Ar I	105462.7596	3	113020.355	3
17610	1323.0900	7555.998	0.002		1323.0900	0.0000	76		Ar I	106087.2597	1	113643.260	1
160	1323.4295	7554.060	0.002		1323.4295	0.0000	81		Ar I	121270.617	2	113716.555	3
320	1323.9918	7550.852	-0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	12787.399	2.5	20338.250	2.5
8	1324.1346	7550.037	-0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	30354.282	2.5	22804.250	2.5
125	1324.3964	7548.545	0.000		1324.3967	0.0003	81		Ar I	121191.805	2	113643.260	1
11	1325.7025	7541.108	0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	7490.521	1.5	15031.634	1.5
92	1325.9060	7539.950	0.002				Bu çalışma	nl nc	La I	17099.310	2.5	24639.262	1.5
3	1326.2039	7538.257	-0.017				Bu çalışma	nl nc	Ar I	118407.4303	1	125945.67	2
59800	1327.2637	7532.238	0.001		1327.2640	0.0003	76		Ar I	107289.7001	2	114821.939	3
403	1328.5611	7524.882	0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	13238.331	3.5	20763.214	3.5
4	1329.078	7521.96					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
12	1329.396	7520.16					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
1470	1330.2314	7515.433	0.002		1330.2312	-0.0002	81		Ar I	107289.7001	2	114805.135	2
60620	1331.3213	7509.281	0.002		1331.3210	-0.0003	76		Ar I	107131.7086	1	114640.992	2
225	1331.7532	7506.846	0.002		1331.7527	-0.0005	81		Ar I	121654.580	2	114147.732	1
7	1332.175	7504.47					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
4	1332.731	7501.34					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2905	1333.0121	7499.756	0.005		1333.0114	-0.0007	81		Ar I	120249.914	4	112750.153	4
14	1333.4341	7497.383	-0.013				Bu çalışma	nl nc	La I	21969.299	2.5	29466.669	3.5
7	1334.473	7491.54					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
17	1335.7247	7484.526	0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	17023.342	3.5	24507.871	2.5
65	1336.4790	7480.300	0.004		1336.4785	-0.0005	80		Ar II	203345.0332	1.5	195864.7296	2.5
205	1336.6058	7479.592	0.005		1336.6046	-0.0012	81		Ar I	120229.750	3	112750.153	4
88475	1336.7115	7479.000	0.003		1336.7111	-0.0004	80		Ar I	106237.5518	2	113716.555	3
8190	1336.7830	7478.600	0.002		1336.7827	-0.0003	81		Ar I	107496.4166	1	114975.019	1
340	1336.9807	7477.494	0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	7231.416	0.5	14708.913	1.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}	λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
45	1337.3838	7475.241	0.009	1337.3823	-0.0015	81		Ar I	121191.805	2	113716.555	3
6	1338.699	7467.90				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
11	1339.0419	7465.984	0.000			Bu çalışma	nl nc	La I	29905.331	2.5	22439.347	1.5
4	1339.558	7463.11				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	1339.703	7462.30				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
7	1340.128	7459.93				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
23755	1340.6593	7456.977	0.004	1340.6587	-0.0006	81		Ar I	120207.134	5	112750.153	4
163	1341.6516	7451.462	0.005			Bu çalışma	nl nc	La I	8052.163	3.5	15503.630	2.5
4	1342.029	7449.37				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
35	1342.1285	7448.814	-0.002	1342.1302	0.0017	81		Ar I	121165.367	3	113716.555	3
188	1342.4940	7446.790	0.005	1342.4925	-0.0015	77		Ar II	189040.9351	1.5	181594.1404	2.5
19	1343.9468	7438.736	-0.001			Bu çalışma	nl nc	La I	16735.095	1.5	24173.830	1.5
579	1345.0340	7432.730	-0.002	1345.0333	-0.0007	77		Ar II	189654.8487	2.5	182222.1209	1.5
10	1346.1720	7426.742	0.019			Bu çalışma	nl nc	La I	35096.124	3.5	27669.363	2.5
11	1346.3473	7425.473	0.003			Bu çalışma	nl nc	Ar I	121068.736	1	113643.260	1
56	1346.6738	7423.673	0.008			Bu çalışma	nl nc	Ar I	122790.547	0	115366.866	1
461	1347.2730	7420.370	0.005	1347.2724	-0.0006	77		Ar II	190511.2674	2.5	183090.8927	1.5
11	1347.557	7418.81				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
73	1347.9730	7416.520	0.000	1347.9726	-0.0004	77		Ar II	190507.4128	1.5	183090.8927	1.5
6	1349.421	7408.56				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
12390	1349.9408	7405.707	0.001	1349.9410	0.0002	76		Ar I	106237.5518	2	113643.260	1
113050	1350.4196	7403.081	0.004	1350.4191	-0.0005	76		Ar I	105617.2700	2	113020.355	3
19	1353.463	7386.43				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2570	1354.4203	7381.214	-0.001	1354.4202	-0.0001	81		Ar I	106087.2597	1	113468.473	2
5	1355.9574	7372.847	0.003			Bu çalışma	nl nc	La I	31247.796	1.5	23874.946	2.5
6	1356.2466	7371.274	0.010			Bu çalışma	nl nc	Ar I	117183.5901	2	124554.874	1
3	1356.588	7369.42				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4250	1357.3618	7365.218	0.000	B 1357.3617	-0.0001	76		Ar I	107496.4166	1	114861.635	0
5	1357.573	7364.07		B		Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1357.908	7362.26				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum		Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
3	1358.8728	7357.029	-0.007				Bu çalışma	nl	nc	La I	31061.838	0.5	23704.816	1.5
13	1359.3264	7354.574	-0.002				Bu çalışma	nl	nc	La I	9183.806	2.5	16538.378	3.5
74	1359.8602	7351.687	0.002	B			Bu çalışma	nl	nc	La I	7679.945	2.5	15031.634	1.5
7680	1359.9337	7351.289	0.003	B	1359.9333	-0.0004	76			Ar I	107289.7001	2	114640.992	2
53660	1362.2659	7338.704	0.000		1362.2659	0.0000	76			Ar I	106087.2597	1	113425.964	2
710	1363.3560	7332.840	0.002		1363.3550	-0.0010	77			Ar II	203197.5711	3.5	195864.7296	2.5
180	1365.2807	7322.499	0.007		1365.2812	0.0005	81			Ar I	121470.238	0	114147.732	1
62	1365.8319	7319.544	0.000		1365.8337	0.0018	81			Ar I	122686.410	2	115366.866	1
12	1365.8948	7319.206	-0.007				Bu çalışma	nl	nc	Ar I	122686.065	1	115366.866	1
19	1366.9530	7313.540	0.006				Bu çalışma	nl	nc	La I	7490.521	1.5	14804.067	2.5
10	1367.4275	7311.003	-0.003				Bu çalışma	nl	nc	La I	16735.095	1.5	24046.095	2.5
37275	1367.8550	7308.718	0.000		1367.8550	0.0000	76			Ar I	107496.4166	1	114805.135	2
11	1369.038	7302.40					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
97	1370.3173	7295.585	-0.002				Bu çalışma	nl	nc	La I	12787.399	2.5	20082.982	1.5
15	1370.6620	7293.750	0.004		1370.6609	-0.0011	80			Ar II	194883.0921	3.5	187589.3383	2.5
5	1371.026	7291.81					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
5	1371.058	7291.71					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
6	1371.137	7291.22					Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
141720	1371.8581	7287.391	0.002		1371.8576	-0.0005	80			Ar I	105462.7596	3	112750.153	4
461	1372.4200	7284.407	0.010		1372.4189	-0.0011	77			Ar II	203151.2677	2.5	195866.8503	1.5
6	1372.888	7281.92					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
16	1375.3800	7268.732	0.012				Bu çalışma	nl	nc	La I	17140.940	4.5	24409.684	3.5
7	1375.7149	7266.961	0.002				Bu çalışma	nl	nc	La I	35446.006	4.5	28179.043	5.5
5	1376.087	7265.00					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
36	1376.9599	7260.390	-0.004				Bu çalışma	nl	nc	La I	21969.299	2.5	14708.913	1.5
6	1378.278	7253.45					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
5	1378.939	7249.97					Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
27	1379.8960	7244.940	0.006		1379.8955	-0.0005	77			Ar II	190196.2066	0.5	182951.2609	0.5
5	1380.066	7244.05					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
10	1380.2234	7243.223	0.004				Bu çalışma	nl	nc	Ar I	116659.9934	1	123903.220	2

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}	λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
11	1381.233	7237.93				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
10	1381.5931	7236.042	0.001			Bu çalışma	nl nc	La I	9044.212	0.5	16280.255	1.5
31	1381.9149	7234.357	0.002			Bu çalışma	nl nc	Ar I	122601.225	1	115366.866	1
60	1382.4463	7231.577	0.001			Bu çalışma	nl nc	La I	12787.399	2.5	20018.977	1.5
6350	1382.5714	7230.922	-0.001	1382.5715	0.0001	76		Ar I	106237.5518	2	113468.473	2
2660	1382.8383	7229.527	-0.006	1382.8394	0.0011	81		Ar I	120249.876	3	113020.355	3
20	1383.5810	7225.646	0.006			Bu çalışma	nl nc	La I	17023.342	3.5	24248.994	4.5
5	1384.2412	7222.200	0.010			Bu çalışma	nl nc	Ar I	116659.9934	1	123882.203	1
155	1384.9723	7218.387	0.005			Bu çalışma	nl nc	La I	7490.521	1.5	14708.913	1.5
107	1385.5040	7215.620	-0.001	1385.5037	-0.0003	77		Ar II	189437.7396	0.5	182222.1209	1.5
3	1385.627	7214.98				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
290	1386.6403	7209.704	0.004	1386.6395	-0.0008	81		Ar I	120230.063	2	113020.355	3
260	1386.7001	7209.393	0.002	1386.6992	-0.0009	81		Ar I	120229.750	3	113020.355	3
350	1389.450	7195.13				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
1680	1390.7480	7188.410	0.002	1390.7478	-0.0002	80		Ar I	106237.5518	2	113425.964	2
13570	1391.0563	7186.816	0.004	1391.0558	-0.0005	81		Ar I	120207.175	4	113020.355	3
6	1392.026	7181.81				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
7	1392.2254	7180.781	0.008			Bu çalışma	nl nc	La I	31688.660	1.5	24507.871	2.5
3	1392.436	7179.70				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1393.562	7173.89		B		Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1393.6001	7173.698	0.010	B		Bu çalışma	nl nc	La I	18776.615	2.5	25950.323	1.5
213	1393.9170	7172.070	0.003	1393.9161	-0.0009	77		Ar II	188766.2129	2.5	181594.1404	2.5
25	1394.6513	7168.291	-0.015	1394.6513	0.0000	81		Ar I	120188.631	2	113020.355	3
12	1394.8601	7167.218	-0.004	1394.8608	0.0007	77		Ar II	155043.1619	2.5	147875.9477	2.5
3	1395.246	7165.24				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1395.500	7163.93				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1397.176	7155.34				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
58	1397.2350	7155.040	-0.001	1397.2344	-0.0006	77		Ar II	190106.3000	1.5	182951.2609	0.5
4	1398.3847	7149.153	0.013			Bu çalışma	nl nc	La I	35117.700	2.5	27968.534	1.5
3	1398.5083	7148.521	-0.001			Bu çalışma	nl nc	Ar I	116659.9934	1	123808.513	2

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
71	1399.2652	7144.655	0.004	B			Bu çalışma	nl nc	La I	8052.163	3.5	15196.822	2.5
180	1399.2816	7144.571	0.004	B	1399.2807	-0.0009	81		Ar I	107496.4166	1	114640.992	2
30	1399.9900	7140.950	0.006		1399.9890	-0.0010	80		Ar II	203007.8061	1.5	195866.8503	1.5
27	1400.230	7139.73					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
60	1400.6950	7137.359	0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	9719.429	1.5	16856.793	2.5
6	1400.929	7136.17					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	1402.101	7130.21					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
6	1403.1770	7124.737	0.003				Bu çalışma	nl nc	Ar II	195031.2028	2.5	202155.9425	2.5
53	1403.2988	7124.118	0.004				Bu çalışma	nl nc	La I	7679.945	2.5	14804.067	2.5
3	1403.445	7123.38					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1404.527	7117.89					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
9	1404.6973	7117.024	0.007				Bu çalışma	nl nc	La II	10094.887	2	17211.918	2
3	1405.764	7111.63					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
52	1406.1986	7109.427	0.002		1406.1974	-0.0012	81		Ar I	121257.161	1	114147.732	1
14	1406.4715	7108.048	0.006				Bu çalışma	nl nc	La I	17140.940	4.5	24248.994	4.5
3	1406.781	7106.48					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
53	1407.0130	7105.310	0.004		1407.0128	-0.0002	77		Ar II	190196.2066	0.5	183090.8927	1.5
35	1407.7770	7101.460	-0.005		1407.7771	0.0001	77		Ar II	170401.0170	2.5	163299.5616	2.5
64	1408.0816	7099.920	-0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	13238.331	3.5	20338.250	2.5
196	1408.5072	7097.775	0.006		1408.5061	-0.0012	77		Ar II	191012.4246	1.5	183914.6440	0.5
475	1408.7708	7096.446	0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	9183.806	2.5	16280.255	1.5
50590	1409.3644	7093.458	0.002		1409.3640	-0.0004	76		Ar I	107054.2720	0	114147.732	1
180	1409.617	7092.19					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
10	1410.5420	7087.536	-0.004				Bu çalışma	nl nc	La I	16617.284	0.5	23704.816	1.5
4	1412.417	7078.13					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
4	1413.245	7073.98					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
5	1414.832	7066.05					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1415.002	7065.20					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
3	1415.150	7064.46					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
4	1416.5282	7057.584	0.007				Bu çalışma	nl nc	La I	8446.039	1.5	15503.630	2.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
4	1417.300	7053.74					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
190	1417.4715	7052.887	0.002		1417.4712	-0.0003	81		Ar I	118870.9170	0	111818.028	1
3	1419.2452	7044.073	0.000				Bu çalışma	nl nc	Ar I	121191.805	2	114147.732	1
5	1419.8062	7041.290	0.014				Bu çalışma	nl nc	La I	36543.480	2.5	29502.176	2.5
3	1421.621	7032.30					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
18	1422.4770	7028.070	0.008		1422.4749	-0.0021	77		Ar II	190942.7220	0.5	183914.6440	0.5
4	1422.5976	7027.473	-0.011				Bu çalışma	nl nc	Ar I	121470.238	0	128497.7	1
39	1423.3290	7023.862	0.005		1423.3281	-0.0009	77		Ar II	170530.4040	3.5	163506.5368	3.5
11	1423.5539	7022.752	0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	17023.342	3.5	24046.095	2.5
6	1424.276	7019.19					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4660	1424.9205	7016.017	0.006	B	1424.9194	-0.0011	81		Ar I	107131.7086	1	114147.732	1
42	1425.0450	7015.400	0.007	B	1425.0444	-0.0006	77		Ar II	190106.3000	1.5	183090.8927	1.5
455	1425.4145	7013.586	0.002		1425.4139	-0.0006	81		Ar I	121654.580	2	114640.992	2
19	1425.4850	7013.239	0.003		1425.4845	-0.0005	81		Ar I	121654.234	3	114640.992	2
4970	1425.6869	7012.246	0.000		1425.6862	-0.0007	81		Ar I	121653.238	3	114640.992	2
5	1426.815	7006.70					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
10	1427.6655	7002.527	0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	21969.299	2.5	28971.829	1.5
2	1428.960	6996.18					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
5	1429.283	6994.60					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1429.6197	6992.955	-0.012				Bu çalışma	nl nc	Ar I	202420.5754	0.5	209413.5184	1.5
3	1430.005	6991.07					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
5	1432.176	6980.47					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1432.330	6979.72					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1432.723	6977.81					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1433.385	6974.59					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1434.729	6968.05					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
49	1434.8788	6967.325	0.008				Bu çalışma	nl nc	La I	8052.163	3.5	15019.496	3.5
19	1436.2945	6960.458	0.008		1436.2938	-0.0007	81		Ar I	116942.7542	3	123903.220	2
2	1437.516	6954.54					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1438.589	6949.36					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}	λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
2	1438.703	6948.81				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
11	1438.9533	6947.596	0.005			Bu çalışma	nl nc	La I	17140.940	4.5	24088.541	3.5
2	1439.1417	6946.687	0.002			Bu çalışma	nl nc	Ar I	125853.3	1	118906.6110	2
3	1439.666	6944.16				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1440.102	6942.05				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
18	1440.1923	6941.619	0.000			Bu çalışma	nl nc	La I	21037.296	1.5	14095.677	0.5
15	1441.0123	6937.669	-0.004			Bu çalışma	nl nc	La I	21969.299	2.5	15031.634	1.5
18	1441.2478	6936.536	0.008			Bu çalışma	nl nc	Ar I	116999.3259	2	123935.870	1
3	1443.4268	6926.064	-0.006			Bu çalışma	nl nc	La I	31688.660	1.5	24762.602	1.5
6	1444.1447	6922.621	0.001			Bu çalışma	nl nc	La I	32872.945	2.5	25950.323	1.5
9	1445.6391	6915.465	0.005			Bu çalışma	nl nc	La I	9183.806	2.5	16099.276	3.5
3	1446.348	6912.08				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1446.5382	6911.167	-0.005			Bu çalışma	nl nc	La I	23528.446	0.5	16617.284	0.5
5	1448.034	6904.03				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
25	1448.4905	6901.852	0.002			Bu çalışma	nl nc	La II	7473.347	4	14375.201	3
2	1449.009	6899.38				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
214	1449.7434	6895.887	0.002			Bu çalışma	nl nc	La I	9960.904	3.5	16856.793	2.5
3	1452.262	6883.93				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
5	1452.4848	6882.872	0.005			Bu çalışma	nl nc	Ar I	116999.3259	2	123882.203	1
10	1454.6229	6872.755	0.001			Bu çalışma	nl nc	La I	18037.619	1.5	24910.375	1.5
94	1456.4238	6864.257	0.004			Bu çalışma	nl nc	La I	7231.416	0.5	14095.677	0.5
2	1456.767	6862.64				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
250	1457.7467	6858.028	0.004	1457.7459	-0.0008	81		Ar I	107289.7001	2	114147.732	1
40	1459.1142	6851.600	0.004			Bu çalışma	nl nc	La I	17023.342	3.5	23874.946	2.5
320	1459.5744	6849.440	0.005	1459.5732	-0.0012	81		Ar I	121654.580	2	114805.135	2
3840	1459.6457	6849.105	-0.006	1459.6472	0.0015	81		Ar I	121654.234	3	114805.135	2
58	1459.8598	6848.101	0.002	1459.8586	-0.0012	81		Ar I	121653.238	3	114805.135	2
3	1460.3769	6845.676	0.008			Bu çalışma	nl nc	Ar I	117151.3264	1	123997.01	1
3	1461.658	6839.68				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
7	1462.5290	6835.614	-0.008	1462.5284	-0.0006	77		Ar II	190511.2674	2.5	183675.6614	3.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma / \text{cm}^{-1}$		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum		Element	$E_{\text{çift}} / \text{cm}^{-1}$	$J_{\text{çift}}$	$E_{\text{tek}} / \text{cm}^{-1}$	J_{tek}
25	1463.1621	6832.645	-0.004		1463.1645	0.0024	81			Ar I	121654.580	2	114821.939	3
295	1463.2380	6832.291	0.004		1463.2372	-0.0008	81			Ar I	121654.234	3	114821.939	3
6145	1463.4417	6831.340	0.001		1463.4411	-0.0006	81			Ar I	121653.280	4	114821.939	3
5990	1465.0349	6823.911	0.001		1465.0345	-0.0004	81			Ar I	120249.876	3	113425.964	2
6	1465.533	6821.59					Bu çalışma			La ya da Ar				
3	1465.7398	6820.629	0.001				Bu çalışma	nl	nc	Ar II	184191.79	0.5	191012.42	1.5
18	1466.1306	6818.811	0.003		1466.1315	0.0009	79			Ar II	189040.9351	1.5	182222.1209	1.5
34	1468.4636	6807.978	0.002		1468.4629	-0.0007	81			Ar I	116659.9934	1	123467.9733	1
1950	1469.3010	6804.097	0.002		1469.3004	-0.0006	81			Ar I	120230.063	2	113425.964	2
117	1469.3675	6803.790	-0.004		1469.3674	-0.0001	81			Ar I	120229.750	3	113425.964	2
82	1471.9548	6791.830	0.002	B	1471.9546	-0.0002	81			Ar I	118459.5975	1	111667.766	0
6	1471.982	6791.71		B			Bu çalışma	nl		La I ya da La II				
9	1473.5368	6784.539	0.005				Bu çalışma	nl	nc	Ar I	117151.3264	1	123935.870	1
595	1473.9139	6782.803	0.000		1473.9137	-0.0002	81			Ar I	106237.5518	2	113020.355	3
17	1474.2191	6781.399	0.004		1474.2181	-0.0010	81			Ar I	120249.876	3	113468.473	2
4	1474.3718	6780.696	-0.004				Bu çalışma	nl	nc	Ar II	203345.0332	1.5	210125.7255	2.5
9	1474.8759	6778.379	-0.003				Bu çalışma	nl	nc	La I	18310.940	5.5	25089.316	4.5
234	1475.8622	6773.849	0.002	B			Bu çalışma	nl	nc	La I	8446.039	1.5	15219.890	0.5
100	1475.9410	6773.487	0.007	B			Bu çalışma	nl	nc	La I	18315.822	4.5	25089.316	4.5
18	1476.1602	6772.481	-0.004				Bu çalışma	nl	nc	La I	21969.299	2.5	15196.822	2.5
14	1478.2988	6762.684	-0.017		1478.2994	0.0006	81			Ar I	120188.631	2	113425.964	2
73	1478.3891	6762.271	-0.003		1478.3888	-0.0003	81			Ar I	120188.232	1	113425.964	2
74	1478.5389	6761.586	0.004		1478.5382	-0.0007	81			Ar I	120230.063	2	113468.473	2
326	1478.6064	6761.277	0.000		1478.6060	-0.0004	81			Ar I	120229.750	3	113468.473	2
8	1478.8738	6760.054	0.000				Bu çalışma	nl	nc	La I	29045.820	3.5	22285.766	4.5
145	1480.6598	6751.900	0.004				Bu çalışma	nl	nc	La I	8052.163	3.5	14804.067	2.5
3	1481.571	6747.75					Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
11	1481.736	6747.00		B			Bu çalışma	nl		La ya da Ar				
9	1481.7385	6746.985	0.004	B			Bu çalışma	nl	nc	La I	21943.811	3.5	15196.822	2.5
53	1483.3480	6739.664	0.000		1483.3481	0.0001	81			Ar I	118407.4303	1	111667.766	0

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
4	1485.177	6731.36					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1485.286	6730.87		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1485.321	6730.71		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1485.4730	6730.020	0.002		1485.4734	0.0004	77		Ar II	206255.2684	2.5	199525.2465	1.5
127	1487.6508	6720.171	-0.013		1487.6501	-0.0007	81		Ar I	120188.631	2	113468.473	2
14	1487.7424	6719.757	0.002		1487.7412	-0.0012	81		Ar I	120188.232	1	113468.473	2
7	1487.7722	6719.622	0.008				Bu çalışma	nl nc	Ar I	117183.5901	2	123903.220	2
4	1489.0579	6713.820	0.000				Bu çalışma	nl nc	Ar II	183797.4473	2.5	190511.2674	2.5
16	1489.2556	6712.929	0.003				Bu çalışma	nl nc	Ar I	116659.9934	1	123372.9253	2
3	1489.593	6711.41					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
31	1489.8144	6710.411	0.012		1489.8159	0.0015	81		Ar I	116942.7542	3	123653.177	4
5	1489.914	6709.96					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1490.843	6705.78					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
4	1491.267	6703.88					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1492.849	6696.77					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1495.309	6685.75					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
3	1496.3984	6680.886	0.000				Bu çalışma	nl nc	Ar I	118469.0508	2	125149.937	3
81	1496.6960	6679.558	0.003		1496.6952	-0.0008	81		Ar I	121654.580	2	114975.019	1
16	1497.4576	6676.161	0.003		1497.4569	-0.0007	81		Ar I	105462.7596	3	112138.924	2
538	1503.0517	6651.313	0.002		1503.0514	-0.0003	81		Ar I	107496.4166	1	114147.732	1
174	1503.1174	6651.022	0.001		1503.1171	-0.0003	81		Ar I	118469.0508	2	111818.028	1
3	1503.416	6649.70					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
33380	1504.6511	6644.243	0.004		1504.6500	-0.0011	76		Ar I	108722.6194	0	115366.866	1
27	1505.2569	6641.569	0.000		1505.2570	0.0001	81		Ar I	118459.5975	1	111818.028	1
2	1509.244	6624.02					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1509.934	6621.00					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
30	1510.3606	6619.126	0.002	B			Bu çalışma	nl nc	La I	7011.904	2.5	13631.032	2.5
9	1510.4918	6618.551	0.001	B			Bu çalışma	nl nc	La I	9919.826	4.5	16538.378	3.5
11	1511.0351	6616.172	-0.003		1511.0371	0.0020	81		Ar I	121257.161	1	114640.992	2
7	1511.3786	6614.668	0.001				Bu çalışma	nl nc	Ar I	116942.7542	2	123557.4227	3

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
2	1513.1692	6606.841	-0.007				Bu çalışma	nl nc	Ar I	118459.5975	1	125066.432	2
18	1514.1780	6602.440	0.002		1514.1774	-0.0006	77		Ar II	202467.1718	1.5	195864.7296	2.5
3	1514.663	6600.33					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1514.905	6599.27					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
9	1516.3990	6592.770	-0.001		1516.3990	0.0000	77		Ar II	190507.4128	1.5	183914.6440	0.5
28	1516.5760	6591.999	-0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	12787.399	2.5	19379.397	2.5
5275	1517.2693	6588.987	0.001	B	1517.2690	-0.0003	76		Ar I	107054.2720	0	113643.260	1
9	1517.4488	6588.208	-0.005	B			Bu çalışma	nl nc	La I	30055.037	3.5	23466.834	4.5
91	1517.7733	6586.799	0.004		1517.7725	-0.0008	81		Ar I	120230.063	2	113643.260	1
3	1518.0523	6585.588	0.007				Bu çalışma	nl nc	La I	8446.039	1.5	15031.634	1.5
8	1520.758	6573.87					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
24	1523.0560	6563.960	-0.004		1523.0553	-0.0007	77		Ar II	189654.8487	2.5	183090.8927	1.5
3	1523.662	6561.34					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
62	1523.7831	6560.821	0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	9719.429	1.5	16280.255	1.5
17	1524.4180	6558.088	0.009		1524.4181	0.0001	81		Ar I	116999.3259	2	123557.4227	3
16	1525.4340	6553.720	0.005		1525.4331	-0.0009	77		Ar II	202420.5754	0.5	195866.8503	1.5
5	1526.1104	6550.816	-0.003				Bu çalışma	nl nc	Ar I	121191.805	2	114640.992	2
14	1527.3765	6545.385	-0.014		1527.3761	-0.0004	81		Ar I	120188.631	2	113643.260	1
35	1527.4732	6544.971	0.003		1527.4725	-0.0007	80		Ar II	204113.7598	1.5	210658.7338	2.5
9	1527.6810	6544.080	0.012		1527.6785	-0.0025	77		Ar II	188766.2129	2.5	182222.1209	1.5
7270	1530.1885	6533.357	0.002		1530.1878	-0.0007	81		Ar I	120249.914	4	113716.555	3
15	1530.8657	6530.467	0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	18310.940	5.5	24841.410	5.5
3	1531.785	6526.55					Bu çalışma		La ya da Ar				
3	1532.0122	6525.580	0.008	B			Bu çalışma	nl nc	La I	18315.822	4.5	24841.410	5.5
3	1532.090	6525.25		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
1305	1532.9351	6521.651	0.003		1532.9340	-0.0011	76		Ar I	105617.2700	2	112138.924	2
63	1534.8531	6513.501	0.007	B	1534.8513	-0.0018	81		Ar I	120230.063	2	113716.555	3
1665	1534.9249	6513.197	-0.002	B	1534.9245	-0.0004	81		Ar I	120229.750	3	113716.555	3
910	1535.3130	6511.550	0.001		1535.3128	-0.0002	81		Ar I	107131.7086	1	113643.260	1
4	1536.5843	6506.163	0.001				Bu çalışma	nl nc	Ar I	116999.3259	2	123505.4896	2

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}	λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
2	1537.198	6503.57				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
2	1539.053	6495.73				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
18	1539.1746	6495.214	0.005	1539.1718	-0.0028	81		Ar I	121470.238	0	114975.019	1
2	1539.7142	6492.937	0.001			Bu çalışma	nl nc	La I	35236.192	5.5	28743.254	5.5
1550	1540.2645	6490.618	0.002	1540.2640	-0.0005	81		Ar I	120207.175	4	113716.555	3
4	1541.247	6486.48				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1542.6613	6480.533	-0.005	1542.6626	0.0013	80		Ar II	195128.3735	4.5	201608.9017	3.5
160	1544.6734	6472.092	-0.016	1544.6731	-0.0003	81		Ar I	120188.631	2	113716.555	3
2	1545.4929	6468.660	-0.013			Bu çalışma	nl nc	Ar I	116999.3259	2	123467.9733	1
2	1545.5251	6468.525	0.000			Bu çalışma	nl nc	Ar II	194883.0921	3.5	201351.6169	2.5
7	1546.2526	6465.482	0.000	1546.2534	0.0008	81		Ar I	121270.617	2	114805.135	2
2	1547.004	6462.34				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
13	1549.595	6451.54				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1549.681	6451.18				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1550.2825	6448.675	0.003			Bu çalışma	nl nc	Ar I	121270.617	2	114821.939	3
2	1551.547	6443.42				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1551.974	6441.65		B		Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1552.0132	6441.484	-0.008	B		Bu çalışma	nl nc	Ar II	202253.6552	1.5	208695.1309	1.5
2	1552.991	6437.43				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1554.7456	6430.163	0.008			Bu çalışma	nl nc	Ar I	116942.7542	3	123372.9253	2
55	1555.5470	6426.850	0.005	1555.5460	-0.0010	81		Ar I	107289.7001	2	113716.555	3
4	1557.270	6419.74				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
16	1564.7810	6388.930	-0.004	1564.7808	-0.0003	77		Ar II	202253.6552	1.5	195864.7296	2.5
2	1564.861	6388.60				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1564.9809	6388.109	0.006			Bu çalışma	nl nc	Ar I	125039.51	1	118651.3950	1
5	1565.217	6387.15				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1565.302	6386.80				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1566.456	6382.09				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1568.4887	6373.822	0.011			Bu çalışma	nl nc	Ar I	117183.5901	2	123557.4227	3
48	1569.4072	6370.092	0.000			Bu çalışma	nl nc	La I	13747.276	4.5	20117.368	5.5

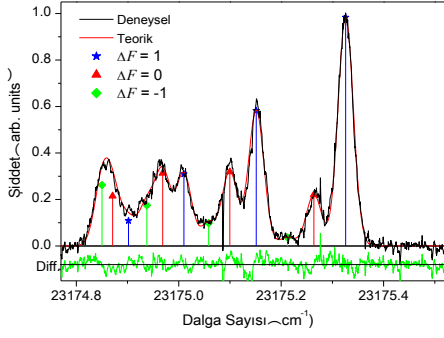
SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}	λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
3	1570.678	6364.94				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1570.749	6364.65				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1571.0706	6363.347	0.024			Bu çalışma	nl nc	La I	34032.734	3.5	27669.363	2.5
3	1571.8405	6360.231	0.001			Bu çalışma	nl nc	Ar I	121165.367	3	114805.135	2
215	1572.3863	6358.023	0.005			Bu çalışma	nl nc	La I	8446.039	1.5	14804.067	2.5
9	1573.3421	6354.160	0.003	1573.3432	0.0011	81		Ar I	117151.3264	1	123505.4896	2
171	1573.4910	6353.559	0.001	1573.4909	-0.0001	81		Ar I	107289.7001	2	113643.260	1
4	1575.156	6346.84				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1575.331	6346.14				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1576.0058	6343.421	0.007			Bu çalışma	nl nc	Ar I	121165.367	3	114821.939	3
32	1577.6611	6336.765	-0.001	1577.6613	0.0002	81		Ar I	107131.7086	1	113468.473	2
128	1579.3157	6330.126	0.001	1579.3155	-0.0002	81		Ar I	118469.0508	2	112138.924	2
6	1579.7504	6328.385	-0.002			Bu çalışma	nl nc	La I	21037.296	1.5	14708.913	1.5
18	1580.3737	6325.889	0.005			Bu çalışma	nl nc	La I	17140.940	4.5	23466.834	4.5
47	1581.0117	6323.336	0.003			Bu çalışma	nl nc	La I	9919.826	4.5	16243.165	4.5
336	1581.6777	6320.673	0.001	1581.6779	0.0002	81		Ar I	118459.5975	1	112138.924	2
2	1581.870	6319.91				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
3	1582.0393	6319.229	-0.002			Bu çalışma	nl nc	Ar I	126079.4	2	119760.1725	1
5	1582.945	6315.61				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
2	1583.352	6313.99				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
2	1583.580	6313.08				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
2	1584.545	6309.24				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
7	1584.642	6308.85				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1584.809	6308.19				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
115	1585.483	6305.50				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
2	1586.3793	6301.941	-0.016			Bu çalışma	nl nc	Ar II	206631.7185	2.5	212933.6439	2.5
3	1586.573	6301.17				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
4	1586.918	6299.80				Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1587.075	6299.18				Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
6	1587.3448	6298.108	0.004			Bu çalışma	nl nc	La I	33753.424	4.5	27455.312	3.5

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
3	1587.564	6297.24					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
40	1587.6365	6296.950	0.004				Bu çalışma	nl nc	La I	20392.631	0.5	14095.677	0.5
2	1588.185	6294.78					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
300	1588.3178	6294.249	-0.058		1588.3165	-0.0013	81		Ar I	107131.7086	1	113425.9000	2
3	1588.931	6291.82					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4505	1589.9691	6287.712	0.002		1589.9683	-0.0008	81		Ar I	121654.580	2	115366.866	1
17	1590.8117	6284.382	0.001		1590.8105	-0.0012	81		Ar I	117183.5901	2	123467.9733	1
3	1591.526	6281.56					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	1591.746	6280.69					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
11	1593.0477	6275.561	-0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	29578.815	2.5	23303.257	3.5
4	1593.3013	6274.562	-0.007				Bu çalışma	nl nc	Ar II	202420.5754	0.5	208695.1309	1.5
4	1593.6370	6273.240	0.004		1593.6356	-0.0014	77		Ar II	206255.2684	2.5	199982.0244	1.5
2	1595.5437	6265.744	-0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	30354.282	2.5	24088.541	3.5
3	1596.0153	6263.892	0.015	B			Bu çalışma	nl nc	La I	33286.519	3.5	27022.612	2.5
14	1596.0888	6263.604	-0.003	B	1596.0894	0.0006	81		Ar I	121068.736	1	114805.135	2
3	1596.2754	6262.872	0.002				Bu çalışma	nl nc	La I	8446.039	1.5	14708.913	1.5
6705	1598.9492	6252.399	0.001		1598.9490	-0.0002	76		Ar I	108722.6194	0	114975.019	1
265	1599.9572	6248.460	0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	7011.904	2.5	13260.369	1.5
9	1603.4870	6234.705	0.004				Bu çalışma	nl nc	La I	31688.660	1.5	25453.951	0.5
2	1603.868	6233.22					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
10	1606.8675	6221.588	0.011				Bu çalışma	nl nc	Ar I	117151.3264	1	123372.9253	2
36	1608.0394	6217.054	0.002				Bu çalışma	nl nc	La I	30305.597	2.5	24088.541	3.5
3	1608.459	6215.43		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1608.482	6215.34		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
30	1608.534	6215.14					Bu çalışma		La ya da Ar				
2	1609.642	6210.87					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
5	1609.817	6210.19					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
4	1610.473	6207.66					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
9	1610.6174	6207.103	-0.002				Bu çalışma	nl nc	Ar I	121068.736	1	114861.635	0

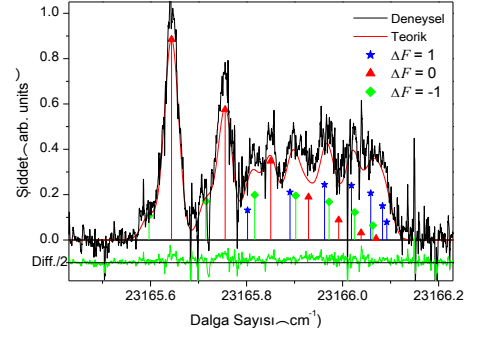
SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma$ / cm^{-1}		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}}$ / cm^{-1}	$J_{\text{çift}}$	E_{tek} / cm^{-1}	J_{tek}
3	1610.846	6206.22					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1610.937	6205.87					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
32	1611.4376	6203.944	0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	17099.310	2.5	23303.257	3.5
368	1612.2661	6200.756	0.002		1612.2657	-0.0004	81		Ar I	105617.2700	2	111818.028	1
3	1613.046	6197.76					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
2	1613.867	6194.61					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
3	1614.362	6192.71					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
7	1614.625	6191.70					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
47	1615.2420	6189.332	0.012		1615.2408	-0.0012	80		Ar II	206149.0242	3.5	199959.6798	2.5
5	1615.602	6187.95					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
144	1617.8258	6179.447	0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	9919.826	4.5	16099.276	3.5
760	1618.0020	6178.774	-0.001		1618.0022	0.0002	81		Ar I	107289.7001	2	113468.473	2
34	1618.8125	6175.680	-0.002				Bu çalışma	nl nc	La I	9044.212	0.5	15219.890	0.5
12	1623.9616	6156.099	0.014				Bu çalışma	nl nc	La I	34124.647	2.5	27968.534	1.5
69	1624.8571	6152.706	0.004				Bu çalışma	nl nc	La I	30401.704	3.5	24248.994	4.5
260	1626.4070	6146.843	0.000		1626.4070	0.0000	81		Ar I	107496.4166	1	113643.260	1
3	1627.0852	6144.281	0.012		1627.0807	-0.0045	79		Ar I	118459.597	1	124603.890	2
4	1627.7320	6141.840	-0.001		1627.7318	-0.0002	77		Ar II	196076.4715	1.5	189934.6322	0.5
9	1628.6570	6138.350	0.003		1628.6567	-0.0003	77		Ar II	206120.3769	2.5	199982.0244	1.5
7	1629.2269	6136.204	0.007				Bu çalışma	nl nc	La I	18037.619	1.5	24173.830	1.5
5	1630.4067	6131.764	0.003				Bu çalışma	nl nc	La I	30305.597	2.5	24173.830	1.5
7	1631.1450	6128.990	-0.005		1631.1462	0.0012	80		Ar II	202544.4050	2.5	208673.3904	2.5
41	1633.0644	6121.785	0.002				Bu çalışma	nl nc	La I	17099.310	2.5	23221.097	3.5
3	1633.297	6120.91					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
4	1636.2620	6109.820	0.001		1636.2620	0.0000	78		Ar II	210527.119	2.5	204417.2985	1.5
2	1637.893	6103.74					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
9	1637.9924	6103.367	0.005				Bu çalışma	nl nc	Ar I	121470.238	0	115366.866	1
4	1638.070	6103.08					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
31	1640.552	6093.84		B			Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
15	1640.5856	6093.720	-0.003	B			Bu çalışma	nl nc	Ar I	121068.736	1	114975.019	1

SNR	λ (hava) / nm	σ (vakum) / cm^{-1}	$\Delta\sigma / \text{cm}^{-1}$		λ_{ref} (hava) / nm	$\Delta\lambda$ / nm	Referans	Yorum	Element	$E_{\text{çift}} / \text{cm}^{-1}$	$J_{\text{çift}}$	$E_{\text{tek}} / \text{cm}^{-1}$	J_{tek}
90	1640.6849	6093.355	-0.005				Bu çalışma	nl nc	La I	30934.760	4.5	24841.410	5.5
3	1641.068	6091.93					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
14	1641.6750	6089.670	0.004		1641.6755	0.0005	77		Ar II	189040.9351	1.5	182951.2609	0.5
4	1642.383	6087.05					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
7885	1643.6579	6082.329	0.002		1643.6572	-0.0007	81		Ar I	120230.063	2	114147.732	1
5	1644.249	6080.14					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
4	1647.0408	6069.837	0.023		1647.0400	-0.0008	78		Ar II	204515.05	0.5	210584.91	1.5
27	1647.2259	6069.155	0.000				Bu çalışma	nl nc	La I	16735.095	1.5	22804.250	2.5
2	1647.735	6067.28					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
6	1649.4064	6061.131	0.000		1649.4071	0.0007	77		Ar II	202420.5754	0.5	208481.7065	0.5
4300	1651.9860	6051.667	-0.003		1651.9860	0.0000	76		Ar I	106087.2598	1	112138.924	2
3685	1654.9262	6040.915	-0.016	B	1654.9258	-0.0004	81		Ar I	120188.631	2	114147.732	1
340	1655.0400	6040.500	0.000	B	1655.0388	-0.0012	81		Ar I	120188.232	1	114147.732	1
20	1656.4833	6035.237	-0.004				Bu çalışma	nl nc	La I	25414.630	2.5	19379.397	2.5
8	1658.2094	6028.954	-0.001				Bu çalışma	nl nc	La I	7231.416	0.5	13260.369	1.5
5	1663.603	6009.41					Bu çalışma	nl	La ya da Ar				
6	1663.761	6008.84					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
3	1664.641	6005.66					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
3	1665.122	6003.93					Bu çalışma	nl	La I ya da La II				
7	1665.3388	6003.144	0.000		1665.3411	0.0023	80		Ar II	203594.3546	0.5	209597.4982	1.5

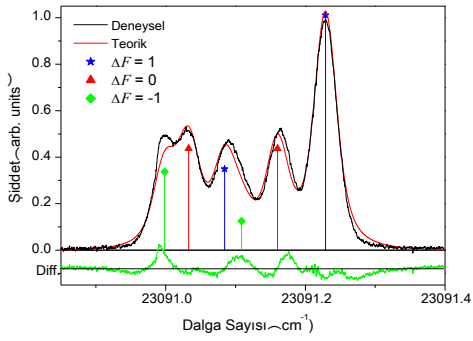
Ek - 2



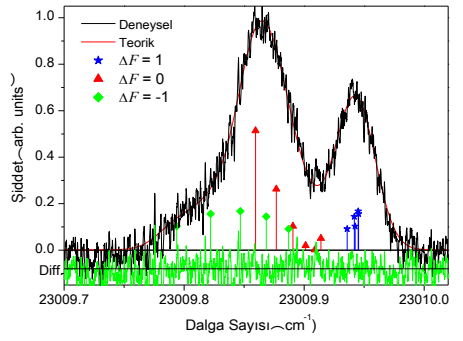
Şekil.Ek2.1. $\lambda=431.3760 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=23175.114 \text{ cm}^{-1}$



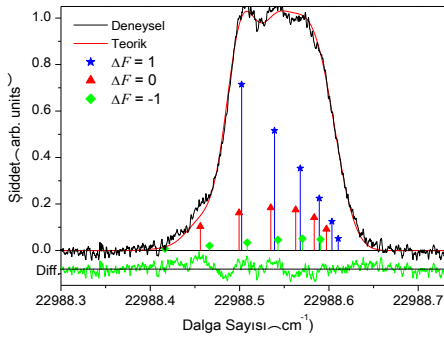
Şekil.Ek2.2. $\lambda=431.549 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=23165.824 \text{ cm}^{-1}$



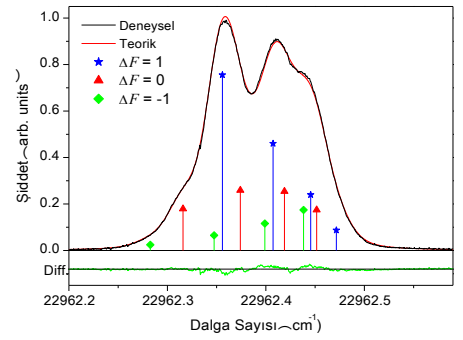
Şekil.Ek2.3. $\lambda=432.945 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=23091.128 \text{ cm}^{-1}$



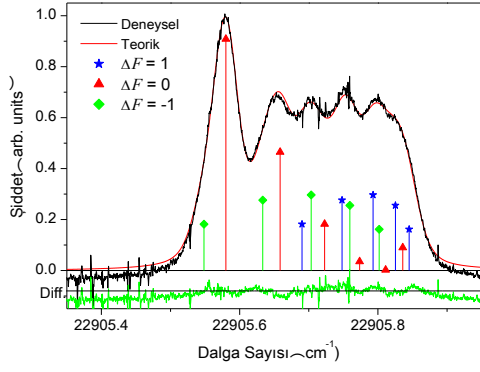
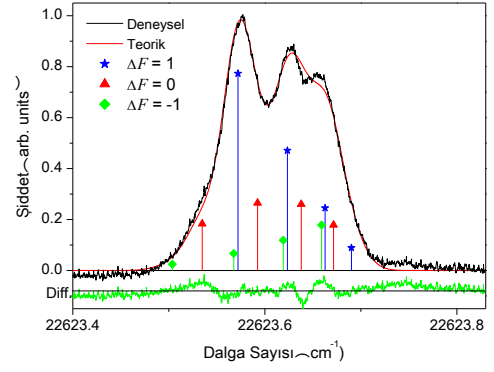
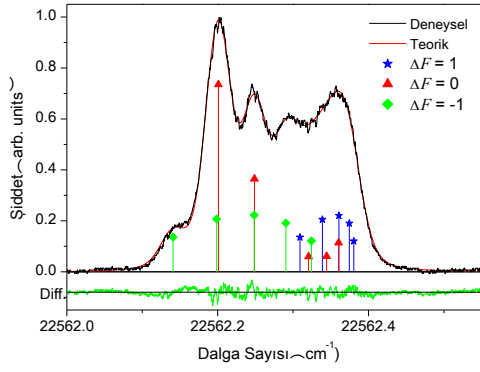
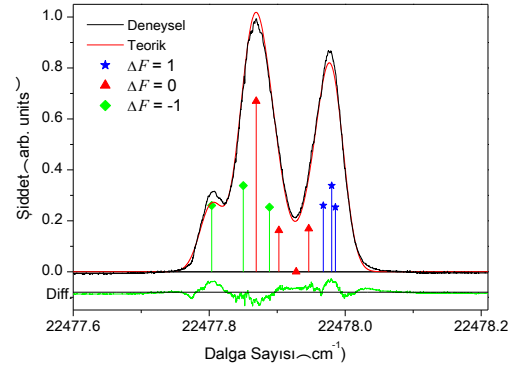
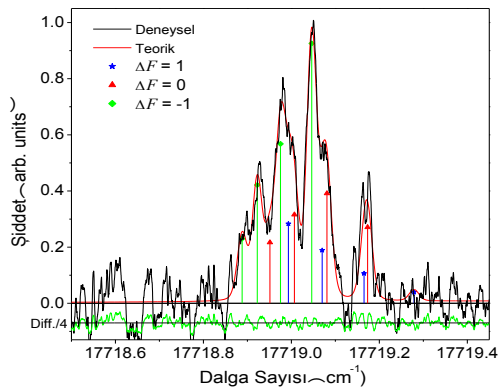
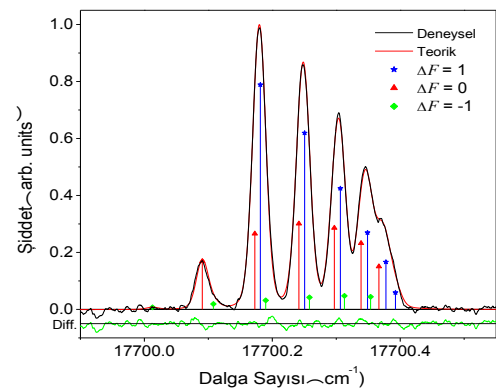
Şekil.Ek2.4. $\lambda=434.4731 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=23009.915 \text{ cm}^{-1}$

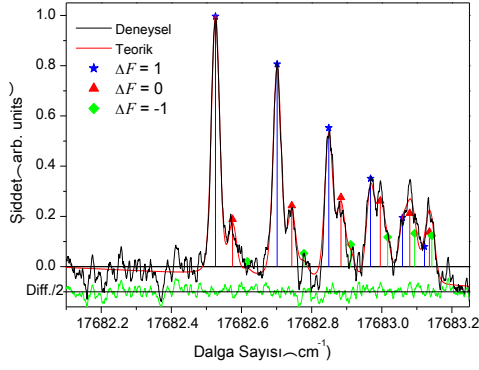
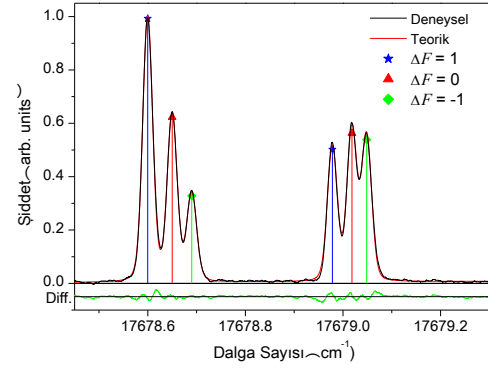
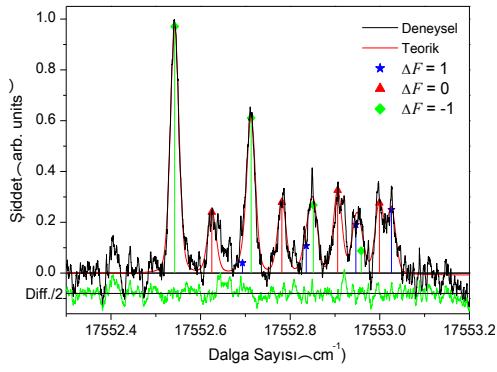
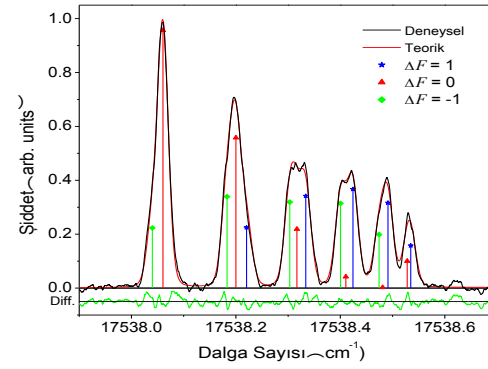
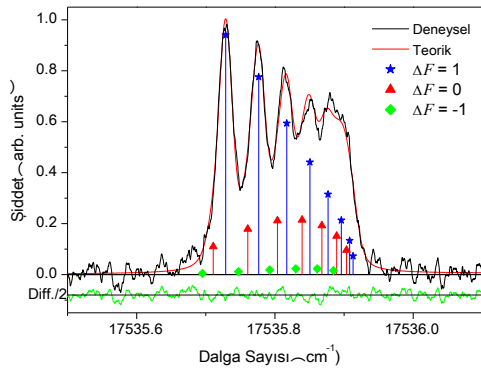
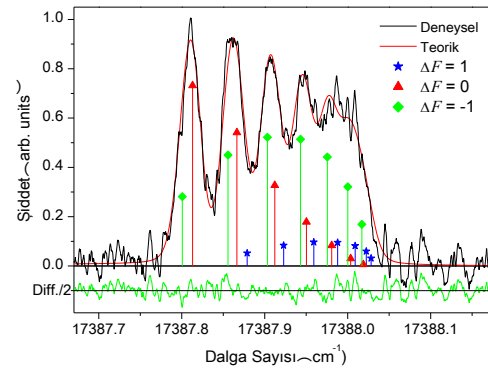


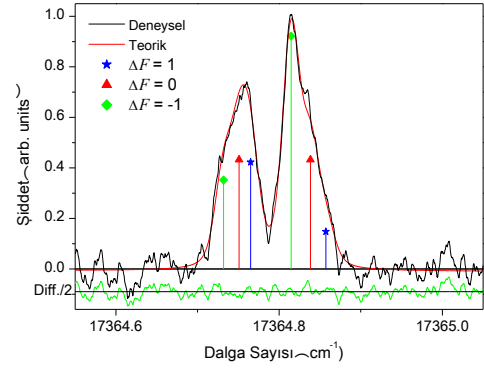
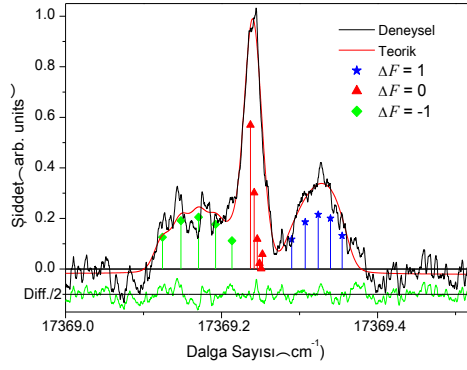
Şekil.Ek2.5. $\lambda=434.8774 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=22988.524 \text{ cm}^{-1}$



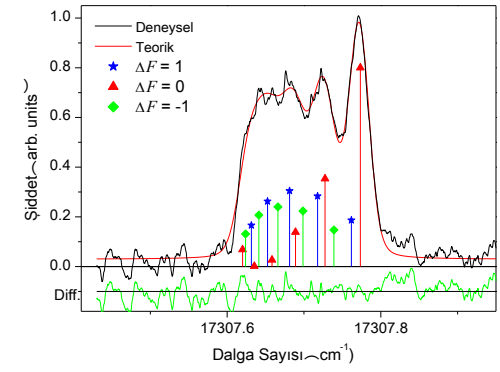
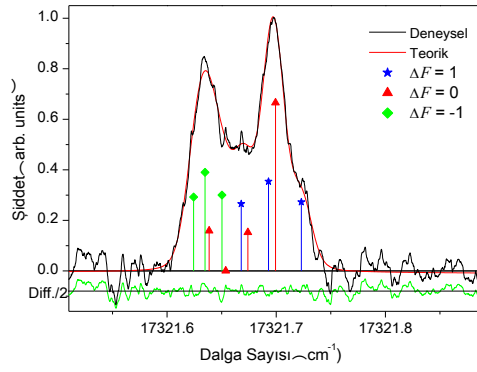
Şekil.Ek2.6. $\lambda=435.3724 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=22962.387 \text{ cm}^{-1}$

Şekil.Ek2.7. $\lambda=436.450 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=22905.694 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.8. $\lambda=441.8915 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=22623.635 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.9. $\lambda=443.0931 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=22562.285 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.10. $\lambda=444.7567 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=22477.892 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.11. $\lambda=564.2088 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17719.016 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.12. $\lambda=564.8042 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17700.337 \text{ cm}^{-1}$

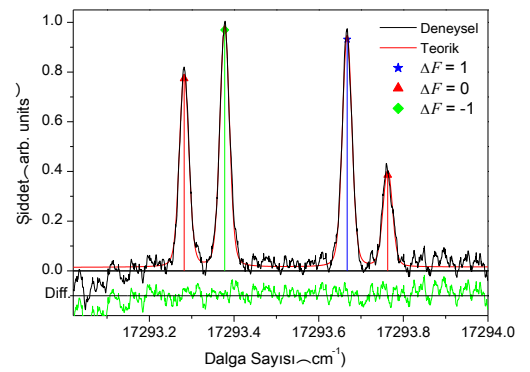
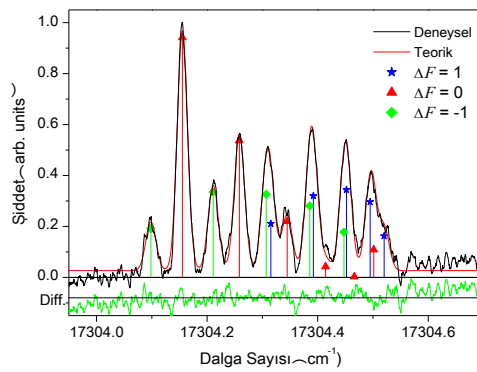
Şekil.Ek2.13. $\lambda=565.3616 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17682.887 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.14. $\lambda=565.4871 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17678.962 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.15. $\lambda=569.5487 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17552.890 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.16. $\lambda=570.0218 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17538.222 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.17. $\lambda=570.1025 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17535.839 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.18. $\lambda=574.9511 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17387.960 \text{ cm}^{-1}$



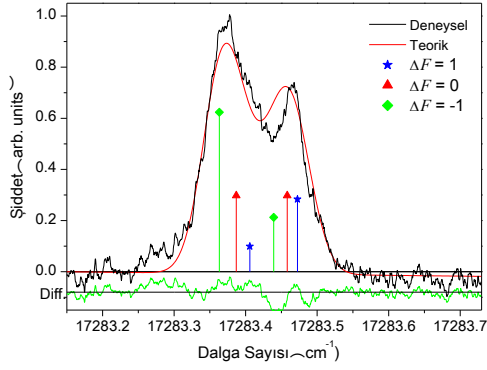
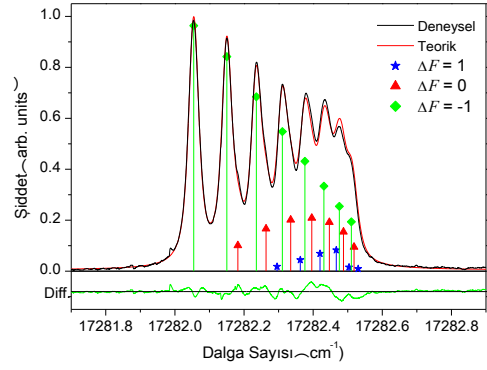
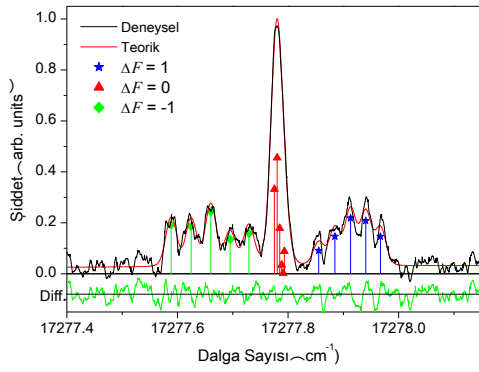
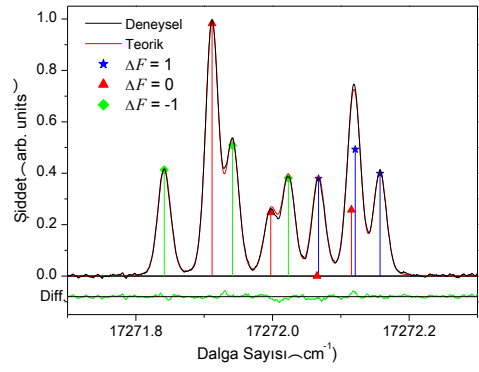
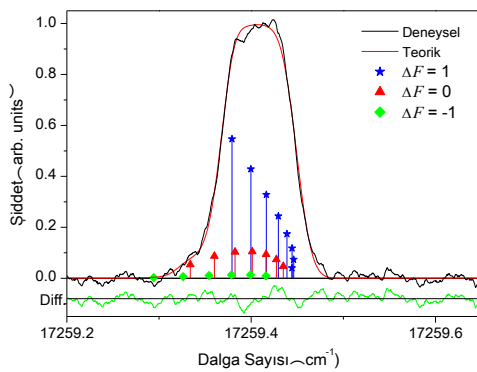
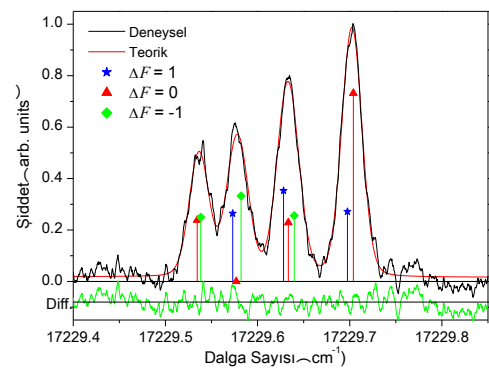
Şekil.Ek2.19. $\lambda=575.5683 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17369.315 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.20. $\lambda=575.7166 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17364.840 \text{ cm}^{-1}$

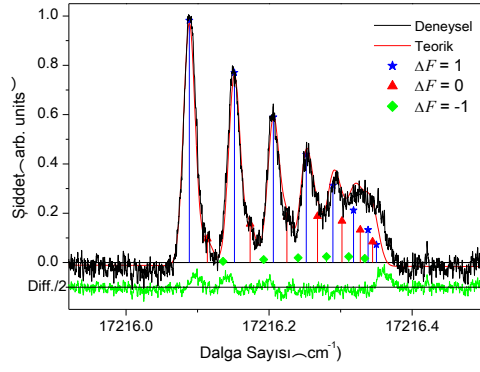
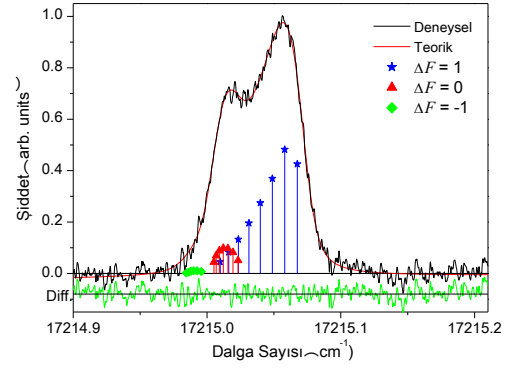
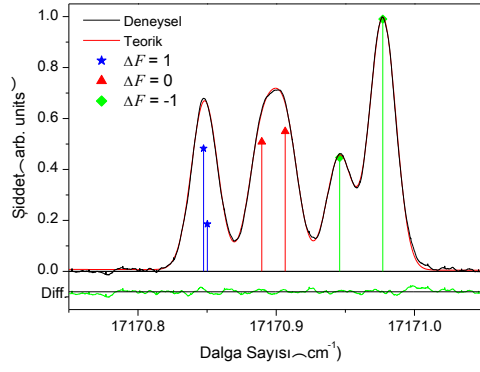
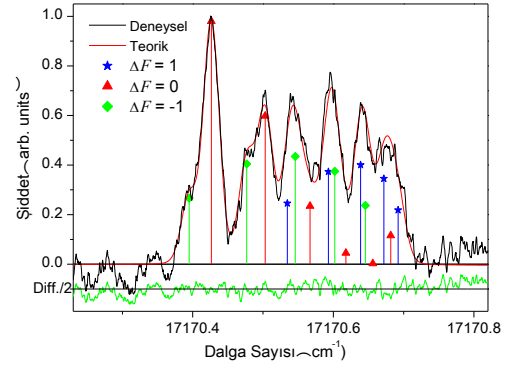
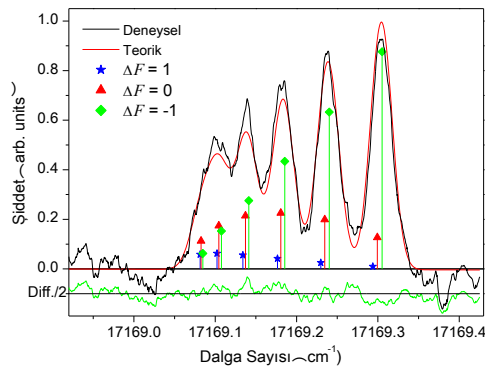
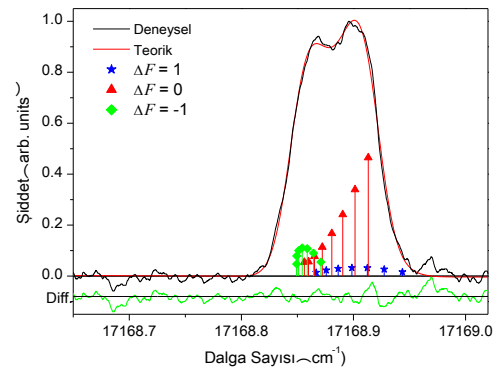


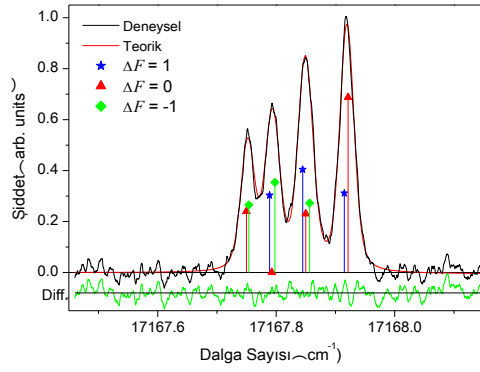
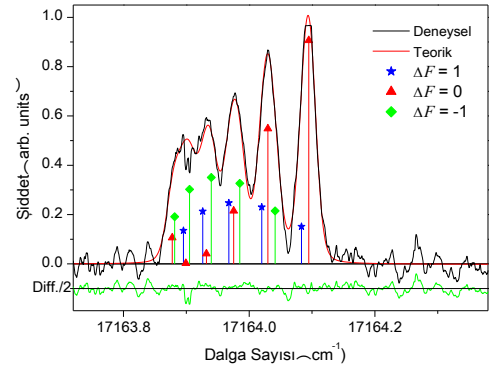
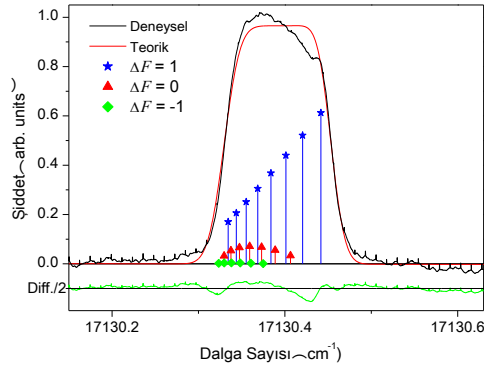
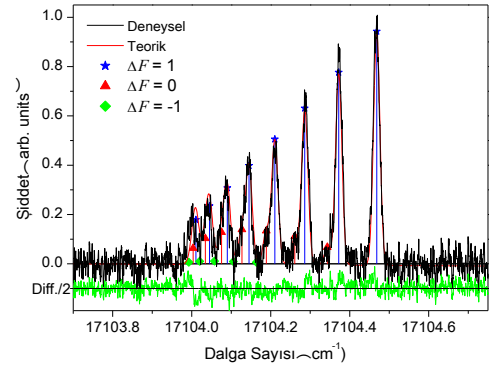
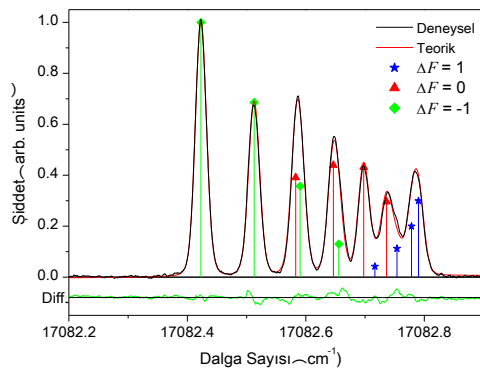
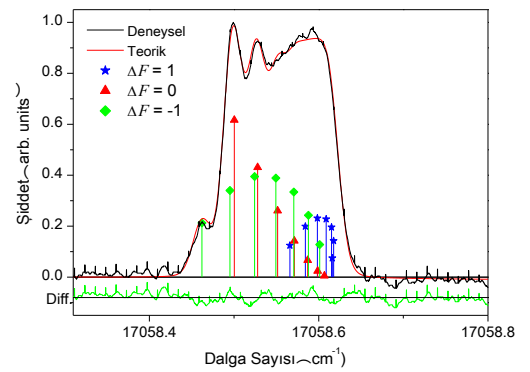
Şekil.Ek2.21. $\lambda=577.1498 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17321.720 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.22. $\lambda=577.6161 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17307.736 \text{ cm}^{-1}$

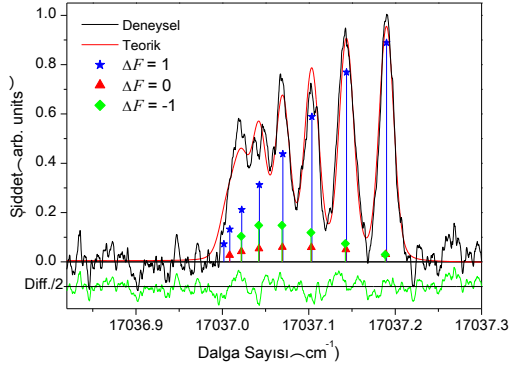
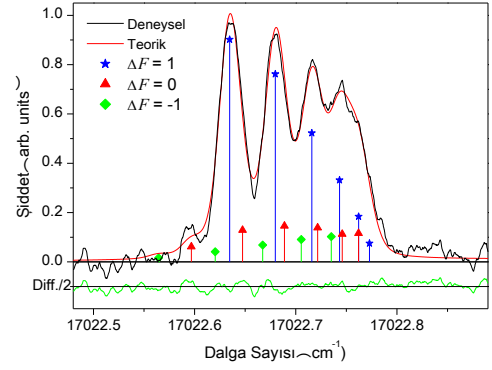
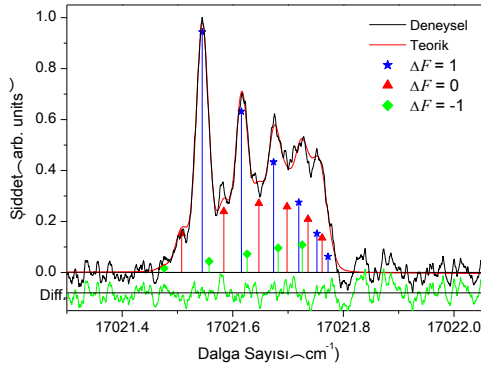
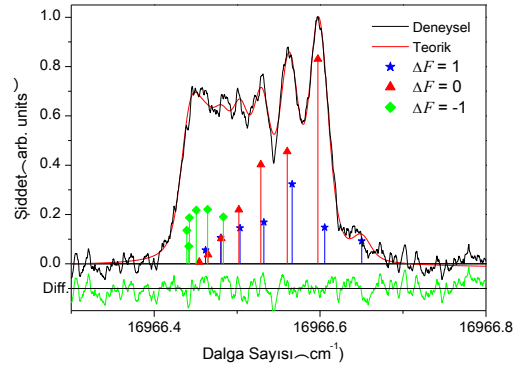
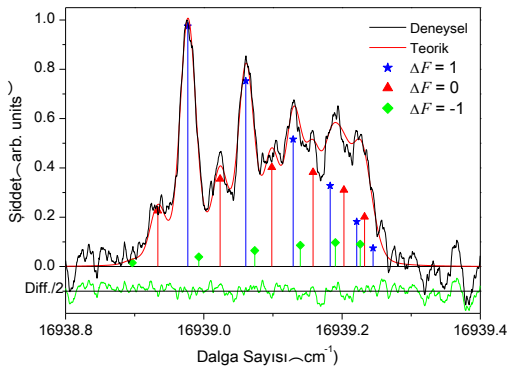
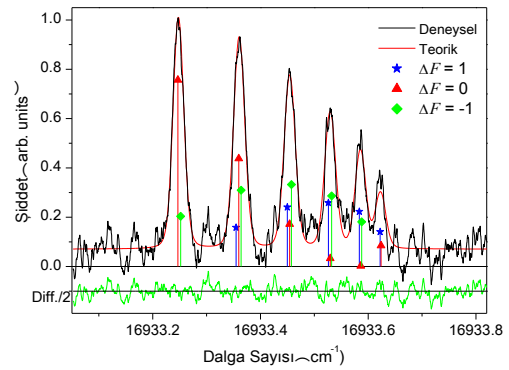


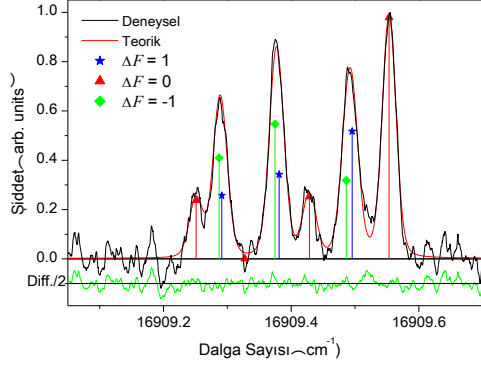
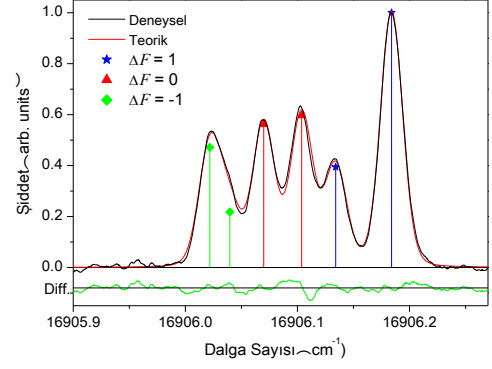
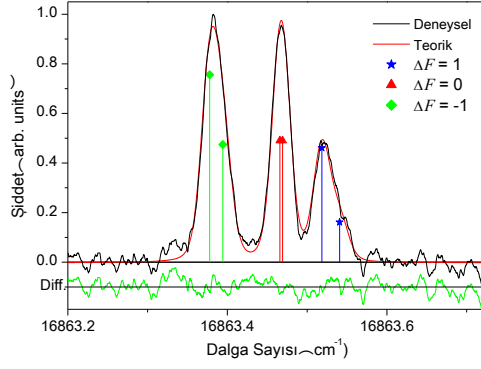
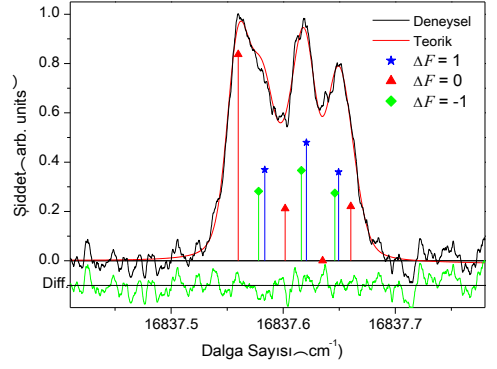
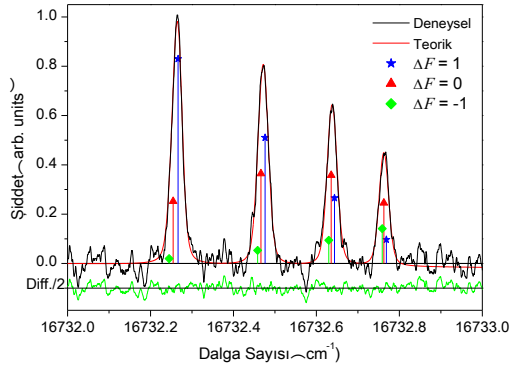
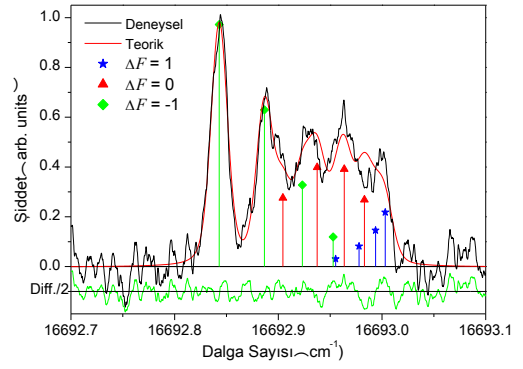
Şekil.Ek2.23. $\lambda=577.7289 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17304.357 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.24. $\lambda=578.0919 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17293.491 \text{ cm}^{-1}$

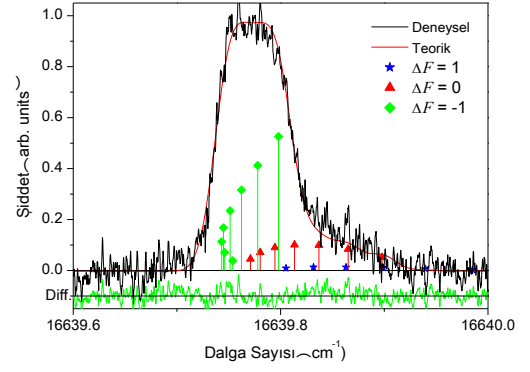
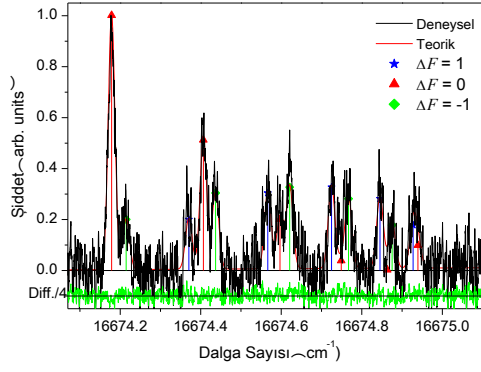
Şekil.Ek2.25. $\lambda=578.429 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17283.413 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.26. $\lambda=579.2338 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17282.293 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.27. $\lambda=578.6152 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17277.851 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.28. $\lambda=578.8082 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17272.090 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.29. $\lambda=579.2338 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17259.399 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.30. $\lambda=580.2338 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17229.654 \text{ cm}^{-1}$

Şekil.Ek2.31. $\lambda=580.6845 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17216.281 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.32. $\lambda=580.7263 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17215.042 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.33. $\lambda=582.2192 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17170.900 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.34. $\lambda=582.2306 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17170.560 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.35. $\lambda=582.2769 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17169.199 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.36. $\lambda=582.2874 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17168.889 \text{ cm}^{-1}$

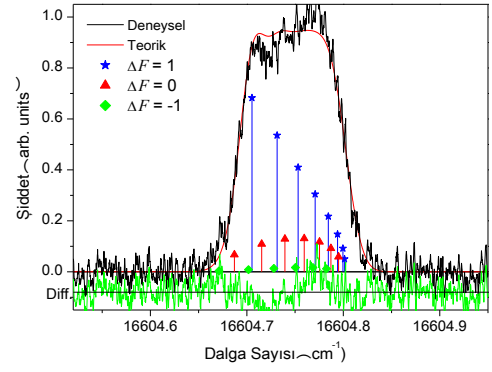
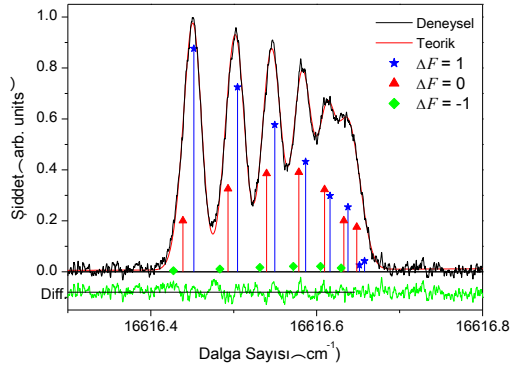
Şekil.Ek2.37. $\lambda=582.3234 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17167.828 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.38. $\lambda=582.4504 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17164.085 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.39. $\lambda=583.5957 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17130.401 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.40. $\lambda=584.4893 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17104.211 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.41. $\lambda=585.2268 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17082.657 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.42. $\lambda=586.0525 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17058.589 \text{ cm}^{-1}$

Şekil.Ek2.43. $\lambda=586.7901 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17037.146 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.44. $\lambda=587.2876 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17022.714 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.45. $\lambda=587.325 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=17021.630 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.46. $\lambda=589.2310 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16966.570 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.47. $\lambda=590.1843 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16939.165 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.48. $\lambda=590.382 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16933.493 \text{ cm}^{-1}$

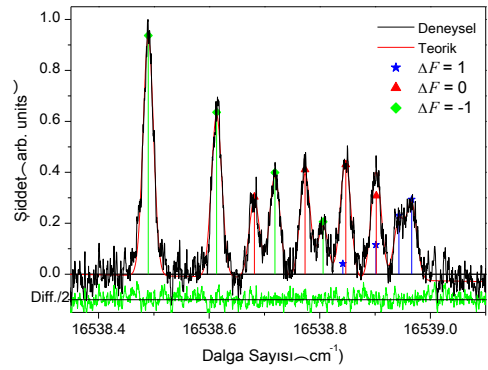
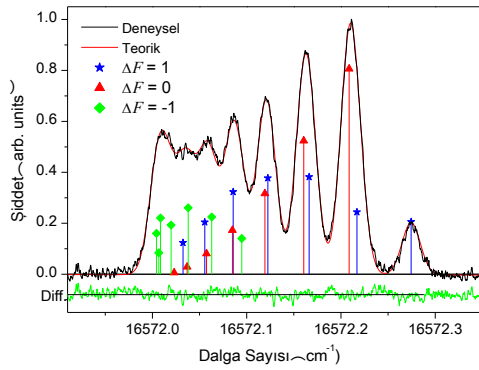
Şekil.Ek2.49. $\lambda=591.2210 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16909.463 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.50. $\lambda=591.3383 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16906.108 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.51. $\lambda=592.8378 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16863.347 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.52. $\lambda=593.7425 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16837.652 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.53. $\lambda=597.4704 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16732.595 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.54. $\lambda=598.8908 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16692.911 \text{ cm}^{-1}$



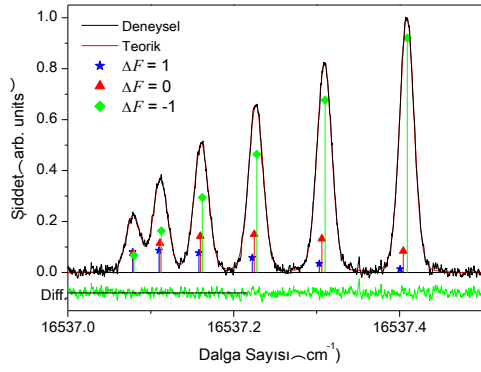
Şekil.Ek2.55. $\lambda=599.5497 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16674.565 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.56. $\lambda=600.8029 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16639.785 \text{ cm}^{-1}$



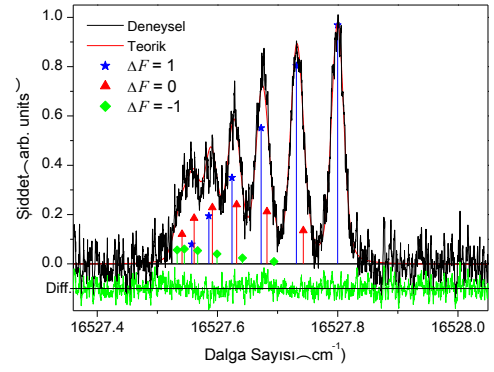
Şekil.Ek2.57. $\lambda=601.6433 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16616.542 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.58. $\lambda=602.0697 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16604.774 \text{ cm}^{-1}$



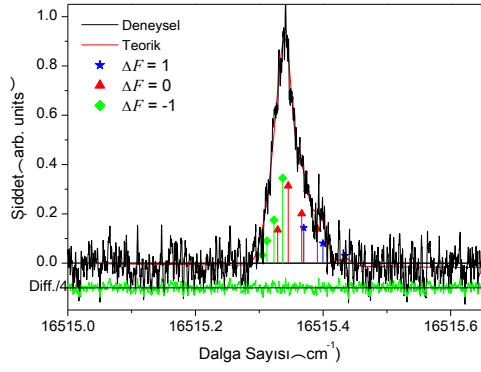
Şekil.Ek2.59. $\lambda=603.2561 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16572.118 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.60. $\lambda=604.4714 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16538.800 \text{ cm}^{-1}$



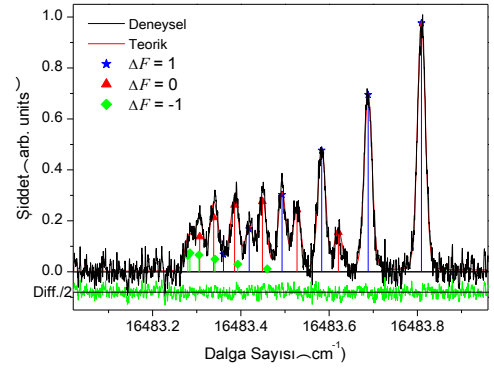
Şekil.Ek2.61. $\lambda=604.5275 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16537.265 \text{ cm}^{-1}$



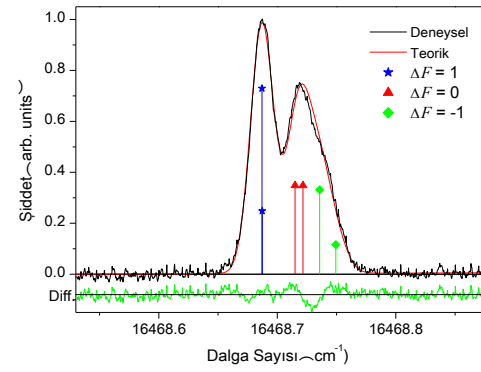
Şekil.Ek2.62. $\lambda=604.878 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16527.682 \text{ cm}^{-1}$



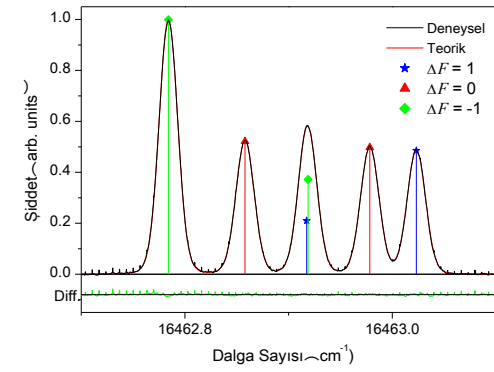
Şekil.Ek2.63. $\lambda=605.3298 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16515.347 \text{ cm}^{-1}$



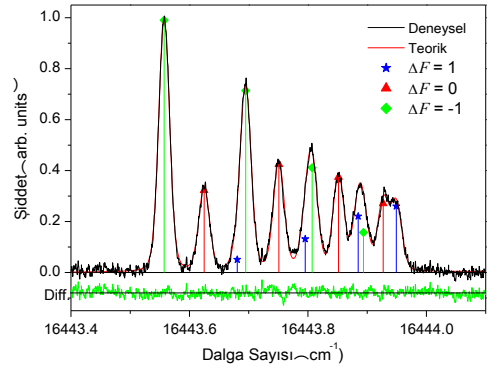
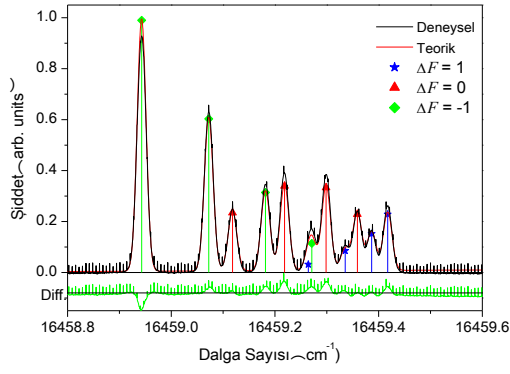
Şekil.Ek2.64. $\lambda=606.498 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16483.536 \text{ cm}^{-1}$



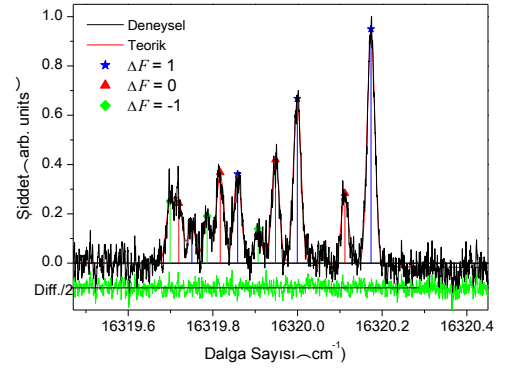
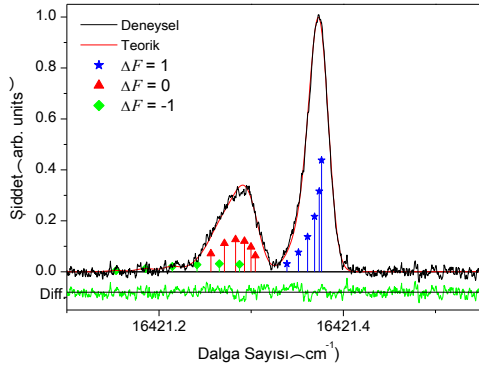
Şekil.Ek2.65. $\lambda=607.0419 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16468.767 \text{ cm}^{-1}$



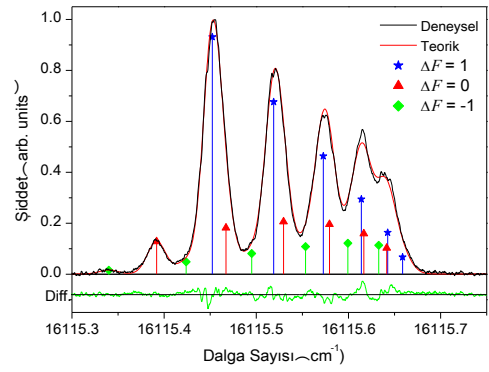
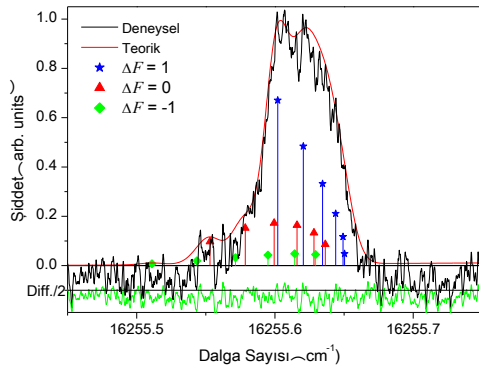
Şekil.Ek2.66. $\lambda=607.2573 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16462.926 \text{ cm}^{-1}$



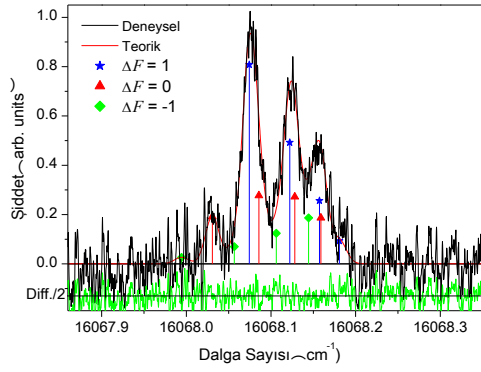
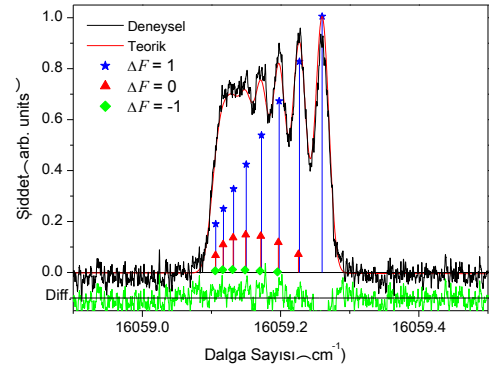
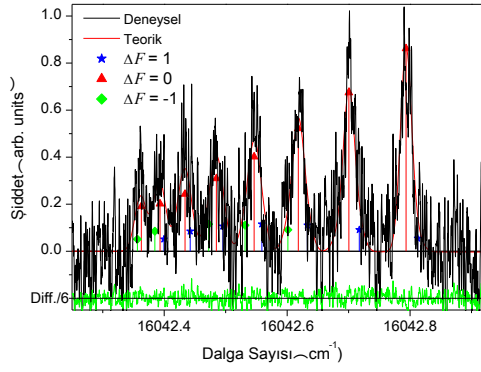
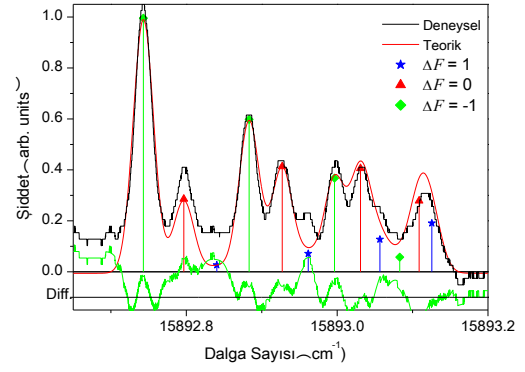
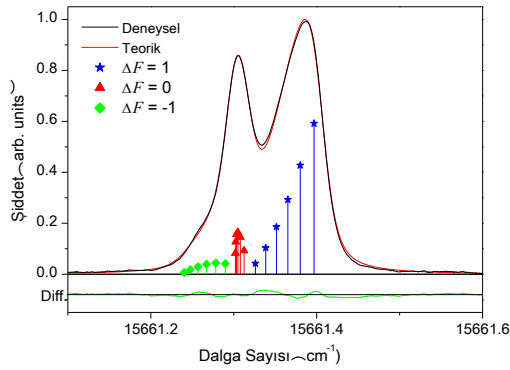
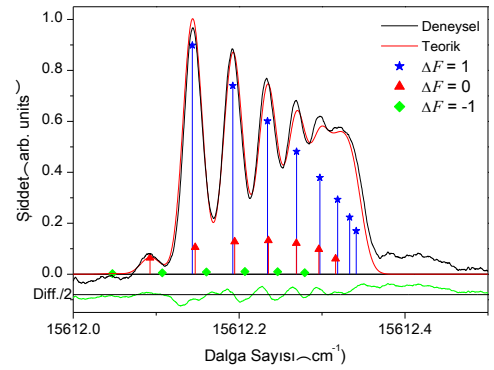
Şekil.Ek2.67. $\lambda=607.3950 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16459.193 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.68. $\lambda=607.9665 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16443.722 \text{ cm}^{-1}$

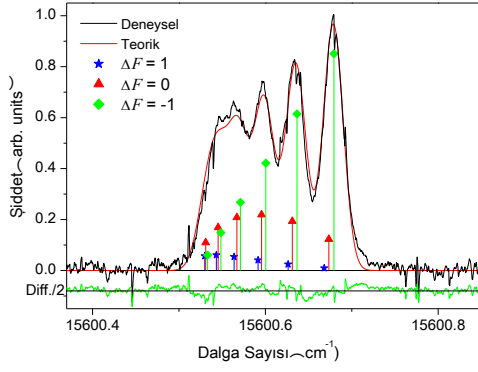
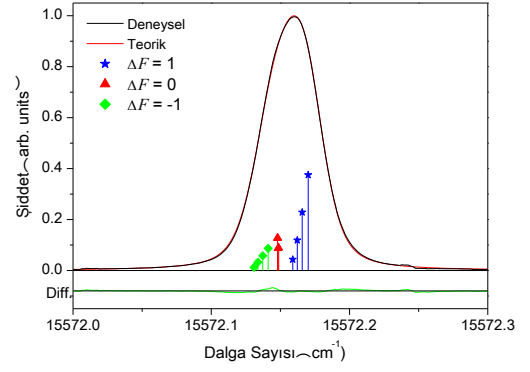
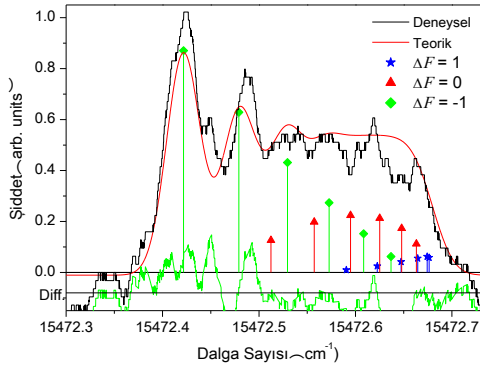
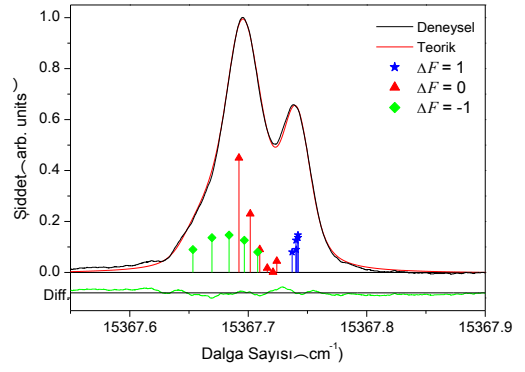
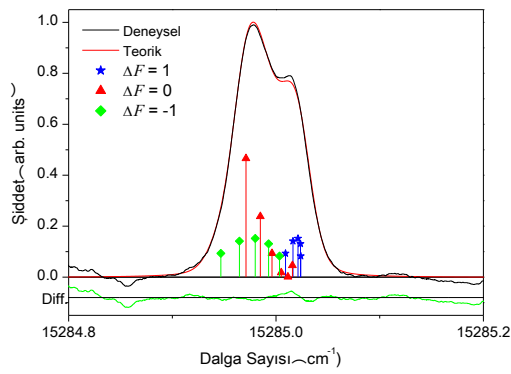
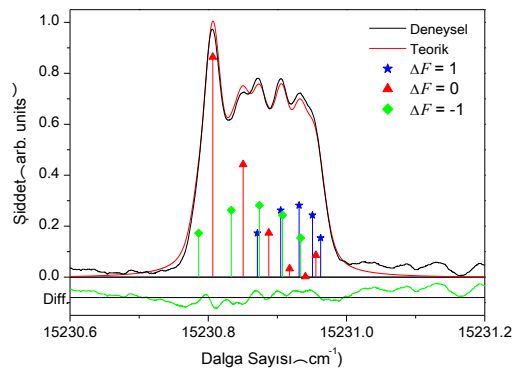


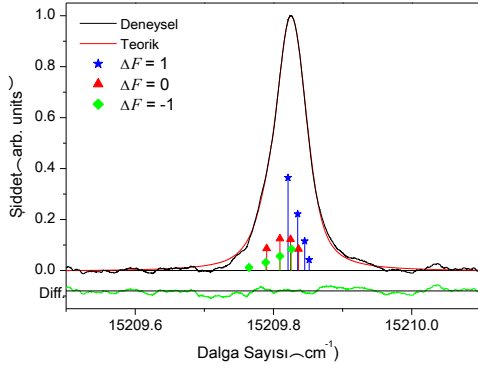
Şekil.Ek2.69. $\lambda=608.7943 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16421.363 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.70. $\lambda=612.5768 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16319.966 \text{ cm}^{-1}$



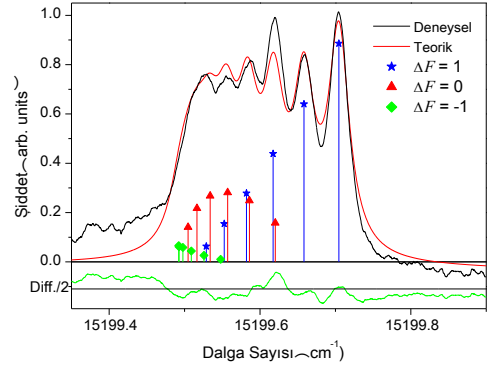
Şekil.Ek2.71. $\lambda=615.0011 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16255.634 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.72. $\lambda=620.3478 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16115.530 \text{ cm}^{-1}$

Şekil.Ek2.73. $\lambda=622.1793 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16068.091 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.74. $\lambda=622.5242 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16059.189 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.75. $\lambda=623.169 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=16042.573 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.76. $\lambda=629.0365 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=15892.933 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.77. $\lambda=638.338 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=15661.352 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.78. $\lambda=640.3460 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=15612.241 \text{ cm}^{-1}$

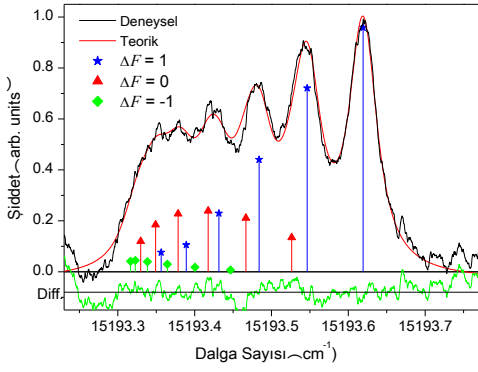
Şekil.Ek2.79. $\lambda=640.823 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=15600.620 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.80. $\lambda=641.9935 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=15572.177 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.81. $\lambda=646.127 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=15472.557 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.82. $\lambda=650.535 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=15367.716 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.83. $\lambda=654.055 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=15285.0111 \text{ cm}^{-1}$ Şekil.Ek2.84. $\lambda=656.379 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=15230.893 \text{ cm}^{-1}$



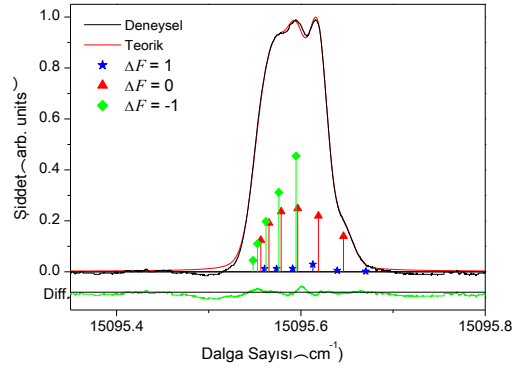
Şekil.Ek2.85. $\lambda=657.287 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=15209.852 \text{ cm}^{-1}$



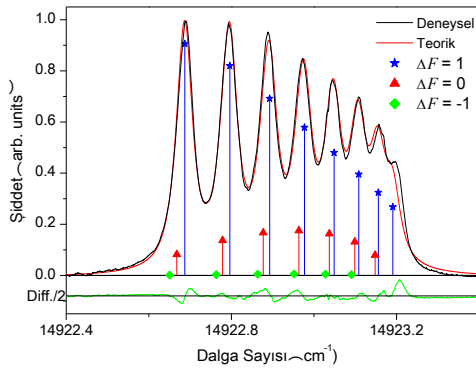
Şekil.Ek2.86. $\lambda=657.731 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=15199.585 \text{ cm}^{-1}$



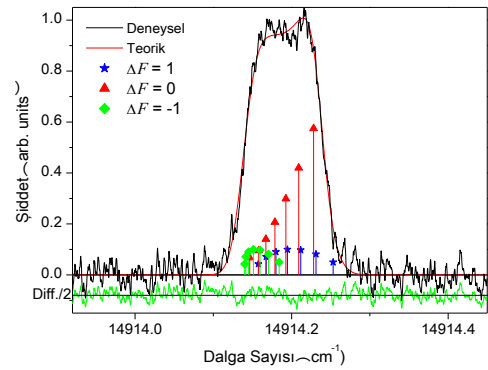
Şekil.Ek2.87. $\lambda=657.995 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=15193.487 \text{ cm}^{-1}$



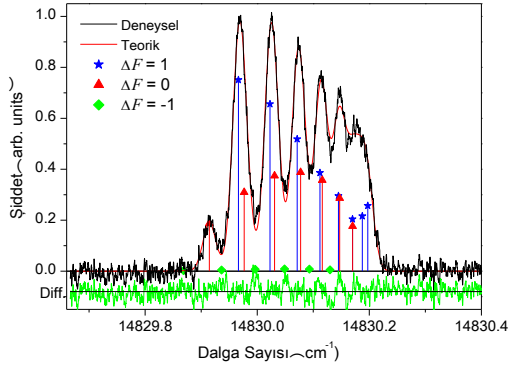
Şekil.Ek2.88. $\lambda=662.2605 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=15095.626 \text{ cm}^{-1}$



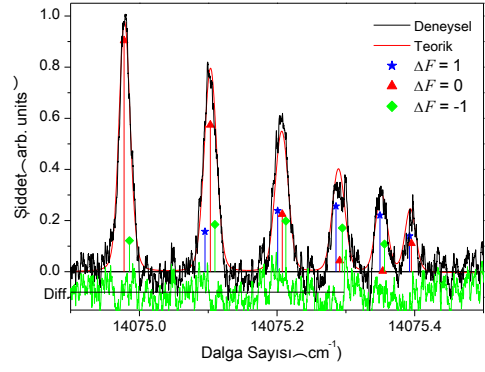
Şekil.Ek2.89. $\lambda=669.9238 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=14922.950 \text{ cm}^{-1}$



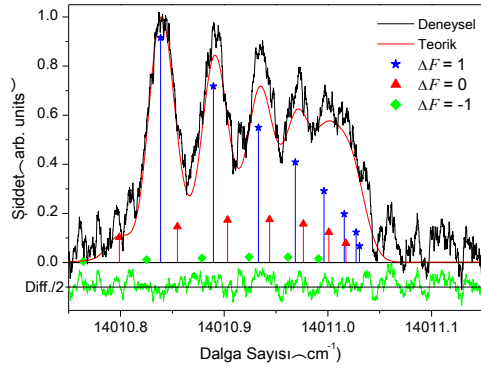
Şekil.Ek2.90. $\lambda=670.3164 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=14914.210 \text{ cm}^{-1}$



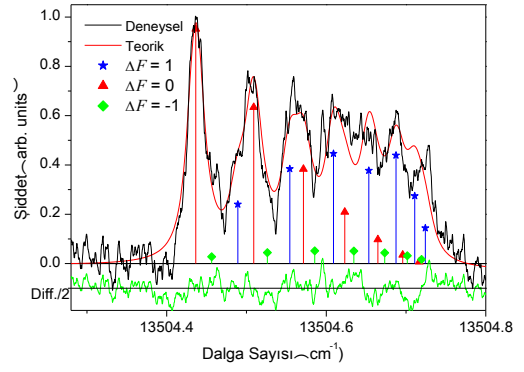
Şekil.Ek2.91. $\lambda=674.1194 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=14830.073 \text{ cm}^{-1}$



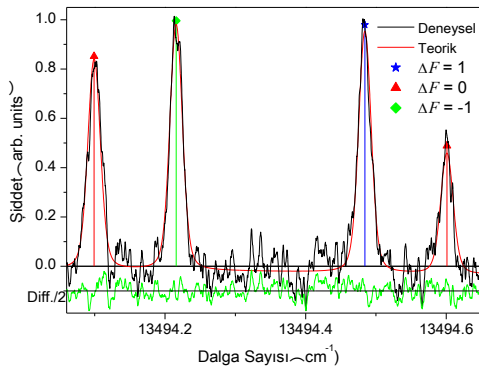
Şekil.Ek2.92. $\lambda=710.2744 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=14075.185 \text{ cm}^{-1}$



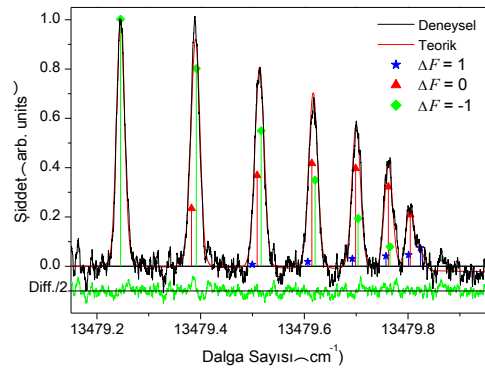
Şekil.Ek2.93. $\lambda=713.5306 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=14010.953 \text{ cm}^{-1}$



Şekil.Ek2.94. $\lambda=740.2851 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=13504.589 \text{ cm}^{-1}$

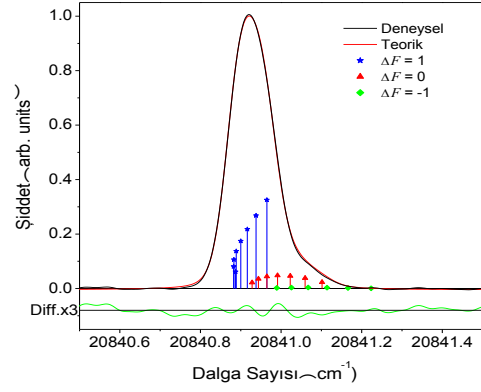
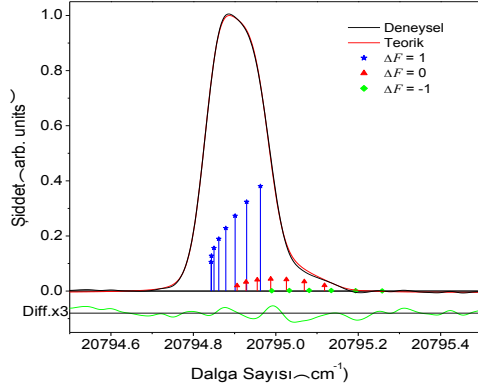


Şekil.Ek2.95. $\lambda=740.8481 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=13494.326 \text{ cm}^{-1}$

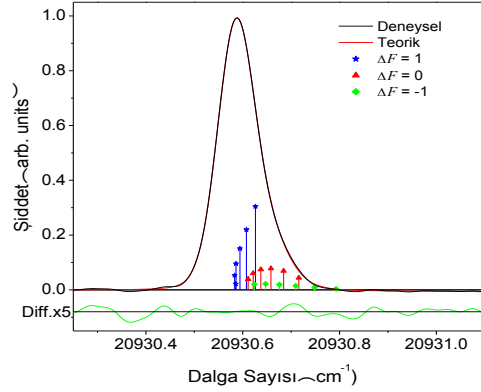
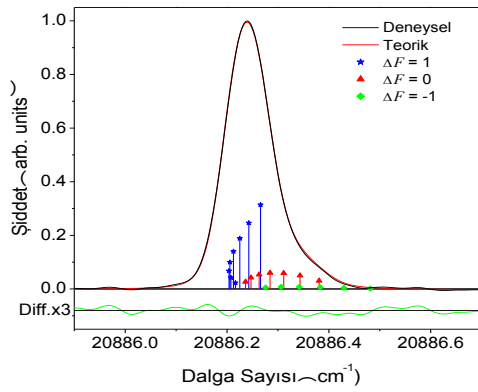


Şekil.Ek2.96. $\lambda=741.6607 \text{ nm}$; $\bar{\nu}=13479.541 \text{ cm}^{-1}$

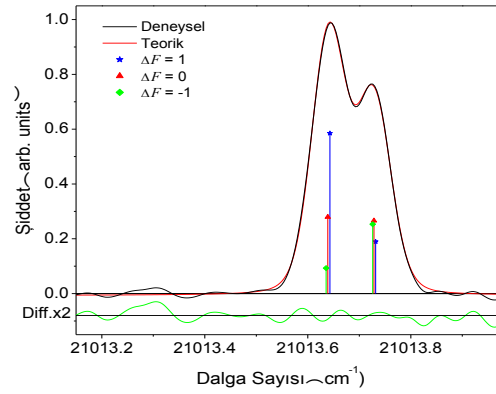
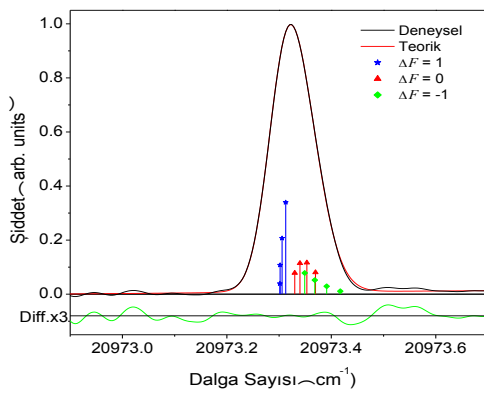
Ek - 3



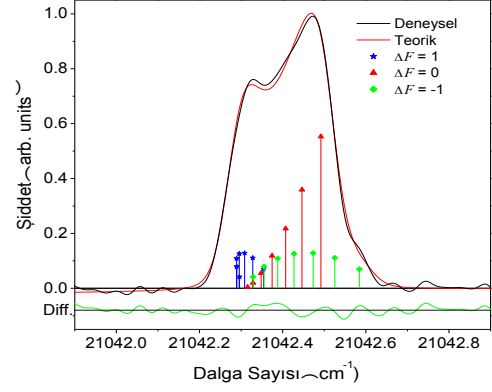
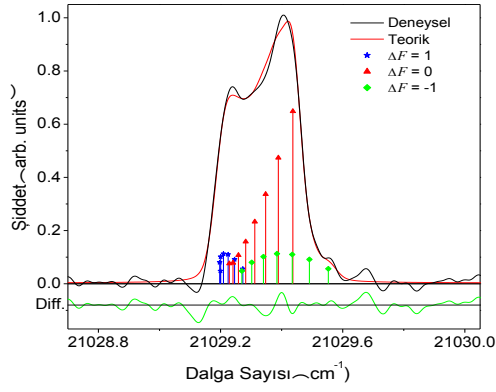
Şekil.Ek3.1. $\lambda=480.75237$ nm; $\bar{\nu}=20794.918$ cm^{-1} Şekil.Ek3.2. $\lambda=479.69076$ nm; $\bar{\nu}=20840.938$ cm^{-1}



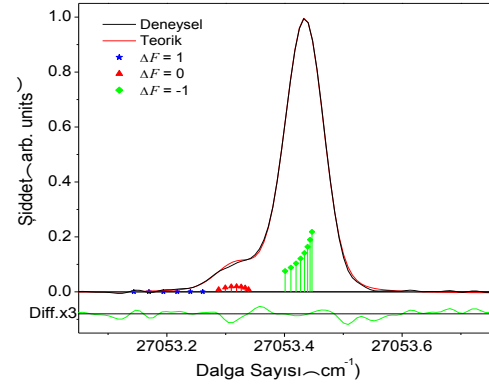
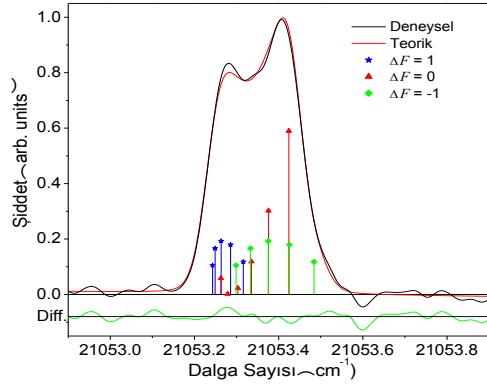
Şekil.Ek3.3. $\lambda=478.64995$ nm; $\bar{\nu}=20886.255$ cm^{-1} Şekil.Ek3.4. $\lambda=477.63579$ nm; $\bar{\nu}=20930.602$ cm^{-1}



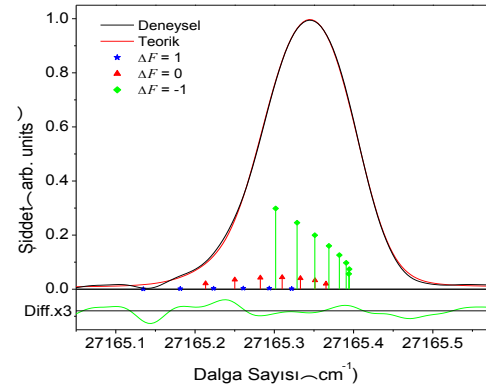
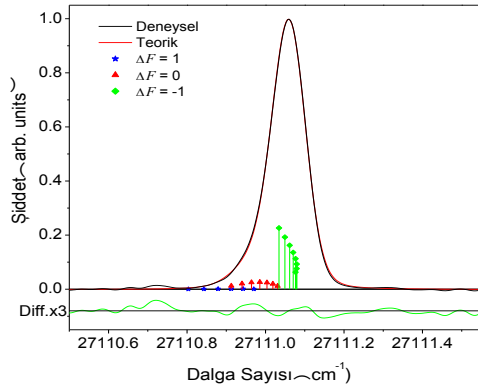
Şekil.Ek3.5. $\lambda=476.66245$ nm; $\bar{\nu}=20973.342$ cm^{-1} Şekil.Ek3.6. $\lambda=475.74736$ nm; $\bar{\nu}=21013.683$ cm^{-1}



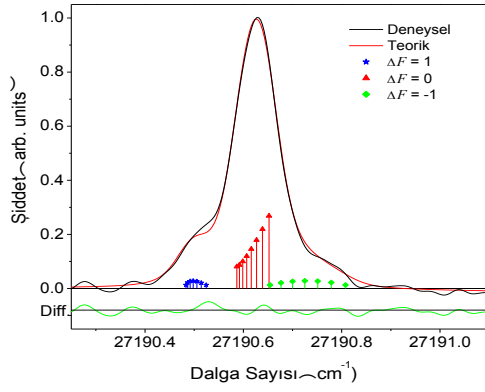
Şekil.Ek3.7. $\lambda=475.39313$ nm; $\bar{\nu}=21029.341$ cm^{-1} Şekil.Ek3.8. $\lambda=475.09771$ nm; $\bar{\nu}=21042.417$ cm^{-1}



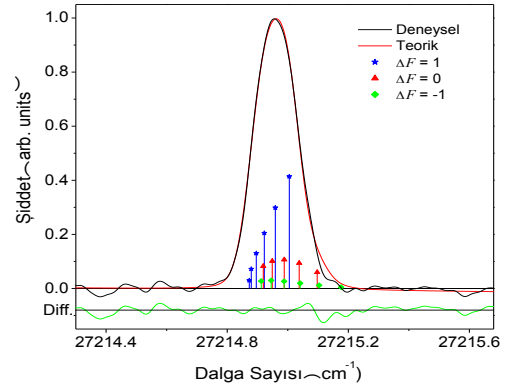
Şekil.Ek3.9. $\lambda=474.85082$ nm; $\bar{\nu}=21053.357$ cm^{-1} Şekil.Ek3.10. $\lambda=369.53392$ nm; $\bar{\nu}=27053.416$ cm^{-1}



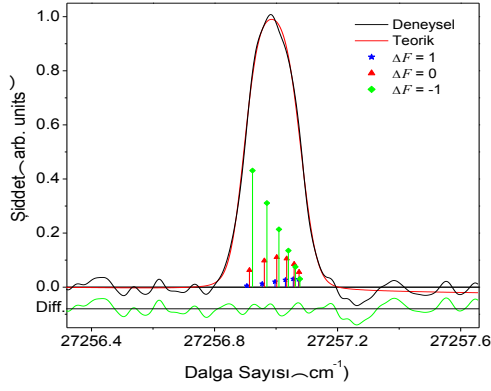
Şekil.Ek3.11. $\lambda=368.74827$ nm; $\bar{\nu}=27111.054$ cm^{-1} Şekil.Ek3.12. $\lambda=368.01129$ nm; $\bar{\nu}=27165.345$ cm^{-1}



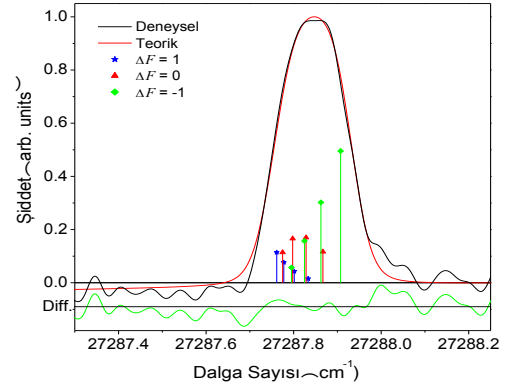
Şekil.Ek3.13. $\lambda=367.66843$ nm; $\bar{\nu}=27190.676$ cm^{-1}



Şekil.Ek3.14. $\lambda=367.34027$ nm; $\bar{\nu}=27214.966$ cm^{-1}



Şekil.Ek3.15. $\lambda=366.77381$ nm; $\bar{\nu}=27256.997$ cm^{-1}



Şekil.Ek3.16. $\lambda=366.35915$ nm; $\bar{\nu}=27287.847$ cm^{-1}

ÖZGEÇMİŞ

09.01.1982 Çankaya, Ankara doğumluyum. İlk öğrenimimi 1987-1992 yılları arasında Sarıyer İlköğretim Okulu'nda (Sarıyer,İstanbul), orta öğrenimimi 1992-1995 yılları arasında Sarıyer Ortaokulu'nda (Sarıyer,İstanbul), lise öğrenimimi de 1995-1999 yılları arasında Behçet Kemal Çağlar Süper Lisesi'nde (Baltalimanı,İstanbul) tamamladım.

2000-2004 yılları arasında, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü'nde (Vezneciler,İstanbul) üniversite öğrenimi gördüm. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Atom ve Molekül Fiziği Programı'nda (2004-2007) "Manganez I Elementinin Tek Konfigürasyonlarındaki İnce ve Aşırı ince Yapılarının İncelenmesi" adlı tez konusu ile yüksek lisans öğrenimimi tamamladım.

2007 yılında İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Atom ve Molekül Fiziği Programı'nda doktora öğrenimime başladım. Aralık, 2008'de İstanbul Fizik Bölümü, Atom ve Molekül Fiziği Programı'nda araştırma görevlisi olarak göreve başladım ve halen bu görevime devam etmekteyim.

16 Mayıs-24 Haziran 2005, İtalya'da yapılan International Summer School on Soft Matter: Nanoscience and Photonics, Science başlıklı yaz okuluna tam burslu olarak ve NOMA (Technology – 7th International Conference on Novel Materials and Applications) konferansına dinleyici olarak katıldım.

03-08 Eylül 2006 tarihinde arasında İstanbul'da yapılan XXVIII European Congress on Molecular Spectroscopy konferansına dinleyici olarak katıldım. 05-07 Nisan 2007 tarihinde İstanbul'da yapılan The International Congress on Spectroscopic Methods for Conservation of Cultural Heritage konferansına dinleyici olarak katıldım.

2008 yılında (15 Temmuz - 15 Ağustos 2008), 2009 yılında (1 Temmuz - 24 Eylül 2009) ve 2010 yılında (1 Ağustos -31 Ağustos 2010), Avusturya Graz Teknik Üniversitesi, Deneysel Fizik Enstitüsü, Laser Spektroskopi Laboratuvarında doktora tez çalışmamla ilgili deneysel çalışmalar yaptım.

27 Ekim-29 Ekim 2009, İstanbul – Tuzla'da yapılan 13. Ulusal Sıvıhal Fiziği Sempozyumu'na "Lantan Elementinin Aşırı İnce Yapısının İncelenmesi", (F.Güzelçimen, Gö. Başar) adlı sözlü sunumla katıldım.

4-9 Temmuz 2010, Salamanca, İspanya’da yapılan 10th European Conference on Atoms Molecules and Photons ECAMP X konferansına “The Hyperfine Structure Analysis of Lanthanum I Lines in The Spectral Range of 595-635 nm”, (F. Güzelçimen, A. Er, G. Başar, S. Kröger, M.Raith, I. Siddiqui, L. Windholz), ve “Hyperfine Structure of Niobium I Using Laser-Induced Fluorescence Spectroscopy”, (A. Er, F. Güzelçimen, İ. K. Öztürk, G. Başar, S. Kröger, I. Siddiqui, L. Windholz), adlı posterlerle katıldım.

14-17 Eylül 2010, İstanbul, Türkiye’de yapılan TFD’ye (Turkish Physical Society 27th International Physics Conference) “Hyperfine Structure Investigation in Neutral Lanthanum Lines Using Laser-Induced Fluorescence Spectroscopy”, (F. Güzelçimen, A. Er, G. Başar, S. Kröger, M.Raith, I. Siddiqui, L. Windholz), ve “Experimental Hyperfine Structure Investigations of ⁹³Nb by Laser-Induced Fluorescence Spectroscopy”, (A. Er, F. Güzelçimen, İ. K. Öztürk, G. Başar, S. Kröger, I. Siddiqui, L. Windholz), adlı posterlerle katıldım.

28 Haziran- 2 Temmuz 2011, Fribourg, İsviçre’de düzenlenen EGAS’a (43rd Congress Of The European Group on Atomic Systems) “Hyperfine Structure Measurements and Determination of New Energy Levels of Atomic Lanthanum by Laser Induced Fluorescence Spectroscopy”, (F. Güzelçimen, Gö. Başar, S. Kröger, I. Siddiqui, L. Windholz) ve “Hyperfine Structure Measurements in the 3d³4s4p ⁶G_J Levels of Atomic Vanadium with Fourier Transform Spectroscopy”, (Gö. Başar, F. Güzelçimen, A. Jarmola, M. Tamanis, R. Ferber and S. Kröger) ve “Laser Induced Fluorescence Spectroscopy of Atomic Niobium in the Wavelength Range of 560 nm to 620 nm”, (A. Er, İ. K. Öztürk, F. Güzelçimen, Gö. Başar, I. Siddiqui, L. Windholz and S. Kröger), adlı posterlerle katıldım.

06-09 Eylül 2011, Bodrum –Türkiye’de yapılan TFD’ye (Turkish Physical Society 27th International Physics Conference) “Discovery of New Even-parity Energy Levels of Neutral Lanthanum by Laser Induced Fluorescence Spectroscopy”, (F. Güzelçimen, Gö. Başar, S. Kröger, I. Siddiqui, L. Windholz) ve “Experimental Hyperfine Structure Investigations with High Resolution Spectroscopy and Classifications of Atomic Niobium Spectral Lines”, (A. Er, İ. K. Öztürk, F. Güzelçimen, Gö. Başar, I. Siddiqui, L. Windholz, S. Kröger) ve “Parametric Studies of the Fine Structure in the Even Parity Configurations of Sc I”, (İ. K. Öztürk, G. Başar, A. Er, F. Güzelçimen, F. G. Acar, S. Kröger) adlı posterlerle katıldım.

Bu doktora tez çalışmasında Vanadium elementinin yüksek çözünürlüklü Fourier Transform Spektroskopisi yöntemi ile elde edilen bulgular, “Hyperfine Structure of the 3d³4s4p ⁶G Multiplet of Atomic Vanadium”, (F. Güzelçimen, Gö. Başar, İ. K. Öztürk, S. Kröger, R. Ferber, A. Jarmola, M. Tamanis, Gü. Başar), adlı makale olarak Ekim, 2011’de *Journal of Physics B-Atomic, Molecular and Optical Physics*, 44, 215001’de yayımlandı.