



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



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**NİOBYUM'UN MOR ÖTESİ BÖLGEDE SPEKTRAL
ÇİZGİLERİNİN SINIFLANDIRILMASI VE AŞIRI İNCE
YAPISININ İNCELENMESİ**

Yasemin ŞENGÜL

Fizik Anabilim Dalı

Atom ve Molekül Fiziği Programı

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Alev ER**

Temmuz, 2019

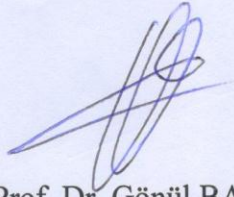
İSTANBUL

Bu çalışma, 5.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı, Atom ve Molekül Fiziği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi



Doç. Dr. Alev ER(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Gönül BAŞAR
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Doç. Dr. Sefa ÇELİK
İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



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

[]

[]

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimim süresince tez çalışmamın her aşamasında bana her zaman bilgisiyle ve ilgisiyle yardımda bulunup, hiç bir konuda desteğini esirgemeyen, danışman hocam Doç. Dr. Alev Er'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışmamın deneysel kısımlarında bana destek veren Prof. Dr. Gönül Başar'a ve Prof. Dr. Sophie Kröger'e teşekkür ederim.

Tez çalışmamdaki Fourier transform yöntemi ile yapılan deneylerde bana destek veren Letonya Üniversitesi Atom Fiziği ve Spektroskopisi Enstitüsü Fizik Bölümü'ne teşekkür ederim.

Bu çalışmayı destekleyen İstanbul Üniversitesi'ne, ayrıca teşekkür ederim.

Son olarak hayatım boyunca bana destek veren bugünlere gelmem için emek gösteren aileme sonsuz saygı, sevgi ve teşekkürlerimi sunarım. |

Temmuz 2019

|Yasemin ŞENGÜL|

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	7
3.1 NİYOBYUM (Nb) ATOMU.....	7
3.2 NİYOBYUM (Nb) ATOMUNUN İNCE VE AŞIRI İNCE YAPISI.....	8
3.3. PERİYODİK SİSTEMİN YAPISI.....	9
3.4. ÇOK ELEKTRONLU ATOMLAR	12
3.5. ATOMLARDA İNCE YAPI ETKİSİ.....	14
3.6. AÇISAL MOMENTUM ÇİFTLENİMLERİ.....	17
3.7. ATOMLARDA AŞIRI İNCE YAPI ETKİSİ	19
3.8. AŞIRI İNCE YAPININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ.....	24
3.8.1. Fourier Transform Spektroskopisi	24
3.8.1.1. Michelson İnterferometresi.....	25
3.8.1.2. Silindir Katot	27
3.8.2. Niyobyum (Nb) Atomunun Aşırı İnce Yapısının Fourier Transform Spektroskopisi (FTS) Yöntemi ile İncelenmesi	28
3.9. SPEKTRAL ÇİZGİLERDE ÇİZGİ GENİŞLEMELERİ.....	29
3.9.1. Doğal Çizgi Genişlemesi.....	29
3.9.2. Doppler Çizgi Genişlemesi.....	31
3.9.3. Basınç Çizgi Genişlemesi.....	32
3.9.4. Satürasyon Çizgi Genişlemesi.....	32
3.9.5. Birleşik Çizgi Genişlemeleri	33

3.10. SPEKTRUMLARIN İNCELENMESİNDE KULLANILAN BİLGİSAYAR PROGRAMLARI.....	34
3.10.1. Classification Programı	34
3.10.1.1. İnce Yapı Çizgilerinin Classification Programı Aracılığıyla Sınıflandırılması.....	35
3.10.2. Simülasyon Programı	38
3.10.3.Fitter Programı.....	39
4. BULGULAR.....	42
4.1. Nb Atomunun Spektral Çizgilerinin Sınıflandırılması.....	42
4.2. Nb Atomunun Aşırı İnce Yapısının İncelenmesi	49
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	62
KAYNAKLAR.....	62
EKLER	71
EK 1. Sınıflandırılan Nb I spektral çizgileri	71
EK 2. Sınıflandırılan Nb II spektral çizgileri	86
EK 3. İlk kez gözlenen Nb veya Ne olabilecek sınıflandırılmamış çizgiler.....	117
EK 4. Ne I'e ait gözlenen çizgilerin listesi.....	140
EK 5. Ne II'ye ait gözlenen çizgilerin listesi.....	143
ÖZGEÇMİŞ.....	149

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1 : Nb elementi.....	8
Şekil 3.2: Periyodik cetvel.....	10
Şekil 3.3 : a. Yörünge açısal momentumunun vektör çizimi.....	16
Şekil 3.3 : b. Spin açısal momentum konileri.....	16
Şekil 3.3 : c. Elektronun toplam açısal momentumu.....	16
Şekil 3.4 : Dış alan şiddeti zayıf olan bir LS-çiftlenimi	17
Şekil 3.5 : Manyetik alanı Paschen-Back bölgesinde olan iki elektronlu bir atomun JJ-çiftlenimi.....	18
Şekil 3.6 : Atomun toplam açısal momentumunun vektör çizimi.....	19
Şekil 3.7 : a. Nb I atomunun $\lambda=288.9898$ nm dalgaboyundaki $J=5/2 \rightarrow J=5/2$ ince yapı geçişine ait aşırı ince yapı yarılımları ve aşırı ince yapısının teorik spektrumu.....	23
Şekil 3.7 : b. Nb I atomunun $\lambda=288.9898$ nm dalgaboyundaki $J=5/2 \rightarrow J=5/2$ geçişine ait aşırı ince yapı yarılımları ve mümkün olan geçişler.....	23
Şekil 3.8: Fourier Transform Spektroskopisi deney düzeneği.....	25
Şekil 3.9 : Michelson Interferometresi	26
Şekil 3.10 : Silindir katot lambası	27
Şekil 3.11 : Eşit yarıgenişliklerde Gauss ve Lorentz profillerinin karşılaştırılması	31
Şekil 3.12: Hareketli bir ışık kaynağına göre Doppler etkisi	31
Şekil 3.13 : Voigt profili	33
Şekil 3.14 : Classification programının pencereleri.....	36
Şekil 3.15 : Simülasyon programının menüsü.....	38

Şekil 3.16: $\lambda=309.4172$ nm dalga boylu spektral çizgisi için Fitter programının giriş dosyası.....	41
Şekil 4.1: Nb elementinin Fourier Transform Spektrumları.....	51
Şekil 4.1: a. $25000\text{ cm}^{-1} - 50000\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki tüm spektrumu.....	51
Şekil 4.1: b. Spektrumun $33870\text{ cm}^{-1} - 33930\text{ cm}^{-1}$ aralığından bir kesit.....	51
Şekil 4.1: c. Bu aralıkta $\bar{\nu}=33878.370\text{ cm}^{-1}$ dalgasayılı spektral geçiş.....	51
Şekil 4.2: Nb I'e ait $\lambda=287.4564$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.....	54
Şekil 4.3: Nb I'e ait $\lambda=288.9898$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.....	54
Şekil 4.4: Nb I'e ait $\lambda=222.8032$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.....	55
Şekil 4.5: Nb I'e ait $\lambda=222.0184$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.....	55
Şekil 4.6: Nb I'e ait $\lambda=222.5343$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.....	55
Şekil 4.7: Nb I'e ait $\lambda=222.3672$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.....	56
Şekil 4.8: Nb I'e ait $\lambda=269.8540$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.....	56
Şekil 4.9: Nb I'e ait $\lambda=222.7706$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.....	56
Şekil 4.10: Nb II'ye ait $\lambda=313.0780$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.....	58
Şekil 4.11: Nb II'ye ait $\lambda=309.4172$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.....	59
Şekil 4.12: Nb II'ye ait $\lambda=302.8436$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.....	59
Şekil 4.13: Nb II'ye ait $\lambda=289.7803$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.....	59
Şekil 4.14: Nb II'ye ait $\lambda=294.1536$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.....	60
Şekil 4.15: Nb II'ye ait $\lambda=289.9230$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.....	60
Şekil 4.16: Nb II'ye ait $\lambda=295.0876$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.....	60
Şekil 4.17: Nb II'ye ait $\lambda=292.7804$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.....	61

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 4.1: Sınıflandırılan Nb I spektral çizgileri.....	46
Tablo 4.2: Sınıflandırılan Nb II spektral çizgileri.....	47
Tablo 4.3: İlk kez gözlenen Nb veya Ne olabilecek sınıflandırılmamış çizgiler.....	48
Tablo 4.4: Nb I elementinin aşırı ince yapısı incelenen spektral geçişleri.....	53
Tablo 4.5 : Nb I elementinin Fourier Transform Spektroskopisi ile incelenen spektral geçişlerinin literatürden bilinen ve fit işlemi süresince sabit tutulan çift pariteli enerji seviyelerinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri.....	53
Tablo 4.6 : Bu çalışmada incelenen Nb I elementine ait fit sonucu elde edilen A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri.....	53
Tablo 4.7 : Nb II elementinin aşırı ince yapısı incelenen spektral geçişleri.....	57
Tablo 4.8 : Nb II elementinin Fourier Transform Spektroskopisi ile incelenen spektral geçişlerinin literatürden bilinen ve fit işlemi süresince sabit tutulan çift pariteli enerji seviyelerinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri.....	57
Tablo 4.9 : Bu çalışmada incelenen Nb II elementine ait fit sonucu elde edilen A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri.....	58

SİMGE VE KISALTIMA LİSTESİ

n :	Baş kuantum sayısı
l :	Yörüngesel açısal momentum kuantum sayısı
m_l :	Manyetik kuantum sayısı
m_s :	Manyetik spin kuantum sayısı
L :	Elektronun toplam yörüngesel açısal momentum katsayısı
S :	Elektronun toplam spin açısal momentum katsayısı
μ_j :	Elektronun toplam açısal manyetik momenti
μ_s :	Elektronun toplam spin manyetik momenti
μ_l :	Çekirdeğin spin açısal manyetik dipol momenti
μ_N :	Çekirdek manyetonu
J :	Elektron toplam açısal momentum kuantum sayısı
I :	Çekirdeğin spin açısal momentum kuantum sayısı
F :	Atomun toplam açısal momentum kuantum sayısı
Q :	Çekirdeğin elektrik kuadropol momenti
λ :	Dalgaboyu
σ :	Dalgasayısı
A :	Manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti
B :	Elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti
g :	Lande-g çarpanı

Kısaltmalar Açıklama

FT: Fourier Transform

FTS : Fourier Trasform Spektroskopisi

NIST: National Institue of Standards and Technology

ÖZET

[YÜKSEK LİSANS TEZİ]

[NİOBYUM'UN MOR ÖTESİ BÖLGEDE SPEKTRAL ÇİZGİLERİNİN SINIFLANDIRILMASI VE AŞIRI İNCE YAPISININ İNCELENMESİ]

[Yasemin ŞENGÜL]

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

[Fizik Anabilim Dalı]

Danışman : [Doç. Dr.] [Alev ER]

[Bu çalışmada niyobyum (Nb) elementinin, mor ötesi bölgede ($27922.789 \text{ cm}^{-1}$ - $49261.172 \text{ cm}^{-1}$) Fourier Transform Spektroskopi (FTS) yöntemi kullanılarak incelenen spektral çizgileri sınıflandırıldı ve enerji seviyelerinin aşırı ince yapısı incelendi. Atomik niyobyuma (Nb I) ait 517 spektral çizgi, niyobyum elementinin birinci iyonuna (Nb II) ait 726 spektral çizgi ve Nb veya Ne'na ait 491 spektral çizgi gözlemlendi. 517 Nb I spektral çizgisinden 127'si ilk kez bu çalışmada gözlemlendi. Sınıflandırılan 473 Nb I spektral çizgisinden 126'sı ilk kez bu çalışmada sınıflandırıldı. 726 Nb II spektral çizgisinden 260'ı ilk kez bu çalışmada gözlemlendi. Sınıflandırılan 722 Nb II spektral çizgisinden 292'si ilk kez bu çalışmada sınıflandırıldı. Ayrıca aşırı ince yapı analizi ile Nb I elementine ait 8 spektral çizgi incelendi. 6'sı ilk kez bu çalışmada olmak üzere 7 enerji seviyesinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti belirlendi. Nb II elementine ait 8 spektral çizgi incelendi. 6 enerji seviyesinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti belirlendi ve literatürdeki değerlerle karşılaştırıldı.]

[Temmuz 2019, 163 sayfa.

Anahtar kelimeler: Niyobyum, Mor ötesi bölge, Fourier Transform Spektroskopi,
Sınıflandırma Programı, Aşırı İnce Yapı



SUMMARY

[M.Sc. THESIS]

[SPECTRAL LINES CLASSIFICATION and HYPERFINE STRUCTURE INVESTIGATION of NIOBIUM IN THE ULTRAVIOLET REGION

[Yasemin ŞENGÜL]

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

[Department of Physics]

Supervisor : [Assoc. Prof. Dr.] [Alev ER]

In this study, the spectral lines of the element niobium (Nb) observed in the ultraviolet region ($27922.789 \text{ cm}^{-1} - 49261.172 \text{ cm}^{-1}$) using Fourier Transform Spectroscopy (FTS) method were classified and the hyperfine structure of the energy levels was examined. 517 lines of atomic niobium (Nb I), 726 lines of first ion of niobium (Nb II) and 491 lines of niobium (Nb) or neon (Ne) were observed. 127 of 517 lines of Nb I and 126 of the 473 lines classified of Nb I were observed in this study for the first time. 260 of 726 lines Nb II and 292 of the 722 lines classified Nb II were observed in this study for the first time. Moreover, 8 spectral lines of Nb I and 8 spectral lines of Nb II were examined by hyperfine structure analysis. 7 A magnetic dipole hyperfine structure constant of energy levels of Nb I were determined. 6 of the 7 A magnetic dipole hyperfine structure constant of energy levels of Nb I were determined for the first time. 6 A magnetic dipole hyperfine structure constant of energy levels of Nb II were determined and compared with literature. |

[July 2019], [163] pages.

Keywords: [Niobium, Ultraviolet Region, Fourier Transform Spectroscopy, Classification,
Hyperfine Structure]



1. GİRİŞ

Atom kavramı bilim adamlarının maddenin yapıtaşlarını arayışı sırasında ortaya çıkmıştır. Yunancada atom sözcüğü ‘bölünemeyen’ anlamına gelmektedir. Atom kelimesi Latinceye çevrildiğinde bir bütünün tüm karakteristik özelliklerini taşıyan en küçük parçasıdır [1]. 19. yüzyılın sonlarına kadar atomun bölünebileceği konusunda direkt bir kanıt yoktu. İlk gözlenen temel parçacık olan elektron 1897’de J.J.Thomson tarafından; elektronların çekirdeğin etrafında Güneş sistemine benzer şekilde döndüğü 1911 yılında Rutherford tarafından bulunmuştur. 1919 yılında Rutherford, saçılma deneylerinden atomun da bölünebileceğini göstermiş ve bu saçılmalardan çıkan parçacıklarda en hafif hidrojen çekirdeğine proton ismini vermiştir. Daha sonra 1932 yılında Chadwick atom çekirdeğinde ikinci bir tür parçacık olduğunu bulmuş ve buna nötron demiştir. Atom çekirdeği proton ve nötronlardan oluşur. Proton sayısı Z , nötron sayısı N , toplam çekirdek yükü ise $+Ze$ ile gösterilir. Nükleon sayısı $A = Z + N$ dir.

Atomun yapısının incelenmesi pek çok araştırmacı için oldukça ilgi çekici olmuştur. En basit atom hidrojen atomu olduğundan spektrumu gözlenen ilk atom da hidrojen atomudur. 1885 yılında Alman fizikçi Angstrom tarafından hidrojenin dört çizgisi duyarlı olarak ölçülmüştür. Atom spektrumlarının doğru bir açıklaması ise ilk olarak 1913 yılında Niels Bohr tarafından yapılmıştır. Bohr, atomdaki elektronların toplam enerjilerinin kuantalanmış olduğunu varsayarak atom spektrumlarının birçok özelliğini açıklamıştır. Ancak bu modelin yetersizliği nedeniyle Bohr modelinin yerini kısa sürede modern atom modeli almıştır.

Hidrojen atomuna ait olan Bohr teorisi diğer atomların spektrumlarını açıklayamamakla birlikte, hidrojen atomu spektrumlarını açıklamada çok önemli bilgiler vermiştir. Teoride görülen eksiklikler için indirgenmiş kütle düzeltmesi, rölativistik enerji düzeltmesi ve yörünge düzeltmeleri yapılmalıdır. Bu düzeltmeler sonucunda teorinin sonuçları $Z > 1$ olan ve hidrojene benzeyen iyonlara uygulanabilecektir [2].

Spektrumlar hakkında ilk bilinen, Newton’un 1666 yılında prizma üzerine beyaz ışık düşürerek yaptığı çalışmadır. Newton bu deneyde beyaz ışığın birbirinden farklı dalgaboylarındaki renklerin karışımı olduğunu kanıtlamıştır. 1814’te Alman fizikçi Fraunhofer güneş ışığı

spektrumuna dikkatli bakıldığında renkli bölgeler arasında karanlık çizgiler olduğunu da gözlemiştir [3].

Atomların yapısı hakkındaki en önemli bilgiyi elektromanyetik dalgaların Gama Işınları, X-ışınları, Mor-üstü, Görünür, Kırmızı-altı, Mikrodalga ve Radyo dalgaları olarak adlandırılan bölgelerindeki spektrumları verir. Optik spektrumlar salınma veya soğurulma ile gözlenebilir. Bu spektrumlar çizgi, bant ve sürekli spektrumlar olarak sınıflandırılır. Bant ve sürekli spektrumlar genelde moleküllere, çizgi spektrumları ise atomlara aittir [1].

19. yüzyılın ortalarında gazların ışığı soğurduğu bilinmekteydi. Gazdan geçirilen ışınlar bir prizma üzerine düşürüldüğünde parlak çizgiler ve karanlık çizgiler varlığında soğurma spektrumu elde edilir. Ayrıca aynı gaz yeterince ısıtıldığında ışık salar. Yayınlanan bu ışık prizmadan geçirilirse karanlık çizgiler varlığında parlak çizgiler gözlenir. Buna ışıma spektrumu denir. Her atom ve molekül kendine özgü dalga boylarında ışık soğurur veya salar. Bu nedenle ışıma veya soğurulma spektrumları parmak izi gibi atom veya moleküllerin tanımlanmasında kullanılabilir. Günümüzde bile güneş veya diğer uzak yıldızların kimyasal bileşimini tayin etmekte tek araç spektroskopidir [2]. Ayrıca atomların spektral çizgilerinin sınıflandırılmasında aşırı ince yapı etkilerinin de göz önüne alınması gerekir [1].

Bu çalışmada Fourier Transform Spektroskopi (FTS) yöntemi kullanılarak deneysel olarak elde edilen, niyobyum elementinin mor ötesi bölgedeki spektrumu analiz edilerek spektral çizgilerinin sınıflandırılması amaçlanmıştır. Bu spektral geçişlerin, A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti bilinmeyen enerji seviyelerinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri belirlenmiştir. |

2. GENEL KISIMLAR

Niobyum kimyasal sembolü Nb, atom numarası 41 olan bir elementtir. Bu element birbirlerinden bağımsız olarak İngiliz kimyacı Charles Hatchett tarafından 1801 yılında Colombiyum (Cb) ve 1846 yılında alman kimyacı Heinrich Rose tarafından niobyum (Nb) adı verilerek keşfedilmiştir. Eski adı Colombiyum (Cb) olan element, 1950 yılından itibaren niobyum olarak bilinmektedir [4]. Periyodik cetvelde 5B grubunda yer alır. Atom ağırlığı 92.90638(2) g/mol olan sadece bir kararlı izotopa (^{93}Nb) sahiptir. ^{93}Nb 'un izotopik bolluğu %100'dür. Güneş sisteminde % $2.28 \cdot 10^{-9}(3)$ oranında bulunur. Yerkabuğundaki bolluğu 20 mg/kg ve denizdeki bolluğu ise $1 \cdot 10^{-5}$ mg/L'dir [5]. Niobyum, demir ve diğer elementlerle paslanmaz çelik alaşımları ayrıca zirkonyum gibi elementlerle metal alaşımları oluşturur. Niobyum alaşımları sağlam ve dayanıklı olduğundan süper alaşım olarak genellikle boru hattı yapımında, jet motorları ve ısıya dayanıklı malzemelerde kullanılır [4].

Niobyum elementinin çekirdek spini $9/2$ dir [6]. Çekirdek manyetik dipol moment $\mu_1 = 6.1705(3) \mu_N$ [7] ve çekirdek elektrik kuadropol moment $Q = -0.32(2) \times 10^{-28} \text{m}^2$ [7] ile tanımlanır. Niobyum elementi 4d kabuğu geçiş elementi olup zengin aşırı ince yapı spektrumuna sahiptir. Mevcut literatüre bakıldığında niobyum elementinin kararlı ^{93}Nb izotopunun aşırı ince yapısının hem deneysel hem de teorik olarak pek çok araştırmanın konusu olduğu görülmüştür. Buna rağmen hala incelenmemiş veya tanımlanmamış spektral geçişler ve aşırı ince yapı sabitleri belirlenmemiş enerji seviyeleri mevcuttur. Bu çalışmanın amacı niobyumun aşırı ince yapısı hakkındaki bilgimizi daha da arttırmaktır.

Nb elementinin aşırı ince yapısının deneysel olarak incelenmesi literatürde ilk olarak 1912 yılında Jack'in [8] niobyum elementinin Zeeman yapısını gözlemlediği deneysel çalışmayla ve 1924 yılında Meggers [9] tarafından ark spektrumunda nötr niobyumun (Nb I) üç multipletinin belirlenmesiyle karşımıza çıkar. 1926 yılında Meggers ve Kiess [10] bir kez iyonlaşmış niobyumun (Nb II) spektrumu hakkında çalışmalar yapmıştır. 1931 yılında King [11] niobyumun 310 nm-690 nm dalgaboyu aralığındaki 646 spektral geçişini belirlemiştir. Ballard [12] 1934 yılında niobyumun çekirdek manyetik momentini μ_1 , çekirdek g-faktörünü g_1 ve çekirdek spin kuantum sayısının $9/2$ olduğunu belirlemiştir. 1935 yılında Meggers ve Scribner [13] 400 Nb I ve 250 Nb II çizgisi tanımlamış ve geniş çizgilerin düşük enerji seviyelerini içeren geçişler olduğunu belirtmiştir. Meggers ve King [14] 1936 yılında

nötr ve birden çok kez iyonlaşmış niyobyum çizgilerinin (Nb I, Nb II, Nb III, Nb IV) şiddetlerini karşılaştıran bir çalışma yapmıştır. 1936 yılında Meggers ve Russell [15], 1940 yılında Meggers ve Moore [16] ve aynı yıl Harrison ve Bitter [17] niyobyumun kırmızı altı ve mor üstü bölgelerindeki spektrumlarını araştırmış ve spektral terim analizlerini yapmış, yakın kırmızı altı ve görünür bölgedeki Zeeman etkilerini incelemiştir. 1945 yılında Humphreys ve Meggers [18] 216.454 nm-1092.07 nm dalgaboyu aralığındaki 3313 Nb I ve 200.241 nm-702.615 nm dalgaboyu aralığındaki 1723 Nb II spektral geçişin sınıflandırıldığı geniş bir aşırı ince yapı araştırması yayınlamıştır. Meeks ve Fisher [19] 1947 yılında çekirdek spininin 9/2 olduğunu desteklemiş; çekirdek g-faktörünü g_I , çekirdek manyetik momentini μ_I ve 32 enerji seviyesi için aşırı ince yapı aralık faktörünü belirlemiştir. 1958 yılında Murakawa [20] aşırı ince yapı ölçümlerinden niyobyumun çekirdek elektrik kuadropol momentini belirlemiştir. 1971 yılında Moore [21] niyobyum elementinin enerji seviyelerini, konfigürasyonları ve spektral terimleriyle birlikte tanımlamıştır. Büttgenbach ve diğ. [22] 1975 yılında atomik-ışın manyetik-rezonans yöntemini kullanarak sırasıyla $4d^45s$, $4d^35s^2$ konfigürasyonlarıyla ve 6D , 4F terimleriyle tanımlı enerji seviyelerinin aşırı ince yapısını incelemiş, dokuz enerji seviyesinin A ve B aşırı ince yapı sabitlerini, Landé g faktörlerini elde etmiştir. Aynı yıl Büttgenbach ve Dicke [23] niyobyumun teorik aşırı ince yapı analizini gerçekleştirmiş ve çekirdek elektrik kuadropol momentini bulmuştur. Fraenkel ve diğ. [24] 1988 yılında laser radyo-frekans spektroskopisi yöntemiyle $4d^45s$, $4d^35s^2$, $4d^5$, $4d^45p$ ve $4d^35s5p$ konfigürasyonlarına ait 31 enerji seviyesinin aşırı ince yapısını ölçmüştür. Singh ve Rao [25] 1989 yılında doppler sınırlı laser optogalvanik spektroskopisi yöntemini altı farklı dalgaboyuna uygulayarak dördü ilk kez olmak üzere 12 aşırı ince yapı sabitini belirlemiştir. 1990 yılında Lauranto ve diğ. [26] rezonans iyonizasyon spektroskopisi kullanarak niyobyum elementinin Rydberg seviyelerini ölçülmüş ve aşırı ince yapısını incelemiştir. 1992 yılında Singh ve diğ. [27] doppler sınırlı laser optogalvanik spektroskopisiyle niyobyumun 22 enerji seviyesinin aşırı ince yapısını incelemiş ve $4d^45s$, $4d^45p$, $4d^35s5p$ konfigürasyonlarına ait 13 enerji seviyesinin aşırı ince yapı sabitlerini ilk kez belirlemiştir. 1995 yılında Young ve diğ. [28] hem deneysel hem de teorik olarak bir kere iyonlaşmış niyobyumun (Nb II) aşırı ince yapısını incelemiş; laser radyo-frekans ve laserle uyarılmış floresans metodlarını kullanarak beş enerji seviyesini ölçmüştür. Lauranto ve diğ. [29] 1996 yılında rezonans iyonizasyon spektroskopisi kullanarak tek pariteli $4d^45p$ ve $4d^35s5p$ konfigürasyonlarına ait beş seviyenin, çift pariteli $4d^46s$ ve $4d^35s6s$ konfigürasyonlarına ait iki seviyenin aşırı ince yapı yarılmasını incelemiştir. 2003 yılında Bouzed ve diğ. [30]

640 nm-870 nm aralığındaki bölgede optogalvanik laser spektroskopi ve laserle uyarılmış floresans spektroskopi yöntemlerini kullanarak 21 spektral çizginin aşırı ince yapısını ölçmüş ve 18'i ilk kez olmak üzere 29 çizginin A ve B aşırı ince yapı sabitlerini belirlemiştir. Aynı yıl Kröger ve Bouzed [31] Nb elementinin çift pariteli konfigürasyonlarını teorik olarak incelemiştir. 2004 yılında Kröger ve diğ. [32] 470 nm-505 nm aralığındaki bölgede laserle uyarılmış floresans spektroskopisi kullanarak Moore [21] tablolarında tanımlanan dört enerji seviyesinin değerinin doğru olmadığını belirtmiş ve bu seviyeleri yeniden inceleyerek tanımlamış; ayrıca daha önce bilinmeyen iki yeni enerji seviyesiyle de literatüre katkıda bulunmuştur. Kröger [33] 2007 yılında görünür ve yakın kırmızı altı spektral bölgede 25 spektral geçişin aşırı ince yapısını ölçerek 30'u ilk kez olmak üzere 22 çift ve 21 tek pariteli enerji seviyesinin A aşırı ince yapı sabitini belirlemiştir. Aynı yıl Kröger ve diğ. [34] dört tek pariteli, sekiz çift pariteli 12 yeni enerji seviyesi bulmuş, tek pariteli $4d^35s5p$, $4d^45p$ ve $4d^25s^25p$ konfigürasyonlarının ince yapısının parametrik analizini gerçekleştirerek tek elektron parametrelerini belirlemiş; bu üç konfigürasyonun enerji seviyelerinin A aşırı ince yapı sabitleri hakkında öngörude bulunmuştur. 2008 yılında Başar ve diğ. [35] yüksek çözünürlüklü laser spektroskopik yöntemlerden doppler sınırlı optogalvanik spektroskopi ve doppler indirgenmiş doymuş soğurma spektroskopi yöntemlerini kullanarak 646 nm-675 nm dalgaboyu aralığındaki bölgede 30 spektral çizginin aşırı ince yapısını incelemiş ve 17'si ilk kez olmak üzere 42 enerji seviyesinin A, 5'i ilk kez olmak üzere 15 enerji seviyesinin de B aşırı ince yapı sabitlerini belirlemiştir. Aynı yıl Nilsson ve Ivarsson [36] yüksek çözünürlüklü Fourier Transform spektroskopi yöntemini kullanarak bir kere iyonlaşmış Nb'un (Nb II) 2600-4600 Å dalgaboyu aralığındaki bölgede 145 spektral çizgisinin aşırı ince yapısını ve geçiş olasılıklarını incelemiş, 28 çift ve 24 tek pariteli enerji seviyesinin aşırı ince yapı sabitlerini bulmuştur. 2010 yılında Kröger ve diğ. [37] 10000cm^{-1} - 30000cm^{-1} dalgasayısı aralığındaki bölgede 224 spektral geçişi Fourier Transform spektroskopisi ile inceleyerek 57'si ilk kez olmak üzere 109 enerji seviyesinin A aşırı ince yapı sabitini belirlemiştir. Aynı yıl Er [38] Prof. Dr. Gönül Başar danışmanlığındaki doktora tezinde Fourier Transform spektroskopi yöntemiyle 274 ve laserle uyarılmış floresans spektroskopi yöntemiyle 48 spektral geçişi inceleyerek her iki yöntemle toplamda 75'i ilk kez olmak üzere 198 enerji seviyesinin A ve B aşırı ince yapı sabitlerini belirleyerek yayınlamıştır. Er ve diğ. [39] 2011 yılında yüksek çözünürlüklü Fourier Transform spektroskopisi yöntemiyle farklı dalga boylarında filtreler kullanarak 415 nm-670 nm dalgaboyu aralığında 51 çizginin aşırı ince yapısını ölçerek 8 çift, 43 tek pariteli enerji

seviyesinin A aşırı ince yapı sabitini bulmuştur. 2013 yılında Başar ve diğ. [40] taranabilir titan-safir laser kullanarak laserle uyarılmış floresans spektroskopisi ve laser optogalvanik spektroskopisi yöntemleriyle 750 nm - 865 nm dalgaboyu aralığındaki bölgede 81 çizginin aşırı ince yapısını analiz ederek 13 çift pariteli, 11 tek pariteli enerji seviyesinin A; 13 çift pariteli, 17 tek pariteli enerji seviyesinin de B aşırı ince yapı sabitini belirlemiştir. Aynı yıl Bouazza [41,42] bir kere iyonlaşmış niyobyumun (Nb II) 17 farklı konfigürasyonla tanımlanmış çift pariteli ve 11 farklı konfigürasyonla tanımlanmış tek pariteli enerji seviyelerinin ince ve aşırı ince yapı parametrik analizini gerçekleştirmiştir. 2014 yılında Kebapçı [43] Doç. Dr. İpek K. Öztürk danışmanlığındaki yüksek lisans tezinde nötr Nb elementinin çift pariteli $4d^45s$, $4d^35s^2$, $4d^5$, $4d^46s$, $4d^35s6s$ ve tek pariteli $4d^35s5p$, $4d^45p$, $4d^35s6p$, $4d^25s^25p$ konfigürasyonlarının ince yapı analizini çok konfigürasyonlu fit metodunu kullanarak gerçekleştirmiştir. Aynı yıl Öztürk ve diğ. [44] laserle uyarılmış floresans spektroskopisi yöntemini kullanarak 750 nm-865 nm dalgaboyu aralığındaki bölgede beş yeni enerji seviyesi bulmuş, tek pariteli altı enerji seviyesinin de aşırı ince yapı sabitini belirlemiştir; Dembczynski ve diğ. [45] ise Nb elementinin çift pariteli konfigürasyonlarının aşırı ince yapı analizini gerçekleştirmiştir. 2015 yılında Er ve diğ. [46] 6000 cm^{-1} - 12000 cm^{-1} (830–1660 nm) dalgasayısı aralığındaki kırmızı-altı bölgede Nb elementine ait 110 spektral geçişi inceleyerek bu geçişlerden sekizi ilk kez olmak üzere 90'ını sınıflandırmış ve 27 yeni spektral geçiş gözlemiştir. 2018 yılında Kröger ve diğ. [47] 554 nm-650 nm aralığındaki bölgede laserle uyarılmış floresans spektroskopisi metodunu kullanarak niyobyuma ait dokuz yeni enerji seviyesi bulmuştur. Aynı yıl Windholz ve Kröger [48] 560 nm-650 nm aralığındaki bölgede 16 spektral geçişi inceleyerek altısı ilk kez olmak üzere 13 enerji seviyesinin A ve B aşırı ince yapı sabitlerini belirlemiştir; Ruczkowski ve diğ. [49] ise niyobyumun çift pariteli konfigürasyonlarının parametrik analizini gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada niyobyum elementinin mor ötesi bölgedeki spektral geçişlerinin aşırı ince yapısı Fourier transform spektroskopisi yöntemiyle deneysel olarak incelenmiş ve gözlenen spektral geçişlerin sınıflandırılması Classification [50] programı aracılığıyla yapılmıştır. Ayrıca aşırı ince yapı sabitleri daha önce belirlenmemiş enerji seviyelerinin aşırı ince yapı sabitleri Fitter [51] programı kullanılarak belirlenmiştir. |

3. MALZEME VE YÖNTEM

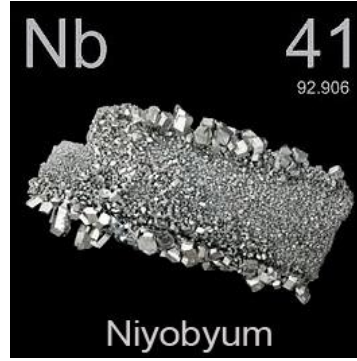
3.1 NİYOBYUM (Nb) ATOMU

Niyobyum ismi Yunan mitolojisindeki Kral Tantalus'un kızı Niobe'den gelmektedir. Tantalyuma olan kimyasal benzerliğinden dolayı bu elemente “Niyobyum” ismi verilmiştir. Bu element kökeni Colombiya'ya dayanan İngiliz kimyacı Charles Hatchett (1765-1847) tarafından 1801'de keşfedilerek “Colombium (Cb)” adını almıştır. Aynı element Alman kimyacı Heinrich Rose (1795-1864) tarafından 1844'te farklı bir element olarak keşfedilmiş ve Niyobyum ismini almıştır. 1950'lerde uluslararası ortak kararlar bu iki elementin aynı olduğuna ve “Niyobyum” adını almasına karar verilmiştir.

Niyobyum elementi periyodik tablonun 5B grubunda bulunan bir geçiş metalidir. Niobit mineralinin içinde katı halde gri renkte bulunur. Parlaktır ve kolayca şekillendirilebilir. Yüksek sıcaklıklarda oksijen, karbon, halojenler, azot, sülfür ve öteki ametallerle tepkimeye girer. Niyobyum elementi gaz soğurma özelliğinden dolayı vakum tüplerin yapımında kullanılır. Yüksek ısılarda paslanmayı önler ve paslanmaz çelik yapımında kullanılır.

Dünya'da en çok ABD Colorado, Güney Dakota, Virginia, Kuzey California, Maine ve Connecticut eyaletlerinde; Güney Afrika, Avustralya, Norveç, Madagaskar ve Almanya'da bulunur.

Niyobyum elementinin kimyasal sembolü Nb ve atom numarası 41'dir. Kütle numarası 93 olan tek kararlı izotopa sahiptir ($^{93}_{41}\text{Nb}$). Kütle numarası 81-115 aralığında değişen 51 radyoaktif izotopu vardır. Kararlı tek izotopunun atom ağırlığı 92.90638 g/mol'dür. Erime noktası 2477 °C, kaynama noktası 4744 °C ve yoğunluğu 20 °C de 8.57 g/cm³'tür. Elektron yerleşimi taban hal için 1s² 2s² 2p⁶ 3s² 3p⁶ 4s² 3d¹⁰ 4p⁶ 4d⁴ 5s¹ şeklindedir [52]. Şekil 3.1'de niyobyum elementinin periyodik tabloda verildiği şekli gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Nb elementi [53].

3.2 NİYOBYUM (NB) ATOMUNUN İNCE VE AŞIRI İNCE YAPISI

Nötr niyobyum elementinin (Nb I) şu ana kadar belirlenen 382 ince yapı enerji seviyesi mevcuttur. Bu enerji seviyelerinden 308'i tek pariteli $4d^35s5p$, $4d^45p$, $4d^35s6p$ konfigürasyonları ile tanımlı ve 74'ü çift pariteli $4d^45s$, $4d^35s^2$, $4d^5$, $4d^46s$, $4d^35s6s$ konfigürasyonları ile tanımlıdır. Bir kez iyonize olmuş niyobyum elementinin (Nb II) bilinen 354 enerji seviyesi vardır. Bu enerji seviyelerinden 167'si tek pariteli $4d^35p$, $4d^25s6p$ konfigürasyonları ile 187'si $4d^4$, $4d^35s$, $4d^25s$, $4d^36s$, $4d^35d$ konfigürasyonları ile tanımlıdır. Bu tez çalışmasının amacı niyobyumun 200 nm - 400 nm (50000cm^{-1} - 25000cm^{-1}) dalga boyu aralığındaki mor ötesi bölgedeki spektral çizgilerini tanımlamak ve aşırı ince yapı geçişlerini incelemektir.

Niyobyum elementinin spektral geçişleri ile ilgili yapılan en detaylı çalışmalardan biri C.J. Humphreys ve W.F. Meggers'in [18] 1945 yılındaki çalışmasıdır. C.J. Humphreys ve W.F. Meggers'in çalışmasında nötr niyobyum (Nb I) elementinin 2161.54 Å (46248.7 cm^{-1}) ile 10920.7 Å (9154.4 cm^{-1}) dalga boyu aralığındaki 3313 spektral geçişini incelemiş ve 364 enerji seviyesinin kombinasyonu olan 2836 geçiş tanımlamıştır. Aynı çalışmada bir kez iyonlaşmış niyobyum (Nb II) elementinin 2002.41 Å (49923.6 cm^{-1}) ile 7026.15 Å (14228.63 cm^{-1}) dalga boyu aralığındaki 1723 spektral geçişini incelenmiş ve bu geçişlerin 1494'ünü, bilinen 183 enerji seviyesi yardımıyla sınıflandırmıştır. Bu çalışmadan sonraki yıllarda niyobyum elementinin ince yapısı ve aşırı ince yapısı hakkında deneysel ve teorik pek çok çalışma mevcuttur. (Bkz. Bölüm 2.Genel Kısımlar)

Yapılan literatür çalışmasında Nb I'in bilinen 382 enerji seviyesinden 220'sinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitinin, 88'inin B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitinin; Nb II'nin bilinen 354 enerji seviyesinden 52'sinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitinin ve 5'inin B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitinin bulunduğu belirlenmiştir. Niyobyum elementinin aşırı ince yapısı şu ana kadar pek çok farklı spektroskopik metodla incelenmiştir.

Astrofizikte, nötron-yakalayıcı demirden daha ağır elementlerin yıldız atmosferlerindeki bolluğu, teorik nükleosentez modellerinde önemli rol oynar. Yüksek çözünürlüklü yıldız spektrumlarından daha fazla bilgi alabilmek için aşırı ince yapı ve izotop kayması gibi çekirdek etkilerinin hesaba katılması gerekir. Bu nedenle bollukların hesaplanmasında, aşırı ince yapı sabitlerinin belirlenmesine ihtiyaç vardır. Astrofizikte, yıldız atmosferlerinde elementlerin bolluklarının belirlenmesinde niyobyumun spektral çizgilerinin sınıflandırılması ve aşırı ince yapısı oldukça önemlidir [38].

Niyobyum elementinin atom numarası 41 olup, 4d geçiş elementlerinin üçüncüsüdür ve tek kararlı izotopa sahip çok az elementten biridir. Bu kararlı izotopu $^{93}_{41}\text{Nb}$ 'un çekirdek spini $I=9/2$ ' dir. Çekirdek manyetik dipol momentinin $\mu_I = 6.1705(3)\mu_N$ [7] büyük olması nedeniyle $^{93}_{41}\text{Nb}$ spektrumunda manyetik dipol aşırı ince yapı etkileşimi daha baskındır. Bu manyetik aşırı ince yapı etkileri Doppler indirgenmemiş sistemlerde, örneğin Fourier Transform Spektrumlarında bile görülür. Aşırı ince yapısındaki elektrik kuadropol etkileşmesi $Q=-0.36(7)b$ [7], elektrik kuadropol momentinin çok küçük olması nedeniyle azdır. Bu nedenle bu etki Doppler indirgenmemiş metodlarda ihmal edilir, gözlenmez.

3.3. PERİYODİK SİSTEMİN YAPISI

Periyodik cetvel elementleri ve elementlerin özelliklerini gösteren tablodur. Periyodik cetvelde yatay satırlara "periyot" düşey sütunlara da "grup" denir. 7 tane periyot, 8 tane A grubu ve 10 tane B grubu olmak üzere toplam 18 grup bulunur. Elementlerin son yörüngesindeki elektron sayısına "Değerlik elektronu" denir. Son yörüngesinde aynı sayıda elektron bulunduran elementler aynı grupta yer alırlar. Aynı grupta bulunan elementler benzer kimyasal özellikler gösterirler. Periyodik cetvelin sol tarafında metaller (1A, 2A, 3A Grupları) ve sağa doğru gidildikçe de ametaller (4A, 5A, 6A, 7A, 8A Grupları) bulunur [54]. Şekil 3.2'de periyodik cetvel, gruplar ve periyotlar belirtilerek verilmiştir ve niyobyum elementinin periyodik cetveldeki yeri gösterilmiştir.

- METALLER
- GEÇİŞ METALLERİ
- AMETALLER
- SOYGAZLAR

Atom numarası
Element simgesi

41

Nb

Niyobyum

★ Lantanitler

★★ Aktinidler

IA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					</
----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

Şekil 3.2: Periyodik cetvel [55].

1A grubu (alkali metaller) en aktif metallerdir. Değerlik elektron sayısı 1'dir. Elektron dağılımı s^1 ile biter. Ametallerle iyonik bağlı bileşik oluştururlar. Doğada bileşikler halinde bulunurlar. 2A grubu (toprak alkali metaller) 1A grubu kadar aktif değildir. Değerlik elektron sayısı +2'dir. Elektron dağılımı s^2 ile biter. Ametallerle iyonik bağlı bileşik oluştururlar. 1A ve 2A grubu elementleri ısı ve elektriği iyi iletirler. Geçiş Metalleri (B grupları), elektron dağılımları d ile biter, hepsi metaldir. Bileşiklerinde birden fazla (+) değerlik alır, ametallerle iyonik bağlı bileşik oluştururlar [55].

Geçiş metalleri veya bazı kimyacıların tabiri ile ağır metaller, sertlikleri, yüksek yoğunlukları, iyi ısı iletkenlikleri ve yüksek erime-kaynama sıcaklıklarıyla tanınırlar. Özellikle sertlikleri nedeniyle, saf halde ya da alaşım halinde yapı malzemesi olarak kullanılırlar. Geçiş elementlerinin hepsi, elektron dizilimlerinde, en dışta her zaman d-orbitalinde elektron taşırlar. Tepkimelere giren elektronlar da, d-orbitalindeki elektronlardır [54].

Halojenler, periyodik cetvelin 7A grubunda bulunan, tepkimeye eğilimli ametallerdir. Elektron alma eğilimi en yüksek olan elementlerdir. Elektron dağılımları p^5 ile biter. Zehirli ve tehlikeli elementler olarak bilinirler. 8A grubunun hepsi ametal olmakla beraber “soygazlar” ya da “asal gazlar” ismini alırlar. Soygazlar bilindiği üzere bileşik oluşturmaya yatkın değildir. Kararlıdırlar. Elektron alışverişi veya elektron ortaklaşması yapmazlar [56].

Atomların deneysel olarak belirlenmiş fiziksel ve kimyasal özellikleri ile bunların atom numarasıyla ilişkisi, atomların elektronik yapılarından başlanarak açıklanabilir. Atomların spektroskopik çalışmalarından, kararlı elektron konfigürasyonlarının, açısal momentumlarının ve manyetik momentlerinin karşılıklı dengelenmesiyle karakterize olduğu söylenebilir.

Atomların mümkün kuantum durumlarını anlamak için kuantum sayılarını bilmek gerekir.

n : Baş kuantum sayısı

l : Yörüngesel açısal momentum kuantum sayısı ($0, 1, \dots, n - 1$)

m_l : Manyetik kuantum sayısı ($0, \pm 1, \pm 2, \dots, l$)

m_s : Manyetik spin kuantum sayısı ($\pm 1/2$)

Pauli prensibiyle n baş kuantum sayılı bir atoma bağlanabilen maksimum elektron sayısı hesaplanabilir. n baş kuantum sayısının verilen bir değeri için, l yörüngesel açısal momentum kuantum sayısı n tane değer alabilir. l 'nin her bir değeri için m_l manyetik kuantum sayısının $2l + 1$ değeri ve her bir l ve m_l kuantum sayısı çifti için m_s spin kuantum sayısının iki farklı değeri bulunmaktadır. Böylece her bir n, l sayı çifti için en çok $2(2l + 1)$ elektron vardır. Bu durumda verilen n kabuğundaki maksimum elektron sayısı $2n^2$ dir. Sonuç olarak periyodik sistemin anlaşılmasında önemli olan son elektronun yapısıdır [57].

3.4. ÇOK ELEKTRONLU ATOMLAR

Atomların elektronik yapısını anlayabilmek için Schrödinger dalga denklemi atomdaki bütün elektronlar için çok parçacıklı bir problem olarak çözülmelidir. Schrödinger denklemi çok yada birden fazla elektronlu atomlar veya iyonlar için tam olarak çözülemediğinden yaklaşık yöntemler kullanılır. Çok elektronlu atomlar üzerindeki tüm hesaplamaların başlangıç noktası merkezci alan yaklaşıklığıdır. Bu yaklaşıklıkta temel düşünce, atomik elektronların, çekirdek ve diğer tüm elektronların oluşturdukları etkin, küresel olarak simetrik $V(r)$ potansiyelinde hareket etmeleridir. Ze yüklü olan çekirdek ile N-elektronlu olan bir atomu veya iyonu düşündüğümüzde çekirdeğin elektrostatik coulomb etkileşme alanında elektronun kinetik ve potansiyel enerjilerini, elektronlar arasındaki elektrostatik itmeyi, elektron spinlerinin yörünge hareketleriyle olan manyetik etkileşmelerini, elektronlar arasındaki spin-spin etkileşimleri gibi etkileri göz önüne almak gerekir. Dış alan yokken N-elektronlu atomun Hamiltonyeni,

$$H = \sum_{i=1}^N \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla_{r_i}^2 - \frac{Ze^2}{(4\pi\epsilon_0)r_i} \right) + \sum_{i<j=1}^N \frac{e^2}{(4\pi\epsilon_0)r_{ij}} \quad (3.1)$$

olarak yazabiliriz. Burada r_i çekirdeğe göre i elektronunun bağıl koordinatını gösterir. $r_{ij} = |r_i - r_j|$ dir ve son toplam tüm elektron çiftleri üzerindendir. Atomik birimleri kullandığımızda Hamiltonyen,

$$H = \sum_{i=1}^N \left(-\frac{1}{2} \nabla_{r_i}^2 - \frac{Z}{r_i} \right) + \sum_{i<j=1}^N \frac{1}{r_{ij}} \quad (3.2)$$

dir ve N-elektronlu atom için dalga fonksiyonu $\psi(q_1, q_2, \dots, q_N)$ olmak üzere Schrödinger denklemi,

$$\left[H = \sum_{i=1}^N \left(-\frac{1}{2} \nabla_{r_i}^2 - \frac{Z}{r_i} \right) + \sum_{i<j=1}^N \frac{1}{r_{ij}} \right] \psi(q_1, q_2, \dots, q_N) = E \psi(q_1, q_2, \dots, q_N) \quad (3.3)$$

biçiminde ifade edilir. Burada q_i 'ler i elektronunun r_i uzay koordinatlarını ve kesikli spin koordinatları topluluğunu gösterir. Dalga fonksiyonu uzay kısmı ile spin kısmına ayrılabilir.

Buna göre;

$$\psi(q_1, q_2, \dots, q_N) = \psi(r_1, r_2, \dots, r_N) \chi(1, 2, \dots, N) \quad (3.4)$$

yazabiliriz.

Burada dalga fonksiyonunun uzay kısmı;

$$\left[H = \sum_{i=1}^N \left(-\frac{1}{2} \nabla_{r_i}^2 - \frac{Z}{r_i} \right) + \sum_{i<j=1}^N \frac{1}{r_{ij}} \right] \psi(r_1, r_2, \dots, r_N) = E \psi(r_1, r_2, \dots, r_N) \quad (3.5)$$

ile verilir. Bu denklem elektronların $r_1, r_2, \dots, r_N$ koordinatlarını içeren $3N$ boyutlu bir kısmi diferansiyel denklemdir. Elektronların karşılıklı itmelerini ifade eden $1/r_{ij}$ teriminden dolayı denklem değişkenlerine ayrılamaz. Ayrıca birçok $1/r_{ij}$ terimi vardır ve bunların toplam etkisi i . elektron ile çekirdek arasındaki etkileşme ile aynı mertebede olabilir. Bu probleme pertürbasyon kuralını uygulamak istersek yaklaşık olarak elektronlar arasındaki karşılıklı etkileşmeyi içeren yeni pertürbe olmamış Hamiltonyeni tanımlamak gerekir. Pertürbe olmamış Hamiltonyen yeterince basit olmalıdır.

Bu problemin Hartree ve Slater tarafından önerilen çözümü merkezci alan yaklaşıklığını kullanmaktır. Bu yaklaşıklık her elektronun, çekirdeğin çekimi ve bir elektron ile diğer $(N-1)$ elektron arasındaki itme etkileşmelerinin ortalama etkisini gösteren bir etkin potansiyelde hareket ettiği düşünülen bağımsız parçacık modelini temel alır. Bundan başka $(N-1)$ elektronun toplam etkisi elektron ve çekirdek arasındaki merkezci coulomb çekimini perdelemek olduğundan $\sum_{i<j} 1/r_{ij}$ elektronlar arasındaki itme terimini $\sum_i S(r_i)$ olarak yazacağımız, büyük küresel simetrik bileşeni içerdiği görülmektedir. Bu nedenle bir elektronun etkin potansiyel enerjisine iyi bir yaklaşıklık,

$$V(r) = -\frac{Z}{r} + S(r) \quad (3.6)$$

küresel simetrik potansiyeliyle sağlanır.

1928 yılında Hartree tarafından formüle edilen bu yaklaşımın başlangıç noktası zamandan bağımsız parçacık modelidir. Bu modele göre her elektron çekirdeğin çekici alanı ve diğer elektronlardan kaynaklanan itme etkileşmelerinin ortalama etkisini hesaba katan bir etkin potansiyelde hareket eder. Çok elektronlu sistemdeki her elektron kendi dalga fonksiyonu ile tanımlanır. Hartree-Fock yaklaşımında bağımsız parçacık yaklaşıklığı ve Pauli'nin dışarlama ilkesine uygun olarak N -elektronlu dalga fonksiyonunun bir ϕ slater determinantı olduğu varsayılır. Hartree-Fock yöntemi varyasyonel yöntemin özel bir halidir. Burada N -elektronlu atom için deneme fonksiyonu, bireysel spin-yörüngemsileri en iyi yapılmış bir Slater determinantıdır. Buna göre Hartree-Fock yöntemi atomsal dalga fonksiyonları ve enerjilerinin

bulunmasında bir ilk adım olarak göz önüne alınabilir. Hartree-Fock yönteminin uygulanması atomlarla sınırlı kalmaz ve bir molekül veya katıdaki elektronlar gibi başka sistemlere de uygulanabilir [1].

Hidrojen atomu ile merkezci alan probleminin çözümünde atomik Hamiltonyen, kinetik ve potansiyel enerjiler olmak üzere iki terimli olarak düşünülür. Schrödinger denklemi bu iki terimli hamiltonyen için çözülerek ψ_{nlm} dalga fonksiyonları ve E_n enerji ifadeleri bulunur. Bu çözüme pertürbe olmamış Hamiltonyenin tam çözümü denir. Ancak Hamiltonyen sadece bu iki terimden ibaret değildir. Diğer terimlere tek tek veya birkaçı birlikte ele alınarak pertürbasyon terimi ya da terimleri denir. Atomik Hamiltonyen bu pertürbasyon terimlerinin birkaçını içerecek şekilde yazılırsa,

$$\mathcal{H} = \frac{\hbar^2}{2\mu} \nabla^2 + U(r) + \xi(r) \vec{S} \cdot \vec{L} + a \vec{\mu}_J \cdot \vec{\mu}_I - \vec{\mu}_J \cdot \vec{B}_0 - \vec{\mu}_I \cdot \vec{B}_0 - \vec{D} \cdot \vec{\epsilon}_0 + \dots \quad (3.7)$$

şeklindeki denklem elde edilir.

Yukarıdaki (3.7) denkleminde bahsedildiği gibi ilk iki terimle tam çözümlere ulaşılır. Üçüncü terim ise spin-yörünge etkileşme (ince yapı) terimi, dördüncü terim çekirdek-elektron dipol-dipol etkileşme (aşırı ince yapı) terimi, beşinci ve altıncı terimler ise Zeeman terimleri olarak adlandırılır. Yedinci terim ise Stark terimi olarak bilinir [57].

3.5. ATOMLARDA İNCE YAPI ETKİSİ

Bir çok atomda yüklerin yörünge hareketinden kaynaklanan bir iç manyetik alan oluşur. Bu da enerji düzeylerinde ve dolayısıyla atomun spektrumlarında yarılmalara sebep olur. İç manyetik alandan kaynaklanan bu yarılmalara ince yapı denir. Elektronun spin manyetik momenti

$$\vec{\mu}_s = -\frac{e}{m_e} \vec{S} \quad (3.8)$$

olduğundan, $\vec{B}$ manyetik alanı nedeniyle enerjideki artış;

$$\Delta E = -\vec{\mu}_s \cdot \vec{B} = \frac{e}{m_e} \vec{S} \cdot \vec{B} \quad (3.9)$$

denklemi ile verilir.

Enerjideki bu değişim $\vec{L}$, $\vec{S}$ 'ye bağlı olduğundan buna spin-yörünge enerjisi denir [3].

Bir elektronlu atomların s-hali hariç diğer enerji terimleri iki veya daha fazla alt duruma bölünür. Bu da ince yapı anlamına gelen, spektral çizgilerin çiftli ve çoklu yapısını oluşturur. İnce yapı spin-yörünge etkileşmesinden kaynaklanmaktadır.

Yörüngesel açısal momentum ve spin açısal momentum bileşenlerinin paralel veya antiparalel olması durumunda enerji terimi değişir. Yörüngesel açısal momentum ve spin açısal momentum çiftlenimi, iki açısal momentumun bir toplam açısal momentum verecek şekilde uç uca eklenmesiyle bulunur [1]. Bu durum Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Açısal momentumlar ve kuantum sayıları arasındaki ilişki

$$|\vec{L}| = \sqrt{l(l+1)} \hbar \quad (3.10)$$

l : Yörüngesel açısal momentum kuantum sayısı

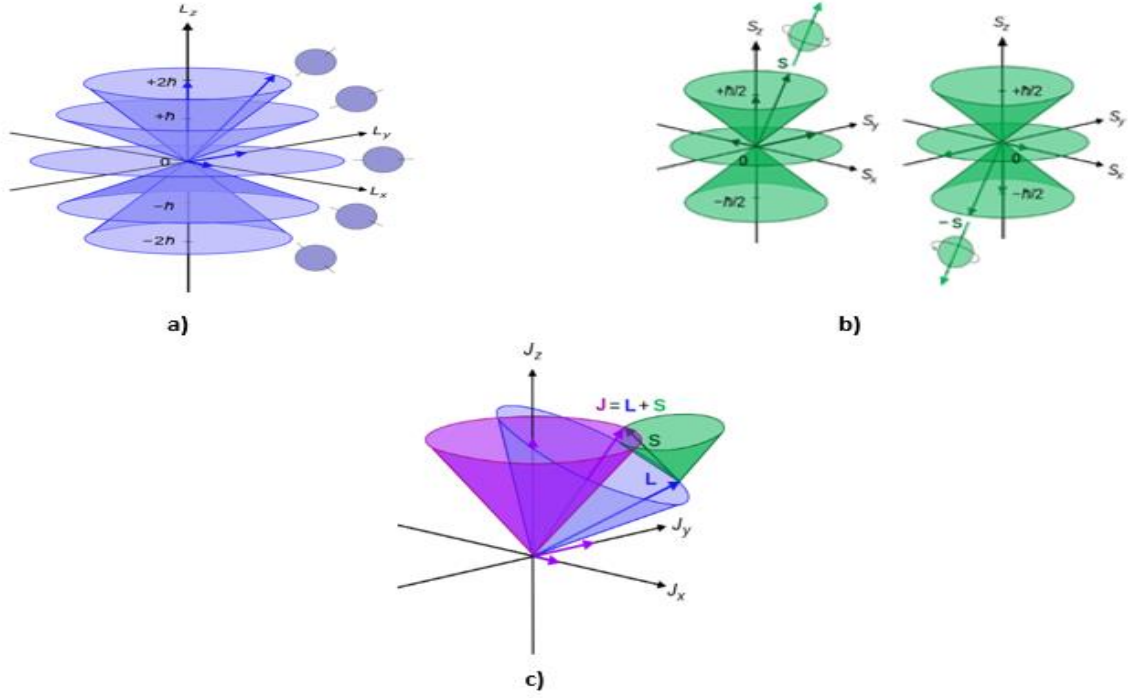
$$|\vec{S}| = \sqrt{s(s+1)} \hbar \quad (3.11)$$

s : spin açısal momentum kuantum sayısı

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

j : toplam açısal momentum kuantum sayısı

ile verilir.



Şekil 3.3 : a) Yörünge açısal momentumunun vektör çizimi, b) Spin açısal momentum konileri c) Elektronun toplam açısal momentumu [58].

$\vec{L}$ ve $\vec{S}$ vektörleri $\vec{J}$ etrafında dönerler. z-yönünde bir manyetik alan varlığında ise $\vec{J}$ de z-ekseni etrafında döner. İnce yapı için optik geçişlerden $j=0$ 'dan $j=0$ 'a olan geçişler yasaktır. Geçiş kuralı $\Delta j=0, \pm 1$ olmalıdır. Söz konusu kuantum sayıları $(l - s) \leq j \leq (l + s)$ olup, j kuantum sayısı bu aralıklarda birer artarak ya da birer azalarak değişir [1].

LS çiftleniminde taban haldeki açısal momentumlar Hund kuralları ile belirlenir. Kapalı kabuklar ve alt kabuklar L ve S toplam açısal momentumlarına katkıda bulunmazlar. Eşdeğer elektronlar olarak adlandırılan ve aynı l değerine sahip elektronlar taban haline S toplam spinini maksimum yapacak şekilde yerleşirler. En büyük s kuantum sayısına ulaşıldığında Pauli ilkesi gereğince elektronların m_l alt halleri L 'yi maksimum yapacak şekilde dağılır. LS etkileşmesi dikkate alındığında en küçük j kuantum sayılı terimler en düşük enerjiye sahiptir aksi halde tersi durum geçerlidir [2].

3.6. AÇISAL MOMENTUM ÇİFTLENİMLERİ

Atomlardaki elektronların ve çekirdekteki nükleonların açısal momentumlarının çiftlenim şekillerini çiftlenimin olduğu yerdeki manyetik alan şiddetleri belirler. Buradaki manyetik alan iç manyetik alan veya dış manyetik alan olabilir. Atom içindeki çiftlenimler LS-çiftlenimi veya JJ-çiftlenimi olarak iki türdür. Özellikle hafif atomlarda LS-çiftlenimi oluşurken ağır atomlara doğru gidildikçe JJ-çiftlenimine rastlanır.

- i) **LS-Çiftlenimi:** Bu çiftlenim türünde atomun elektronlarının yörünge açısal momentumları kendi aralarında, spin açısal momentumları da kendi aralarında ayrı ayrı birleşerek;

$$\vec{L} = \sum \vec{l} = \vec{l}_1 + \vec{l}_2 \quad (3.13)$$

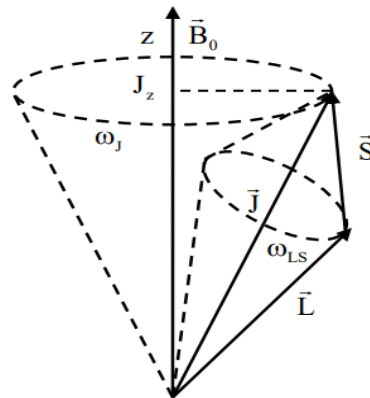
$$\vec{S} = \sum \vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2 \quad (3.14)$$

şeklinde atomun toplam yörünge ve toplam spin açısal momentumlarını oluştururlar.

Atomun elektronlarına ait toplam açısal momentumları ise;

$$\vec{J} = \sum \vec{L} + \sum \vec{S} \quad (3.15)$$

ile belirlenir. Bu oluşum LS-çiftlenimi olarak adlandırılır. Bu durum Şekil 3.4'te gösterilmiştir.[2]



Şekil 3.4 : Dış alan şiddeti zayıf olan bir LS-çiftlenimi [59].

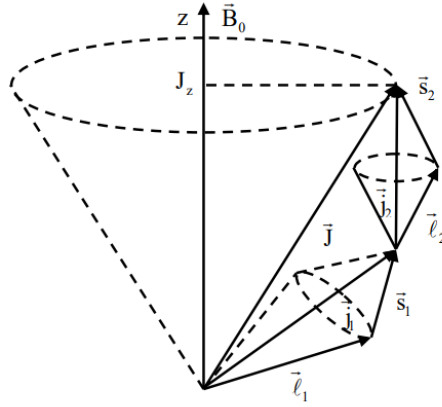
- ii) **JJ-Çiftlenimi:** Bu çiftlenim türü iç manyetik alanı Paschen-Back bölgesinde olan atomlarda oluşur. Genel olarak çekirdek içi nükleonlarda ve özel olarak ağır atomlarda görülebilir. İç veya dış manyetik alan etkisiyle LS-çiftlenimi kırılır ve atomun her bir elektronu kendi spin ve yörünge etkileşmesi sonucu bağlanırlar ve toplam açısal momentum;

$$\vec{l}_1 + \vec{s}_1 = \vec{j}_1 \quad (3.16)$$

$$\vec{l}_2 + \vec{s}_2 = \vec{j}_2 \quad (3.17)$$

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

halini alır [2]. Bu durum Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



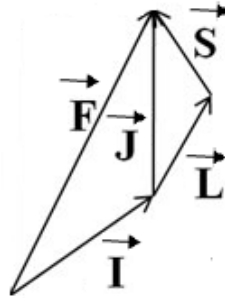
Şekil 3.5 : Manyetik alanı Paschen-Back bölgesinde olan iki elektronlu bir atomun JJ-çiftlenimi [59].

3.7. ATOMLARDA AŞIRI İNCE YAPI ETKİSİ

Atom çekirdeği, atomun elektronlarının hareket ettiği merkezi alanı üretir. Böylece atom numarası atomun spektral enerji seviyeleriyle ilgili eşitliklerde yer alır. Elektronik spektrumlar üzerinde atom çekirdeğinin başka etkileri de mevcuttur. Bu nedenle spektral çizgilerin aşırı ince yapısı ifadesi kullanılır. Aşırı ince yapı terimi atomik çekirdeklerin spin, elektrik ve manyetik momentlerinden kaynaklanan bir yapıdır. Bu özellik ilk defa 1924'te Pauli tarafından spektroskopik görüntüleri açıklamak için tanımlanmıştır. 1934'te ise Schüller çekirdeklerde elektrik kuadropol momentin varlığını söylemiştir. Bu çekirdek momentlerinin elektronlarla etkileşmesi spektral çizgilerin fazladan bir yarılmaya sebep olur. İnce yapı etkileşmelerinde elektronun yörünge hareketi tarafından üretilen B_L manyetik alanı elektronun manyetik momentıyla etkileşir ve s spinini yönlendirir. Yörüngesel açısal momentum $\vec{L}$ ve spin açısal momentum $\vec{S}$ toplam açısal momentum $\vec{J}$ 'yi verecek şekilde toplanır. Vektör modelinde $\vec{L}$ ve $\vec{S}$ vektörleri $\vec{J}$ sabitlenmiş uzaysal vektörü etrafında döner.

Aşırı ince yapı etkileşmesi de aynı yolla hesaplanır. Elektronların çekirdek üzerinde oluşturdukları manyetik alan çekirdeğin manyetik momentini etkiler ve çekirdek spinini şekillendirir. Bu etkileşmenin sonucunda elektronların açısal momentumlarıyla $\vec{J}$ çekirdeğin açısal momentumu $\vec{I}$ yeni bir $\vec{F}$ toplam açısal momentumunu verir. Bu durum Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

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



Şekil 3.6 : Atomun toplam açısal momentumunun vektör çizimi.

Toplam açısal momentumun büyüklüğü

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

dir. $\vec{F}$ toplam açısal momentumunun F kuantum sayısı $F = J + I, J + I - 1, \dots, J - I$ değerlerine sahiptir. Bu da I 'nın J 'den küçük veya büyük olmasına bağlı olarak $(2I + 1)$ ya da $(2J + 1)$ ihtimale karşılık gelir. $\vec{J}$ elektron açısal momentumu ve $\vec{I}$ çekirdek açısal momentumu $\vec{F}$ toplam açısal momentumunu verecek şekilde çiftlenir. $\vec{I}$ ve $\vec{J}$ vektörleri kuantumlu konumlarında $\vec{F}$ uzaysal olarak sabit vektörü etrafında dönerler [1].

Söz konusu kuantum sayıları $(j - i) \leq f \leq (j + i)$ olup, f bu aralıklarda birer artarak ya da birer azalarak değişir. Aşırı ince yapı, elektrona ait toplam dipol moment ile çekirdeğin spin dipol momentinin etkileşmesinden kaynaklanır [2].

Bir F kuantum sayısına sahip aşırı ince yapı seviyesinin enerjisini hesaplamak için kullanılan denklem (3.21) denklemdir.

$$E_F = E_J + \Delta E_{Manyetik} + \Delta E_{Elektrik} \quad (3.21)$$

E_F : aşırı inceyapı yarılmaları I ile J etkileşim enerjisi

E_J : ince yapı yarılmaları L ile S etkileşim enerjisi

Enerji seviyelerinin aşırı ince yapı manyetik etkileşme enerjisi,

$$\Delta E_{manyetik} = A/2[F(F+1) - I(I+1) - J(J+1)] \quad (3.22)$$

ile verilir. A değeri manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti olarak adlandırılır.

$$A = \frac{\mu_I H_0}{\sqrt{I(I+1)}\sqrt{J(J+1)}} \quad (3.23)$$

Elektrik aşırı ince yapı enerji yarılmaları,

$$\Delta E_{elektrik} = \frac{1}{2} B \frac{\frac{3}{4}C(C+1) - I(I+1)J(J+1)}{I(2I-1)J(2J+1)} \quad (3.24)$$

denklemleri ile verilir.

B değeri elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti olarak adlandırılır.

$$B = -eQ_I \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \quad (3.25)$$

Q_I : Çekirdeğin elektrik kuadropol momenti

$\frac{\partial \varepsilon}{\partial z}$: Elektrik alanın gradyenti (alan şiddeti z ekseninde olduğunda)

(3.21) denkleminde $\Delta E_{\text{manyetik}}$ ve $\Delta E_{\text{elektrik}}$ enerjilerini yerine yazarsak,

$$E_F = E_J + A \frac{C}{2} + B \frac{\frac{3}{4}C(C+1) - I(I+1)J(J+1)}{2I(2I-1)J(2J-1)} \quad (3.26)$$

denklemini elde ederiz. Ayrıca;

$$C = F(F+1) - I(I+1) - J(J+1) \quad (3.27)$$

$$F = I + J, I + J - 1, \dots, |I - J| \quad (3.28)$$

şeklindedir [60].

Burada F değeri, $J \geq I$ ise $2I + 1$ değerini; $I \geq J$ ise $2J + 1$ değerini alır [57]. f, bir değerden diğerine birer atlayarak gider. Ardışık iki f değeri arasındaki enerji farkı i, j ve f kuantum sayılarının değerleri kullanılarak bulunur. Belirli i ve j değerlerine karşılık pek çok f değeri söz konusu olduğundan ardışık f değerleri arasındaki fark (3.18) denkleminde kolayca hesaplanır. Atomlarda gözlemlenen bu ince yapı ve aşırı ince yapı yarılımları atom spektrumlarının açıklanmasında önemli bilgiler vermektedir. Bu yarılımlar spektrumlarda çizgiler şeklinde görülmektedir. Atomik seviyelerden herhangi bir seviyeye geçişlerin oluşturduğu spektrum çizgilerinin sayısı bu sayede belirlenebilir [2].

Aşırı ince yapı enerji seviyeleri arası geçişlerde,

$$\Delta F = 0, \mp 1 \quad (3.29)$$

geçişleri mümkündür. $F=0 \rightarrow F=0$ 'a geçişler yasaktır.

Manyetik aşırı ince yapı yarılmalarında iki komşu seviyenin enerji farkı,

$$\Delta E_{F+1,F} = \Delta E_{F+1} - \Delta E_F = A(F + 1) \quad (3.30)$$

ile verilir. Bu ifade enerji seviyelerinin manyetik aşırı ince yapı yarılması için aralık kuralı olarak adlandırılır [60].

Aşırı ince yapı etkileşmelerinin bir örneği Şekil 3.7’de verilmiştir. Şekil 3.7:a’nın üst kısmında niyobyum elementinin bu tez çalışmasında deneysel olarak incelenen $\lambda=288.9898$ nm dalgaboylu $J=5/2 \rightarrow J=5/2$ spektral geçişinin aşırı ince yapı yarılmaları ve oluşan aşırı ince yapı seviyeleri arasındaki izinli teorik geçişler gösterilmiştir. Şekil 3.7:a’nın alt kısmında ise bu dalgaboyu ile tanımlanmış spektral geçişin alt ve üst J değerleri, niyobyum elementinin çekirdek spini ve alt enerji seviyesinin literatürden bilinen ve üst enerji seviyesinin bu tez çalışmasında belirlenen A manyetik dipol ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitleri ve çizgi genişlemesi için Gauss profili kullanılarak elde edilen teorik spektrum gösterilmiştir.

I: Çekirdek spini

J_o : Üst ince yapı enerji seviyesinin J değeri

J_u : Alt ince yapı enerji seviyesinin J değeri

A_o : Üst enerji seviyesinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti

B_o : Üst enerji seviyesinin B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti

A_u : Alt enerji seviyesinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti

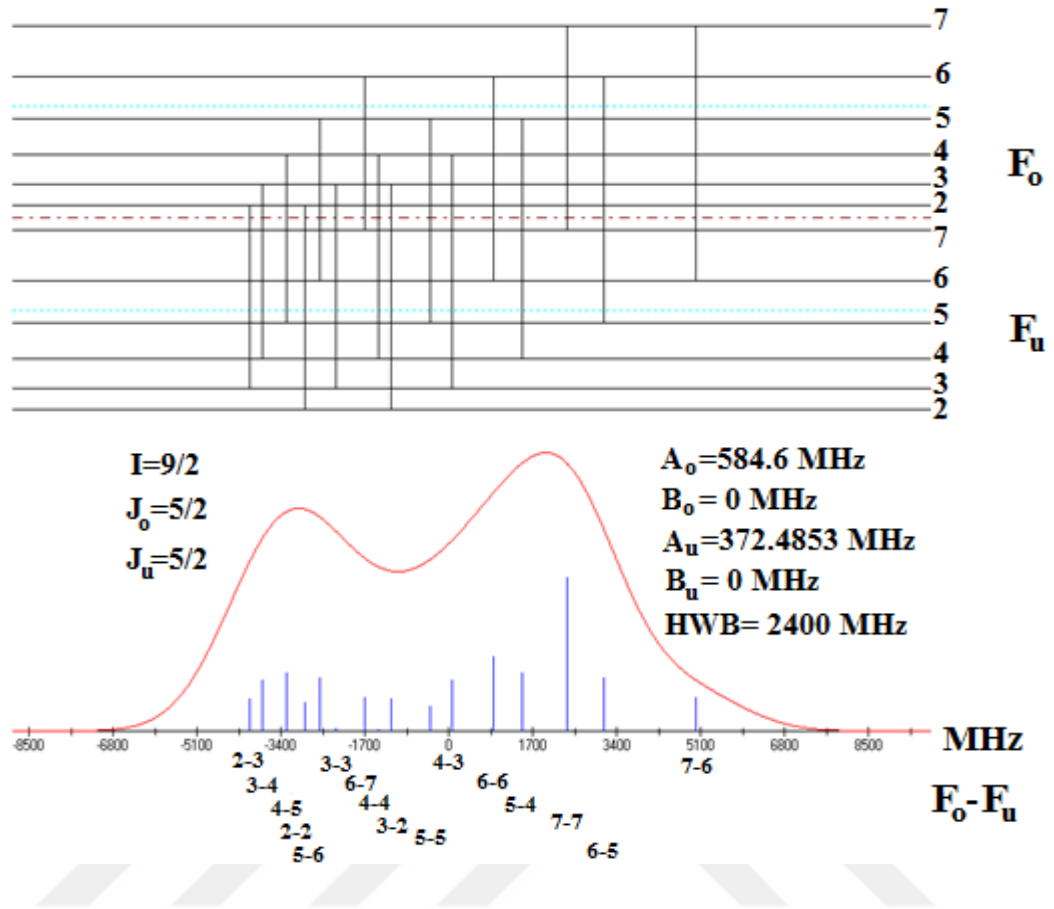
B_u : Alt enerji seviyesinin B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti

HWB: Spektral geçişin yarı genişliği

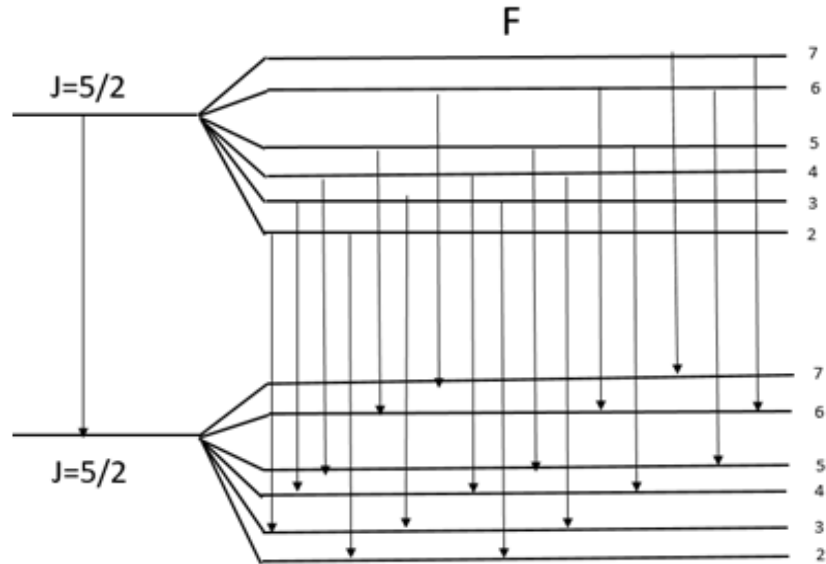
F_o : Aşırı ince yapı yarılmaları sonucu oluşan üst enerji seviyelerinin F değerleri

F_u : Aşırı ince yapı yarılmaları sonucu oluşan alt enerji seviyelerinin F değerleri

Şekil 3.7: a.’da verilen aşırı ince yapı etkileşmeleri sonucu oluşan aşırı ince yapı enerji seviyeleri arasındaki $\Delta F = 0, \pm 1$ kuralına uyan mümkün geçişler detaylı olarak Şekil 3.7: b.’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 : a. Nb I atomunun $\lambda=288.9898 \text{ nm}$ dalgaboyundaki $J=5/2 \rightarrow J=5/2$ ince yapı geçişine ait aşırı ince yapı yarılmaları ve aşırı ince yapısının teorik spektrumu.



Şekil 3.7 : b. Nb I atomunun $\lambda=288.9898 \text{ nm}$ dalgaboyundaki $J=5/2 \rightarrow J=5/2$ geçişine ait aşırı ince yapı yarılmaları ve mümkün olan geçişler.

3.8. AŞIRI İNCE YAPININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Niobyum atomunun 202.9343 nm–358.0282 nm (49261.172 cm^{-1} - 27922.789 cm^{-1}) dalgaboyu aralığında Fourier Transform spektroskopi (FTS) metodu kullanılarak Letonya Üniversitesi Atom Fiziği ve Spektroskopisi Enstitüsü'nde daha önceden ölçülmüş olan aşırı ince yapı spektrumlarının analizi bu çalışmada gerçekleştirildi. Spektral çizgilerin sınıflandırılması Classification [50] programı ile yapıldı. A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti bilinmeyen enerji seviyelerinin bu sabitlerini belirlemek için ve bilinenleri de karşılaştırmak için Fitter [51] programı kullanıldı.

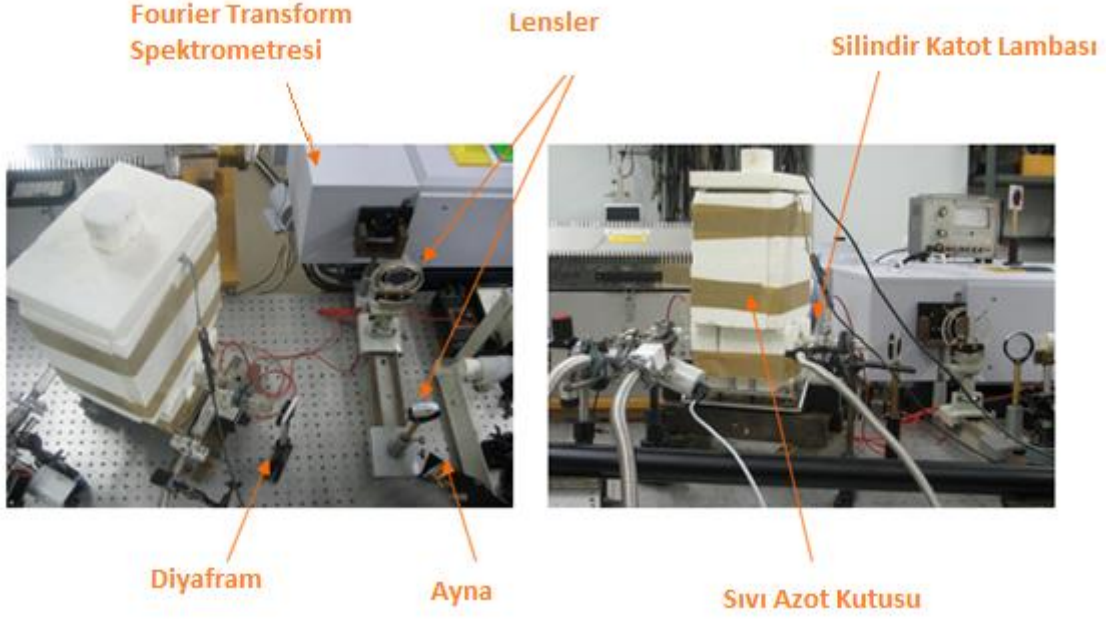
3.8.1. Fourier Transform Spektroskopi

Bu çalışmada niobyum atomunun morötesi bölgede spektral geçişleri Fourier Transform Spektrometresi ve silindir katot kullanılarak ölçüldü. Fourier Transform spektrometresinde silindir katottan çıkan ışınımın Michelson interferometresinden geçirilerek detektöre düşürülür. Buradaki amaç detektöre ulaşan ışının şiddetini artırmaktır. Zaten Fourier Transform spektrometresindeki detektöre ulaşan ışının şiddeti dispersif eleman kullanılan spektrometrelere göre daha büyüktür. Bu sayede daha büyük bir sinyal/gürültü oranı elde edilebilmektedir.

Fourier Transform spektroskopisinde spektrumun tümü kısa bir süre içerisinde kaydedilebilmektedir. Bu spektrometrelerin dalgaboyu tekrarlanabilirliği ve spektral ayırım gücü oldukça yüksektir. Bu durum sinyal/gürültü kalitesini etkiler. Burada tüm ayırım elemanlarının gürültü ortalamaları alınır. Bu her sinyalin eşit oranda gürültüyle karışması anlamına gelir. Sinyal/gürültü oranları pik şiddetine bağlı olduğu için şiddetli piklerin kalitesi daha iyileşirken, zayıf pikler de gittikçe gürültüye karışır.

Fourier Transform spektrometresinde yalnızca bir kanaldan ve sürekli olarak sinyal alınır, alınan bu optik sinyalin her bileşeninin şiddeti zamanın fonksiyonu olarak kaydedilir. Daha sonra Fourier dönüşümü ile ışık şiddetinin frekansa bağlı fonksiyonu elde edilir.

Bu çalışmada kullanılan Fourier Transform Spektroskopisi yönteminin (FTS) deney düzeneğinden bir kesit Şekil 3.8' de gösterilmiştir.



Şekil 3.8: Fourier Transform Spektroskopisi deney düzeneği [38].

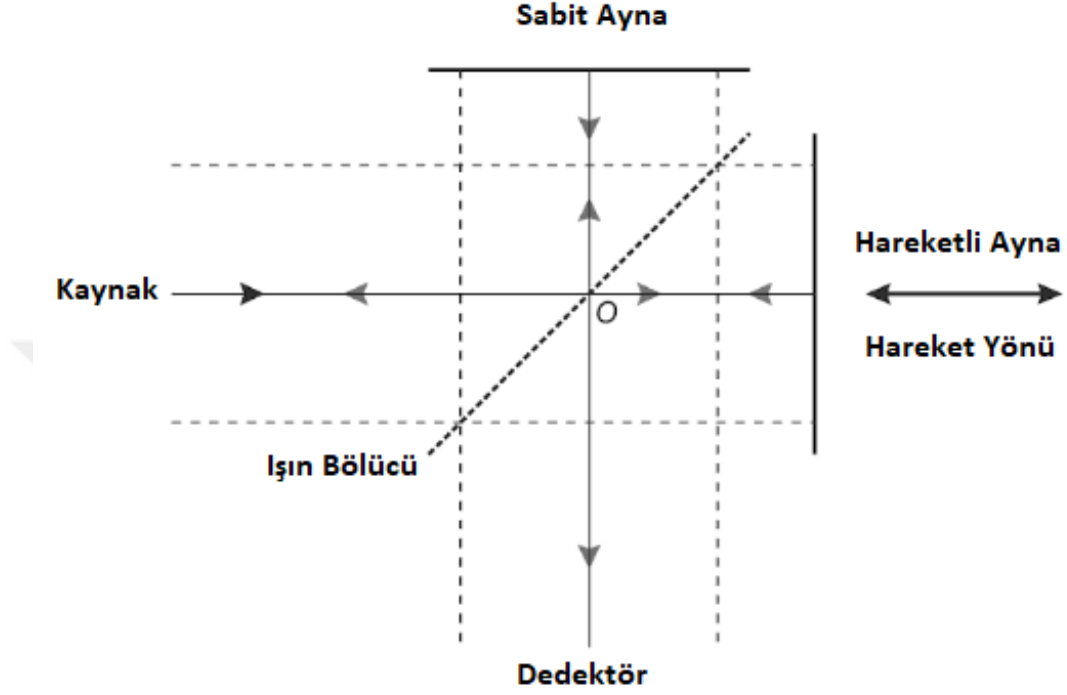
3.8.1.1. Michelson İnterferometresi

Michelson interferometresi yüksek frekanslı optik salınımları modüle ederek ölçülebilir bir frekansa dönüştürür. Yüksek frekanslı optik salınımların dedektör tarafından izlenmesi zordur. Optik salınımı ölçebilmek için sinyal, zamana bağlı modüle edilebilmeli ve ölçülebilir bir frekansa dönüştürülmelidir. Ayrıca modüle edilen sinyalin frekansının orijinal ışının frekansı ile doğru orantılı olması gerekmektedir.

Temel anlamda bir interferometre, ışığın girişim özelliğinden yararlanarak küçük mesafelerin, malzemelerin kırma indislerinin ve yüzey düzgünlüklerinin ölçülebildiği aygıttır. Bilimde ve endüstride geniş bir yelpazede kullanım alanına sahiptir. Tüm interferometrelerde ölçüm, ışığın girişim özelliğinden yararlanarak yapılır.

Michelson interferometresi çift yollu bir interferometredir. Çünkü kaynaktan çıkan ışık yarı geçirgen zar denilen yüzey üzerine geldikten sonra bölünerek iki ayrı yolu takip eden iki ayrı ışık demetine ayrıştırılır. Belli bir mesafeyi kat eden bu iki ayrı ışık demeti daha sonra aynı nokta üzerinde kesiştirilerek girişim olayının gözlenmesi için bir perde üzerine düşürülür ve istenen ölçüm yapılır. Girişimin gözlenebilmesi için tek renkli (tek frekanslı) dalgaların olması şarttır. Bu sebepten Michelson interferometresi dâhilindeki ışık kaynağı da monokromatik (tek renkli) bir kaynaktır [61].

Genel bir Michelson interferometresinin şematik gösterimi Şekil 3.9’ da gösterilmiştir. Bu çalışmada kaynak olarak silindir katot lambası kullanılmıştır ve örnek silindir katot lambasının içindedir.



Şekil 3.9 : Michelson Interferometresi [62].

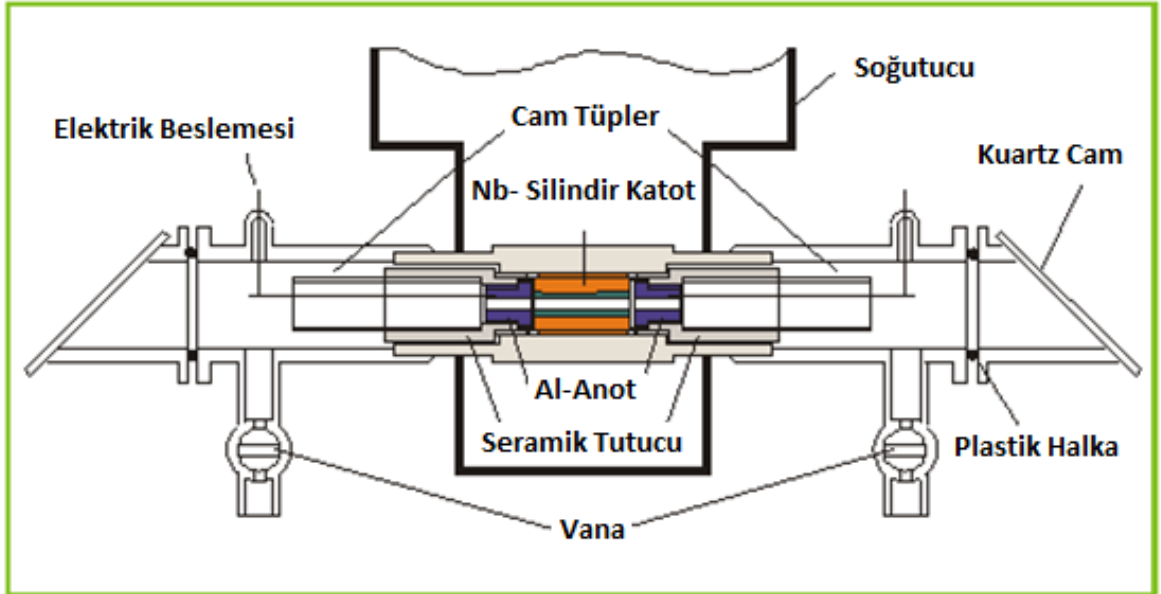
Michelson interferometresinde ortadaki yarı geçirgen ışın bölücü ayna yardımıyla, ışın demetlerinin yarısı geçirilir ve yarısı yansıtılır. Oluşan iki demetten biri sabit aynaya, diğeri hareketli aynaya gönderilir. Aynalardan yansıyan ışın demetleri bölücü aynada tekrar bir araya gelirler. Burada hareketli aynanın yatay hareketindeki hızından dolayı, detektöre ulaşan ışınların gücünde değişimler meydana gelir. Buradaki önemli nokta ise iki ayrı ışın demetinin aldıkları yollar arasındaki farktır. Eğer her iki ayna, ışın bölücünden eşit uzaklıkta olursa yani yol farkı aynı olursa, ayrılan demet birleştirildiğinde tam olarak aynı fazda olduklarından ışının gücü maksimum olur [63].

3.8.1.2. Silindir Katot

Silindir katot lambaları atomların spektral çizgilerinin incelenmesi için kullanılan en yaygın kaynaktır. Lamba, bir cam tüp içinde, 10^{-6} Torr mertebesinde vakumlandıktan sonra belli bir basınçta doldurulan gazdan, silindirik katottan ve her iki tarafındaki alüminyum anottan ibarettir.

Spektrumu ölçülmek istenen metal silindirik katot içerisine yerleştirilir. Taşıyıcı görevindeki asal gaz atomları kendi aralarında çarpışarak iyonlaşmış hale geçer. İyonlaşmış asal gaz atomları ile elektronlar uyguladığımız gerilim yeterli ise yüksek hızlara ulaşarak katoda çarpar ve katot yüzeyindeki atomlardan bazılarının koparak gaz haline geçmesine neden olur. Bu sürece sıçratma adı verilir. Sıçratılan metal atomlarının büyük bir kısmı uyarılmış haldedir ve bunlar temel haline dönerken karakteristik ışınlar yaymaktadır.

Katodun silindirik şekilde oluşu sınırlı bir bölgede atomların yoğun halde bulunmasını sağlar. Bu tasarlama, atomların cam yüzeyden çok katot yüzeyinde birikme olasılığını artırır. Yüksek gerilim uygulanması ışımanın daha büyük bir şiddette olmasını sağlarken lambada oluşan spektral çizgilerin Doppler genişlemesini artırır. Deney süresince alınan ölçümlerdeki spektral çizgilerin çizgi genişlemelerinin azaltılması ve atom buharının katot içinde kalması için silindir katot lambası, üstünde bulunan metal haznesine sıvı azot eklenerek soğutulur [64].



Şekil 3.10: Silindir katot lambası [38].

İlk oyuk katot lambası, Schüller tarafından yapılmıştır ve sadece bir anodu vardır. Paschen iki anotun içinde bir katodu olan bir oyuk katot yapmıştır. Feldmann elektrotlar aracılığıyla açık bir yolla boşalımı başlatan ilk kişidir. Miyazaki ve arkadaşları ise oyuk katodu, iki oyuk anot arasına koyarak değiştirmiştir. Benzer bir lamba Behrens, Guthöhrlein [65,66] ve arkadaşları tarafından geliştirmiştir. Bizim kullandığımız lamba en son geliştirilen lambadır [65,66].

Katot uygun fiziksel özelliklere sahip uyarılabilir metal malzemeden yapılabilir. Diğer malzemeler oyuk katodun içine yerleştirilebilir. Uygun silindir katod bakır veya alüminyumdan yapılabilir. Oyuk katotta deşarjın tamamı katodun içine gömüldüğünden uyarımın verimi yüksektir.

Katodun her iki ucuna iki anot yerleştirilir. Anotlar, katot ile temasından kaçınmak için bir seramik tutucuya monte edilir. Anotların, katot ve seramik tutucunun hemen hemen aynı büyüklükte bir deliği vardır. Bütün düzen, her iki uca uzanan ve fiili deşarj kabını oluşturan bir cam tüp içinde kapsüllenmiş bir pirinç boru içine yerleştirilmiştir. Cam tüpün uçları iki dairesel kuvartz cam levha ile kapatılmıştır. Kuvartz camı ultraviyole floresans ışığının katot lambasından çıkmasını sağlamak için kullanılır. Bu kuvartz cam plakalar aslında oyuk katot lambasının pencereleri gibi davranır.

Katot elemanları boşalma kabına yerleştirildikten sonra vakumlanır. Asal gaz (bu çalışmada neon asal gazı) katot lambasına doldurulur. İyonize gaz hızlandırılarak katot malzeme üzerine düşürülür ve serbest atomlar elde edilir. Bu püskürtme katodu olarak bilinir. Püskürtme katodu bulunduğu yerin ve uyarılmış durumun bir serbest elektron bulutunu oluşturur. Bu durumda bulunduğu yerin ve uyarılmış durumun popülasyonu önemlidir. Uyarılmış seviyeler daha küçük bir miktarda işgal edilir [67].

3.8.2. Niyobyum (Nb) Atomunun Aşırı İnce Yapısının Fourier Transform Spektroskopi (FTS) Yöntemi ile İncelenmesi

Bu metotta, içinde incelenecek metal bulunan silindir katot lambasından çıkan emisyon spektrumu, Michelson interferometresi içeren Fourier Transform Spektrometresi ile ölçülür. Yüksek çözünürlüklü FT spektrumları, FT spektrometresi kullanılarak kaydedilir. Spektral çizgilerin alt ve üst enerji seviyelerinin bilinen aşırı ince yapı sabitleri kullanılarak Classification [50] programı aracılığıyla spektral çizgiler sınıflandırılır ve aşırı ince yapıları incelenir [67].

Bu çalışmada kullanılan deneysel datalar, sıvı azot soğutmalı silindir katot lambasında taşıyıcı gaz olarak Neon asal gazının kullanıldığı deneylerden elde edilmiştir. Nb plazması silindir katot gaz boşalımında hazırlanmıştır. Silindir katottan çıkan niyobyumun emisyon ışınımı lensler yardımı ile Fourier Transform Spektrometresinin giriş aralığına odaklanmıştır. Doppler genişlemesini azaltmak için silindir katot sıvı azot ile soğutulmuştur.

Niyobyum metali rulo şeklinde silindir şeklindeki oyuk bakır katodun içine yerleştirilmiş ve emisyon spektrumu çekilmiştir. Taşıyıcı gaz olarak Neon asal gazı kullanılarak çekilen spektrum kaydedilmiştir. Deneylerde Ne için asal gaz basıncı 3.4 mbar olarak seçilmiştir. Silindir katot lamba yaklaşık 85 mA akımla çalıştırılmıştır.

Alınan spektrum mor ötesi bölgenin 202.9343 nm – 358.0282 nm ($49261.172 \text{ cm}^{-1}$ - $27922.789 \text{ cm}^{-1}$) dalgaboyu aralığındadır. Kullanılan spektrometre Bruker IFS (125)HR Fourier Transform Spektrometresidir. Spektrometrenin giriş açıklığı 1mm'dir ve bu açıklık 0.025 cm^{-1} lik spektral çözünürlüğe karşılık gelir. Spektrum 200 tarama ile toplamda iki saatlik ölçüm süresinde elde edilmiştir. Deneyler Letonya Üniversitesi, Atom Fiziği ve Spektroskopisi Enstitüsü'nde yapılmış olup, bu çalışmada mevcut olan deneysel dataların analizi gerçekleştirildi. Elde edilen spektrumun analizinde Nb I, Nb II çizgileri ile birlikte Neon çizgileri de görüldü.

3.9. SPEKTRAL ÇİZGİLERDE ÇİZGİ GENİŞLEMELERİ

Deneysel olarak gözlemlenen bir geçişi tanımlamak için kullanılan 'çizgi' kelimesinin geçmişi, spektroskoplarla görünür spektrumların gözlenmesinin ilk günlerine kadar uzanmaktadır. Günümüzde gözlemler dalga boyu, frekans veya dalga boyuna karşı geçişin yoğunluğunun bir ölçüsü eğiliminde olmakla beraber bu tür spektrumlarda çizgi olarak pik tanımına hala devam edilmektedir [68].

3.9.1. Doğal Çizgi Genişlemesi

Doğal çizgi genişlemesinde yarı genişlik sadece atomların enerji seviyelerinin yaşam ömrüne bağlıdır. τ enerji seviyelerinin yaşam ömrü olmak üzere,

$$\nu = \frac{1}{\tau} \quad (3.31)$$

ile verilir.

Atom E_i enerji seviyesinden E_k enerji seviyesine kendiliğinden emisyon yaptığında bu duruma karşılık gelen Einstein katsayısı A_i dir. E_i enerji seviyesindeki N_i doluluğu dt süresi içerisinde,

$$dN_i = -A_i N_i dt \quad (3.32)$$

kadar azalır. $t = 0$ anında E_i enerji seviyesindeki N_i doluluğu N_{i0} olmak üzere,

$$N_i = N_{i0} e^{-tA_i} \quad (3.33)$$

olur. $t = \tau_i = 1/A_i$ süre sonunda doluluk yoğunluğu başlangıç değerinin $1/e$ 'sine düşer.

$$\delta\omega = A_i = (\tau_i)^{-1} \text{ ya da } \delta\nu = \frac{\gamma}{2\pi} = \frac{A_i}{2\pi} = (2\pi\tau_i)^{-1} \quad (3.34)$$

olarak bulunur. Bu denklemler Heisenberg Belirsizlik İlkesinden de çıkarılabilir.

τ_i yaşam ömrüne sahip, E_i uyarılmış enerji seviyesi $\Delta E \cong \hbar\omega \cong \hbar/\tau_i$ belirsizliğiyle belirlenebilir. Bu seviyeden E_k taban seviyesine geçişin $\omega_{ik} = (E_i - E_k)/\hbar$ frekansı da bir $\delta\omega$ belirsizliğine sahiptir. Bu durumda,

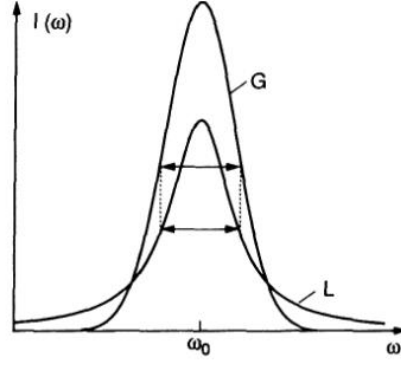
$$\delta\omega = \frac{\Delta E_i}{\hbar} = \frac{1}{\tau_i} \quad (3.35)$$

olur. Eğer E_k temel seviye değil de τ_k yaşam ömrüne sahip uyarılmış bir seviye ise ΔE_i ve ΔE_k belirsizliklerinin ikisi de çizgi genişlemesine katkıda bulunur. Toplam belirsizliğe karşılık gelen toplam doğal çizgi genişlemesi,

$$\Delta E = \Delta E_i + \Delta E_k \Rightarrow \delta\omega = \frac{1}{\tau_i} + \frac{1}{\tau_k} \quad (3.36)$$

olarak verilir.

Her atom ya da molekül aynı şekilde davrandığından doğal çizgi genişlemesi Şekil 3.11'de gösterildiği gibi karakteristik bir Lorentz çizgi profiliyle sonuçlanan homojen çizgi genişlemesinin bir örneğidir. Doğal çizgi genişlemesi genellikle diğer çizgi genişlemelerine göre çok küçüktür ve hiçbir spektroskopik metodla yok edilemez [68].



Şekil 3.11: Eşit yarıgenişliklerde Gauss ve Lorentz profillerinin karşılaştırılması [68].

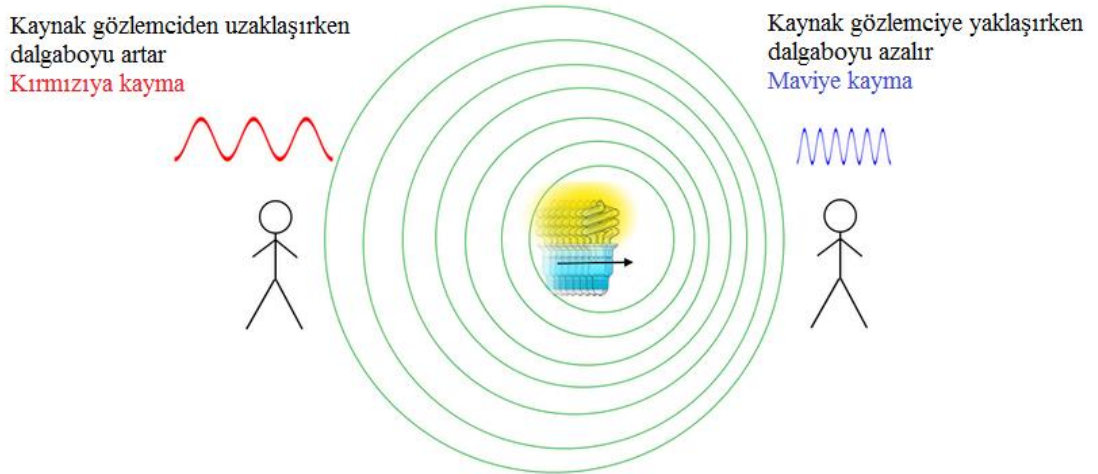
3.9.2. Doppler Çizgi Genişlemesi

Radyasyonun absorbe edildiği veya yayıldığı frekans, detektöre göre atomun veya molekülün hızına bağlıdır. Bu olay, aynı şekilde bir gözlemcinin kendisine doğru gelen bir trenin düdüğünün frekansını olduğundan yüksek; kendisinden uzaklaşan trenin düdüğünün frekansını olduğundan düşük gibi algılaması gibidir. Bu etki Doppler etkisi olarak bilinir.

Eğer bir atom veya molekül bir V_a hızıyla detektöre doğru ilerliyorsa, gözlenen geçişin frekansı ν_a , sabit olan atom veya molekülün frekansı denklem (3.37) ile verilir.

$$\nu_a = \nu \left(1 - \frac{V_a}{c}\right)^{-1} \quad (3.37)$$

Burada c ışık hızıdır.



Şekil 3.12: Hareketli bir ışık kaynağına göre Doppler etkisi [69].

Her zamanki Maxwell hız dağılım denklemine göre atomun veya molekülün kütesinden dolayı doğal çizgi genişlemesinden çok daha büyük olan karakteristik bir çizgi genişlemesi meydana gelir.

$$\Delta\nu = \frac{\nu}{c} \left(\frac{2kT \ln 2}{m} \right)^{1/2} \quad (3.38)$$

m: Atomun veya molekülün kütlesi

T: Atom veya moleküllerin termal dengede olduğu sıcaklık

k: Boltzmann sabiti

Genişleme homojen değildir. Çünkü bir örnekteki atom veya moleküllerin hepsi aynı şekilde davranmaz. Bu da Şekil 3.11’de gösterilen Gauss çizgi profiline uyan bir çizgi genişlemesine neden olur [70].

3.9.3. Basınç Çizgi Genişlemesi

Gaz fazındaki atom veya moleküllerin çarpışması sırasında enerji seviyelerinin kaymasına neden olan etkili bir enerji ortaya çıkar. τ çarpışmalar arasında geçen süre ve iki seviye arasındaki çizgi genişlemesi $\Delta\nu$ geçişine bağlı olmak üzere;

$$\Delta\nu = (2\pi\tau)^{-1} \quad (3.39)$$

Denklemini belirsizlik ilkesinden türetilmiştir. Bu çizgi genişlemesi doğal çizgi genişlemesi gibi homojendir. Genellikle simetrik olmayan bir çizgi şekli verir ve düşük frekanslarda Lorentzian çizgi profiline uyar [70].

3.9.4. Satürasyon Çizgi Genişlemesi

Atomun güçlü bir radyasyon alanına girmesi ile çizgilerde meydana gelen genişlemedir. Atomlar yüksek şiddetli bir laserle uyarıldığında rezonans frekansı etrafında atomun uyarılması kendiliğinden emisyon ya da çarpışma yoluyla enerji aktarımına göre çok daha hızlı olur. Bu da atomik seviyelerin nüfus yoğunluğunu değiştirir ve satürasyon çizgi genişlemesine neden olur. Satürasyon çizgi genişlemesine bir başka deyişle güç genişlemesi de denir. Satürasyon çizgi genişlemesi homojen ise Lorentz profiline, homojen değil ise Gauss profiline uyar [68].

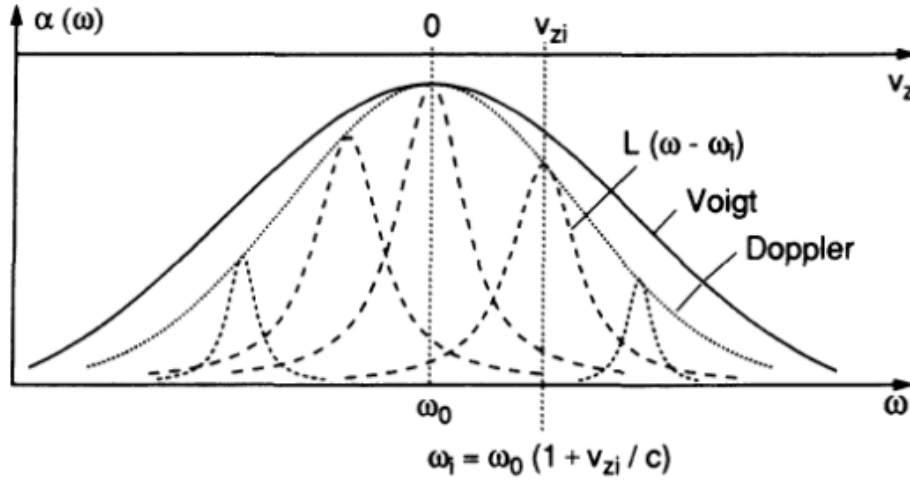
3.9.5. Birleşik Çizgi Genişlemeleri

Yapılan deneylerde çizgi genişleme mekanizmalarını ayrı ayrı görmek mümkün değildir. Ancak çizgi genişlemelerine sebep olan etkiler tek tek indirgenebilir. Yine de çizgileri bu etkilerden tümüyle izole etmek mümkün değildir. Tüm çizgi genişlemelerinin toplamı her bir çizgi profilini içerecek şekilde tek bir çizgi profili ile verilir.

$$I(w) = I_{Doğal}(w) \cdot I_{Doppler}(w) \cdot I_{Basınç}(w) \cdot I_{Satürasyon}(w) \quad (3.40)$$

$$I_{Voigt}(w) = I_{Gauss}(w) \cdot I_{Lorentz}(w) \quad (3.41)$$

Sonuç çizgi profili hem Lorentz hem Gauss profillerini içeren Voigt profilidir [67]. Bu durum Şekil 3.13'te gösterildi.



Şekil 3.13: Voigt profili [68].

3.10. SPEKTRUMLARIN İNCELENMESİNDE KULLANILAN BİLGİSAYAR PROGRAMLARI

3.10.1. Classification Programı

Niyobyum'un mor ötesi bölgede 202.9343 nm–358.0282 nm (49261.172 cm^{-1} - 27922.789 cm^{-1}) dalgaboyu aralığındaki spektral çizgilerini analiz etmek için Classification [50] programı kullanılmıştır. Bu program Prof. Dr. L. Windholz (Avusturya, Graz Teknoloji Üniversitesi, Deneysel Fizik Enstitüsü) tarafından geliştirilmiştir [50]. Program önceden bilinmeyen çizgileri sınıflandırarak aşırı ince yapı desenlerini vermektedir. Ayrıca sınıflandırılmamış çizgilerden bilinmeyen enerji düzeylerini bulabilme stratejisine de sahiptir. Ancak bu durum, bu tezin konusu değildir.

FT spektrumlarının bu program yardımıyla analiz edilebilmesi ve sinyal gürültü oranlarının belirlenebilmesi amacıyla tüm spektrumun normalize edilmesi gerekir. Normalize işleminden sonra tüm spektrum incelenmek için hazır hale gelmiş olur.

Programın çalışabilmesi için uygun giriş dataları oluşturulmalıdır. Programın doğru sonuçlar verebilmesi için oluşturulması gereken temel giriş datalarından biri, deneysel olarak bilinen ince yapı enerji seviyelerinin, bir diğeri ise deneysel olarak bilinen ince yapı spektral geçişlerinin bilgilerini içeren dosyalardır. Öncelikle incelenen elementin ve kullanılan asal gazın atom ve iyon hallerinin bilinen tüm ince yapı enerji seviyeleri programa uygun hale getirilerek giriş dosyaları oluşturulur. Bu enerji seviyelerinin yer aldığı dosya, ince yapı enerji seviyelerinin paritesini, J kuantum sayısını ve eğer varsa aşırı ince yapı sabitlerini referanslarıyla birlikte içerir.

Diğer giriş dosyası incelenen elementin literatürden bilinen deneysel spektral çizgilerinin derlendiği dosyadır. Bu amaçla elementin atom ve iyon halinin bu çalışma yapılana kadarki süreçte bilinen tüm spektral çizgilerinin dalgaboyları, dalga sayıları, bu geçişlerin alt ve üst enerji seviyeleri, bu seviyelerin J değerleri ve varsa aşırı ince yapı sabitlerini içeren veriler her bir spektral çizgi programa tek tek tanıtılarak tek bir dosyada toplanır. Böylece incelenen elementin nötr ve iyonize durumları hakkında bilgi sahibi olunur ve literatüre eklenecek yeni çizgilerin varlığı daha net bir şekilde ortaya çıkar.

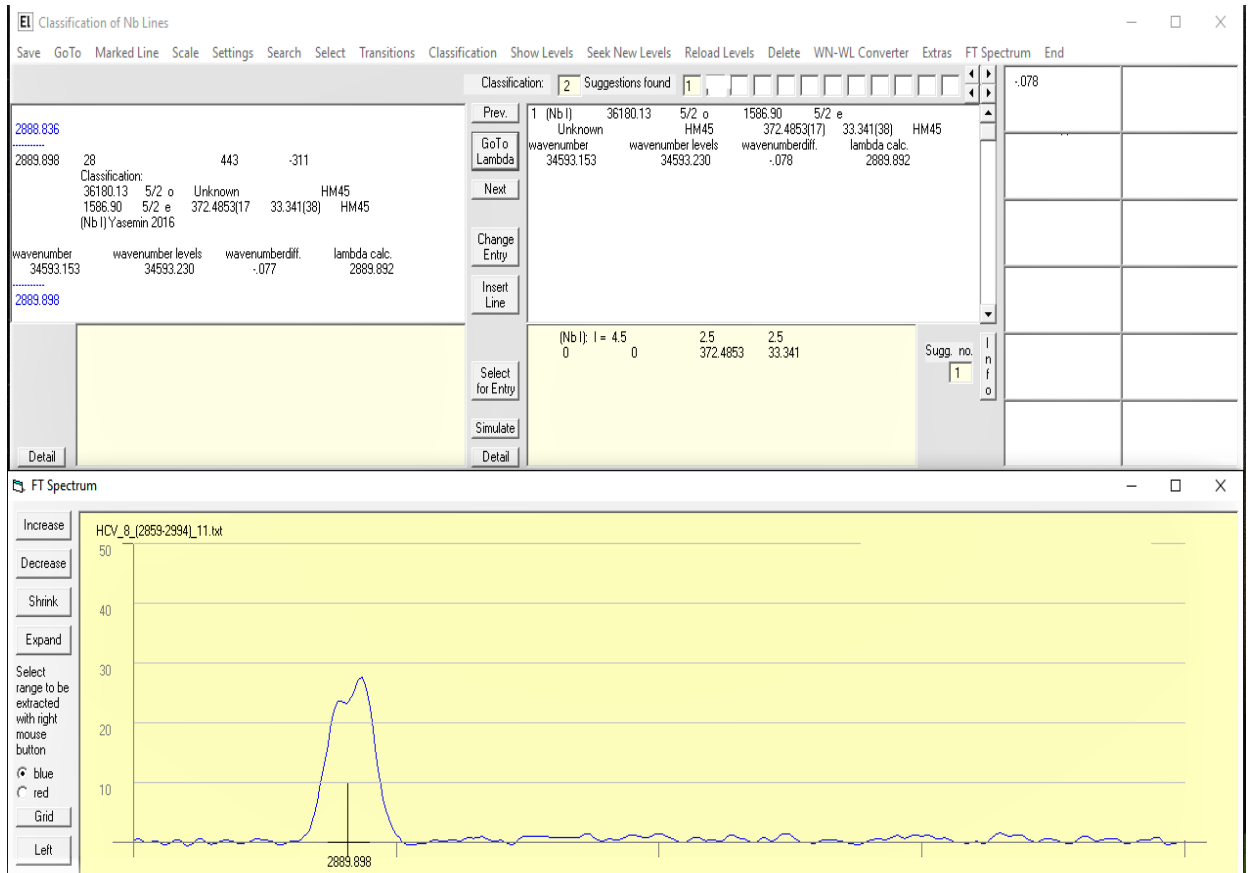
Classification [50] programı iki bölümden oluşur. Şekil 3.14'te görüldüğü gibi programın üst penceresi spektral geçiş hakkında bilgi verirken alt penceresinde FT spektrum görülür. FT spektrumunda görülen her bir çizginin ağırlık merkezi seçilerek tek tek programa tanıtılır. Program incelenen her bir çizgi için mümkün olan tüm geçişleri gösterir. Program tarafından verilen tüm olasılıklar içinden incelenen çizginin ağırlık merkezine en yakın olan çizgi seçilir. Bu spektral çizginin FT spektrumundaki geçişe karşılık gelip gelmediğini anlamak için Classification [50] programının bir alt programı olan simülasyon programı kullanılır. Simülasyon programı beklenen aşırı ince yapı desenlerine göre literatürden bilinen A manyetik dipol ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitlerini kullanarak tahmini bir Gauss profili çizmektedir. Buradan spektral çizginin dalga sayısı farkları karşılaştırılarak aşırı ince yapısı görünen desenler için sınıflandırma yapılabilmektedir.

Programda sınıflandırılmamış çizgileri bulmak için yeni yöntemler mümkündür. Birincisi dalga sayısı kombinasyonu ile yeni seviyeler bulmaktır. Bu yöntemde Ritz kombinasyonu ile diğer seviyelerle birlikte yeni bir seviye önerilir ve daha sonra sadece bu önerinin doğrulanması yapılır. Diğeri ise sınıflandırılmamış çizgilerin modelleriyle yeni bir aşırı ince yapı analizi yapmaktır. Bu yöntemde ise A manyetik dipol ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti çiftinin bilinmesi yeni bir spektral çizgi oluşumu için yeterlidir [50].

3.10.1.1. İnce Yapı Çizgilerinin Classification Programı Aracılığıyla Sınıflandırılması

Bir elementin farklı spektral bölgelerde FT spektrumlarında incelenen spektral çizgilerde, atom ve iyon halinde birçok spektral geçiş mevcuttur. Bu kadar çok sayıda atom ve iyon çizgisini program olmadan sınıflandırmak çok zordur. Classification [50] programı herhangi bir element için giriş dataları uygun olarak hazırlandığında kullanılabilir. Bu çalışmada bu program niyobyum elementi için kullanıldı. Program atomik veya iyonik çizgiler için ya da her ikisi için aynı anda kullanılabilir.

Bu programın çalıştırılabilmesi için üç veri dosyasına ihtiyaç vardır. Bunlar: i) atomlar için bütün atomik durum seviyelerini içeren dosya, ii) iyonlar için atomun ilk iyonik halinin bilinen seviyeleri, iii) sınıflandırılmış veya sınıflandırılmamış tüm çizgileri içeren dalgaboyu dosyasıdır. Spektral çizgiler programa tanıtılırken çizgilerin dalgaboyları Å cinsinden verilir. Eğer çizgiler sınıflandırılmışsa çizgilerin alt ve üst enerji seviyeleri, bu seviyelerin pariteleri ve J değerleri tanımlanabilir.



Şekil 3.14: Classification [50] programının pencereleri.

Bu program çok sayıda spektral çizgiyi ve düzeyi inceleme olanağı sağlar. Program ayrılmış iki pencere açar ve sağdaki her küçük pencere bir grafik alanına sahiptir. Bu küçük pencerelerde çizginin aşırı ince yapısı görüntülenir, burada her bir çizgi için tüm olası sınıflandırmalar verilir. Sol taraftaki pencerede görünen spektral çizginin ağırlık merkezi dalgaboyudur ve her seviyeye karşı açıklamalar görülür. Bu açıklamalarda genellikle seviyeyi keşfeden kişi veya grubun adı veya adlarını içerir. Classification [50] programının menüsü Şekil 3.14'te gösterilmiştir.

Programda Peck ve Reeder dağılım formülü kullanılarak ağırlık merkezi dalgaboyu, dalga sayısına dönüştürülür. Alt ve üst seviyenin dalgaboylarının farkı da yine Peck ve Reeder dağılım formülüne göre dalga sayısına dönüştürülür. Hesaplanan dalga sayısı ile merkez dalga sayısı arasındaki fark; ağırlık merkezi dalga sayısı da görüntülenerek bilinen alt ve üst enerji seviyelerinin doğruluğunun ne kadar olduğunu anlamaya yardımcı olur.

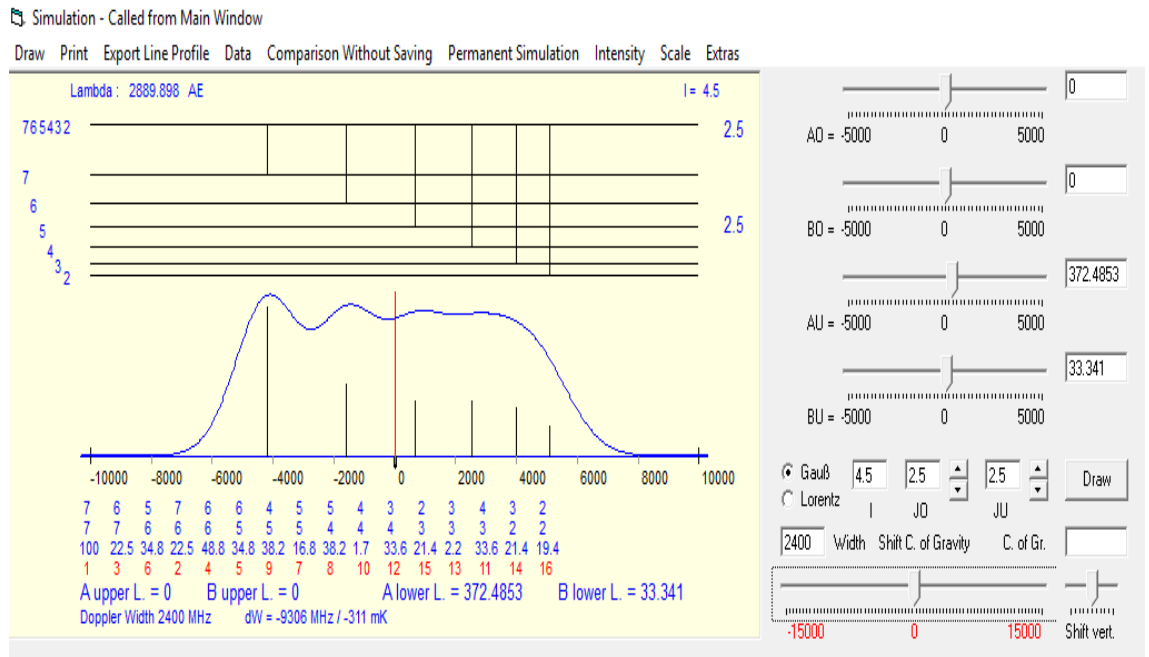
Bu pencere bir önceki ve bir sonraki çizgilerin dalgaboylarını da görüntüler. Çizginin sınıflandırılması için tüm olası geçişler, atomik veya iyonik geçişler olarak ana pencerenin orta bölümünde görüntülenir. Eğer sadece atomik veya iyonik geçiş gözlemlenmek isteniyorsa diğer geçişler sınırlandırılabilir ya da seçenekler arasında arama yapılabilir (Atomik geçişler, iyonik geçişler ya da ikisinin bir arada olduğu geçişler). Pencerenin grafik alanı aynı zamanda önerilen aşırı ince yapı geçişini gösterir. Programa ait bazı önemli özellikler şunlardır:

- İleri ve geri tuşları kullanılarak bir önceki veya sonraki çizgiye rahatlıkla geçilebilir.
- ‘Go to lambda’ düğmesi ile bir çizgiden istenen herhangi bir çizgiye gidilebilir.
- ‘Insert line’ düğmesi ile dalgaboyu listesine yeni bir çizgi eklenebilir.
- ‘Change Entry’ düğmesi ile çizginin daha önceden girilmiş özellikleri düzenlenebilir.
- ‘Save’ düğmesi yapılan tüm değişiklikleri kaydetme olanağı sunar.
- Dosyanın başına veya sonuna hızlıca geçilebilir.
- Bir ölçek düğmesi ile spektrum küçültülebilir veya genişletilebilir.
- Spektral çizginin Doppler genişliği değiştirilebilir.
- Aynı seviyeye ait tüm geçişler taranabilir.
- Program aynı olan tüm çizgileri gösterebilir.
- Belli bir değerden yüksek yoğunluktaki çizgiler seçilebilir.
- Görüntülenen farklı parametre bilgileri; toplam seviye listesi, dalgaboyu listesindeki toplam çizgi sayısı vb.dir.
- Seviye listesini açmadan atomik veya iyonik seviyedeki listelerdeki girişlerin hepsini görmek mümkündür.
- Atomik veya iyonik seviye listesi açısal momentum sayısını veya aşırı ince yapı sabitlerini içerir.
- Program tüm tek ve çift pariteli seviyeleri ayrı ayrı görüntüler.
- Üst seviyeden tüm olası geçişlerin listesini veya daha düşük seviyeye geçişleri görüntüler.
- Negatif floresans çizgileri gibi pozitif çizgilerini de görüntüler.
- Güncellenmiş seviye listesi programla çalıştırılarak veya seviye listesi tekrar yüklenerek değişiklikler kolayca etkinleştirilebilir.
- Gerçek çizgi veya floresans geçişler esnasında bir varsayımsal seviye gözlemlenebilir.

- Peck ve Reeder dağılım formülü kullanılarak dalgaboyu - dalga sayısına veya dalgaboyu - dalgaboyuna dönüşümünü otomatik olarak gerçekleştirecek bir alt program penceresi etkinleştirilebilir.
- Önerilen veya sınıflandırılan çizgilerin aşırı ince yapısıyla ilgili ayrıntıları görüntülenebilir.

3.10.2. Simülasyon Programı

Classification [50] programı sınıflandırılmış veya sınıflandırılmamış çizgilerin aşırı ince yapısını simüle eden bir alt programa sahiptir. Eğer çizgi sınıflandırılır, otomatik olarak aşırı ince yapı sabitleri alınır ve J değerleri arasındaki geçiş seviyesini verirse çizginin aşırı ince yapısı önerilir. Sınıflandırma önerisi Fourier transform spektrumunda iyi çözölen bir aşırı ince yapı ile simülasyon programının aşırı ince yapısı eşleşirse kabul edilir. Program seçim kurallarının ihlali durumunda uyarı gösterir. Programda gerekirse Doppler genişliği ve çekirdek spini de değıştirilebilir. Çizgi sınıflandırılmamışsa Fourier transform spektrumu sayesinde iyi çözönmüş aşırı ince yapı fit edilerek yaklaşık aşırı ince yapı sabitleri elde edilir ve bu değler sonraki değlendirme için Fitter [51] programına başlangıç değeri niteliğinde kabul edilir [67]. Simülasyon programının menüsü Şekil 3.15’de gösterilmiştir.



Şekil 3.15: Simülasyon programının menüsü [50].

3.10.3.Fitter Programı

Bu program spektroskopik incelenmesi yapılmış ve kaydedilmiş çizgilerin bilgisayarda dijital forma dönüştürülerek, aşırı ince yapı sabitlerinin ve ağırlık merkezlerinin değerlendirmesini yapmaktadır. Program Helmat Schmit Üniversitesi, Hamburg Almanya'da Prof. Dr. G. Guthöhrlein tarafından yazılmıştır [51]. FT spektrumundan çıkarılan bir çizginin aşırı ince yapı sabitlerinin belirlenmesi için özellikle tasarlanmış olan bir programdır.

FT spektrumdaki aşırı ince yapılarda frekansa bağlı yoğunluk dağılımı vardır. Kaydedilen ince yapıdaki fiziksel değerlendirmeleri yapmak için zamanın bir fonksiyonu olarak önceden kaydedilmiş bir yoğunluk dağılımını en iyi şekilde hesaplayan bir matematiksel model içermektedir. Bu fonksiyon bir frekans fonksiyonuna dönüştürülür. Bir doğrusallaştırma ile programda, $I(\bar{\nu})$ cinsinden yani dalgasayısı cinsinden ölçülen spektrum, eşit aralıklı noktalarla $I(\nu)$ frekans dağılımına dönüştürülür.

Aşırı ince yapı bileşenlerinin herbirinin pozisyonları Casimir faktörleri ve aşırı ince yapı sabitlerinin yardımıyla

$$\nu = \nu_c + \alpha_0 A_0 + \beta_0 B_0 - \alpha_u A_u - \beta_u B_u \quad (3.42)$$

denklemleri bulunur. Denklemde

ν_c : İncelenen spektral geçişin frekansı

α_0, β_0 : Spektral geçişin üst ince yapı enerji seviyelerinin Casimir faktörleri

α_u, β_u : Spektral geçişin alt ince yapı enerji seviyelerinin Casimir faktörleridir ve aşağıdaki formüllerle verilir [65].

$$\alpha = \frac{1}{2} [F(F + 1) - I(I + 1) - J(J + 1)] \quad (3.43)$$

$$\beta = \left[\frac{3}{4} C(C + 1) - I(I + 1) \cdot J(J + 1) \right] / [2I(2I - 1) \cdot J(2J - 1)] \quad (3.44)$$

$$C = [F(F + 1) - I(I + 1) - J(J + 1)] \quad (3.45)$$

(3.43) ve (3.44) denklemleri kullanılarak her bir seviye için Casimir faktörleri hesaplanır. Her bir aşırı ince yapı seviyesi için (3.42) denklemi oluşturulur [60].

Programdaki en önemli parametreler alt ve üst seviyelerin aşırı ince yapı sabitleri ve incelenen spektral çizginin yarı genişliğidir.

Giriş parametreleri olarak spektral çizgi ile ilgili fiziksel başlangıç durumları alınır. Fitter [51] programı en küçük kareler yöntemini kullanarak fit işlemini gerçekleştirir.

En küçük kareler yönteminde aranan fonksiyon (3.46) denklemini minimum yapacak şekilde belirlenir.

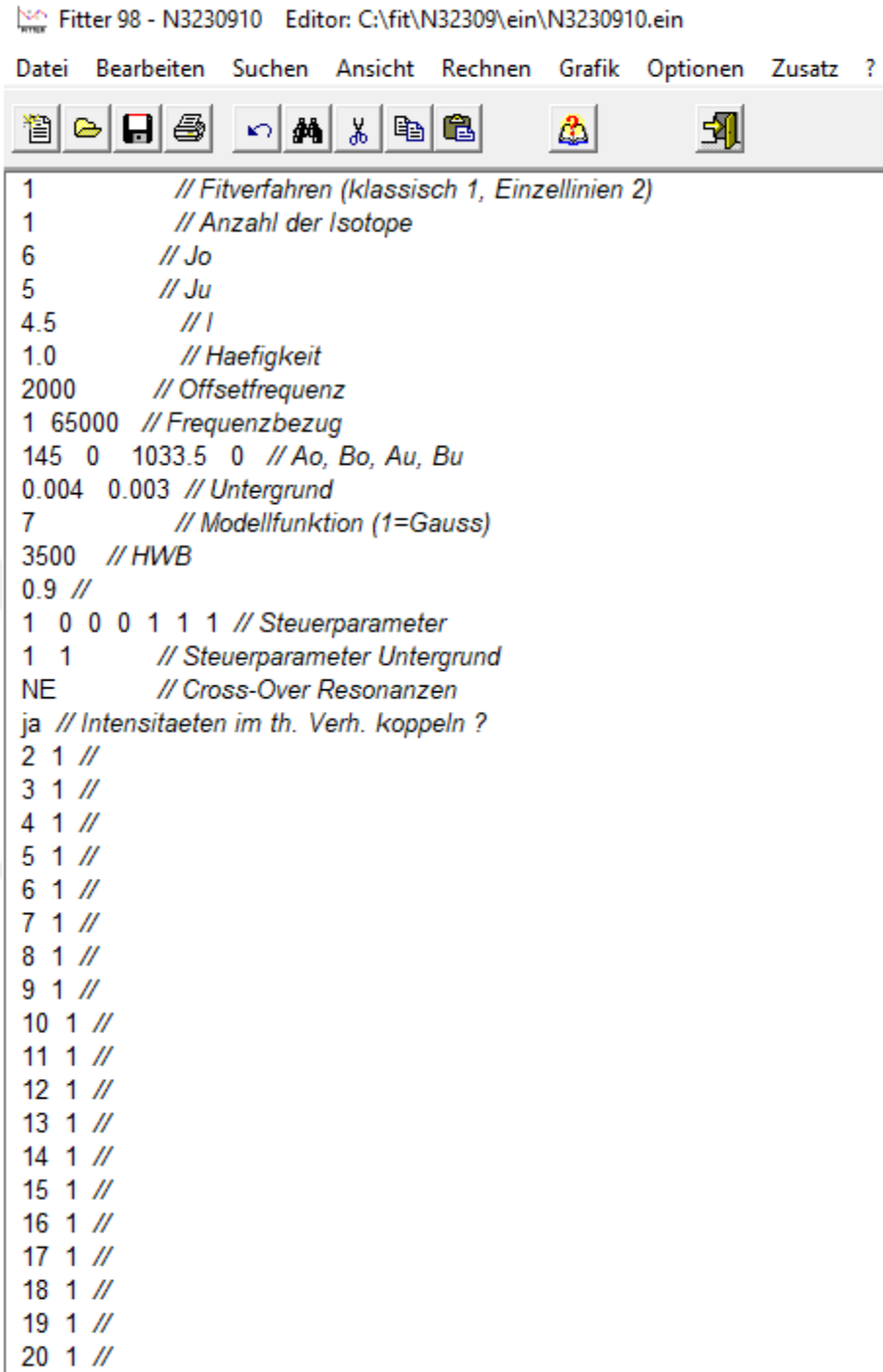
$$ESS = \sum_{k=1}^n [I_k(k) - I_k(\nu_k, \vec{a})]^2 \quad (3.46)$$

$I_k(k)$: ν_k frekans noktasında ölçülen şiddet

$I_k(\nu_k, \vec{a})$: Fit parametrelerinin seti olan $\vec{a}$ vektörü ve bu duruma karşılık hesaplanan şiddet

Her bir karenin toplamının minimum olması için, hataların da küçük olması gerekir. Bu sebeple yönteme en küçük kareler yöntemi denir.

Denklem Taylor serisine açıldığında, lineer olmayan ve homojen denklemler elde edilir. Bu oluşan denklemlerin sayısı $\vec{a}$ vektöründeki parametrelerin sayısına bağlıdır. $\vec{a}$ 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. Denklemin çözümü, $\vec{a}$ vektöründeki parametrelerin yeni bir setini verir. Bu yeni vektör seti bir sonraki iterasyon için başlangıç değeri olarak kullanılır. Bu işlem en iyi sonucu verene kadar bu şekilde devam eder [67]. Şekil 3.16’da Fitter [51] programının giriş datası gösterilmiştir. Bu giriş datası incelenen spektral çizginin alt ve üst enerji seviyelerinin J değerlerini, aşırı ince yapı sabitlerini, elementin izotop sayısını, çekirdek spinini ve çizginin yarı genişliği bilgilerini içerir. Fitter [51] programının kullanımı Bölüm 4.2’de anlatılmıştır.



Şekil 3.16: $\lambda=309.4172$ nm dalga boylu spektral çizgisi için Fitter programının giriş dosyası.

4. BULGULAR

Bu çalışmada niyobyum elementinin, morötesi bölgede 202.9343 nm – 358.0282 nm ($49261.172 \text{ cm}^{-1}$ - $27922.789 \text{ cm}^{-1}$) dalga boyu aralığındaki spektral çizgileri sınıflandırılarak aşırı ince yapısı incelendi. Deneyler Letonya Üniversitesi Atom Fiziği ve Spektroskopisi Enstitüsü Fizik Bölümü'nde yüksek çözünürlüklü Fourier Transform Spektrometresi kullanılarak gerçekleştirildi. Bu yöntem 3.bölümde detaylı olarak anlatıldı. Fourier Transform Spektroskopi yöntemi ile elde edilen spektrumlar incelenerek Nb elementinin mor ötesi bölgedeki spektral çizgileri sınıflandırılarak A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri bilinmeyen enerji seviyelerinin aşırı ince yapısı incelendi ve bilinen değerler ise literatürle karşılaştırıldı.

4.1. Nb Atomuna Ait Spektral Çizgilerin Sınıflandırılması

Fourier Transform Spektroskopi yöntemiyle elde edilen spektrumun sınıflandırma işleminin yapılmasında Classification [50] programı kullanıldı. Classification [50] programının esas amacı, incelenen elemente ait yeni spektral çizgilerin tanımlanması ve spektral geçişlerin alt veya üst ince yapı enerji seviyelerinin belirlenmesidir.

Spektrumda nötr niyobyum (Nb I) ve bir kez iyonize olmuş niyobyuma (Nb II) ait pek çok çizgi görüldü. Bu çizgiler arasından Nb elementine ait, Nb I ve Nb II'ye ait bilinen ve ilk kez gözlenen çizgiler ile Nb veya Ne olabilecek yeni çizgiler olacak şekilde sınıflandırma yapıldı. Sınıflandırma işlemi yapılırken ilk olarak literatürden bilinen deneysel A manyetik dipol ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti değerleri göz önüne alındı. Literatür taraması yapılarak şu ana kadar nötr niyobyum ve bir kez iyonize olmuş niyobyuma ait tüm geçişler programa tanımlandı. Daha sonra bulunan çizgiler literatürdeki çizgilerle karşılaştırılarak analiz edildi.

Classification [50] programının çalışabilmesi için, giriş dosyaları oluşturuldu. “wNb” dosyası incelediğimiz Nb elementin literatürde bilinen tüm spektral çizgilerin dalga boyu tablosunu içerecek şekilde oluşturuldu. “Level_Nb” ve “Lev_Nbii” sırasıyla Nb I ve Nb II elementlerinin literatürden bilinen tüm enerji seviyelerinin bulunduğu dosyalar olacak şekilde hazırlandı. Bu dosyalara Nb elementi için Nb I ve Nb II durumlarının, şiddetleri, dalga boyları, bilinen alt ve üst enerjileri seviyeleri, spektral terimleri, pariteleri, J değerleri, A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri, B kuadropol moment aşırı ince yapı sabitleri, literatür taraması yapılarak Humpreys

ve Meggers'in [18] çalışmalarına ait tablolardan yazılarak giriş dosyası oluşturuldu. Ayrıca giriş dosyasına ek bilgi olarak deneyde kullanılan Neon asal gazına ait Ne I, Ne II durumlarının enerji seviyeleri, J değerleri ve pariteleri NIST [71]' ten alınarak yazıldı.

Literatür değerlerinin yazılarak giriş dosyası oluşturulması işleminden sonra Classification [50] programına, gözlemlenen tüm çizgiler kaydedilerek bu çizgilerin önceki bilinen durumlarla karşılaştırılması sağlandı. İncelenmek istenen spektral çizgiye ait dalgaboyu daha önceden bilinmiyorsa 'insert line' tuşu ile girilerek programa kaydedildi.

Programın bize verdiği önerilere bakılarak elimizdeki spektrumda bir spektral geçişe ait alt ve üst enerji seviyelerinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri biliniyorsa, spektral geçişe ait olabilecek aşırı ince yapı örneği simülasyon programı kullanılarak tek tek simüle edildi ve simüle edilen örnek Fourier Transform spektrumunda görülen deneysel örnekle karşılaştırıldı. Eğer iki aşırı ince yapı örneği örtüşüyorsa, bu geçiş programın verdiği öneri ile sınıflandırıldı, programın sunduğu diğer olasılıklar geçersiz sayıldı.

Örneğin, inceleme yapılırken spektrumda bir spektral geçişe ait alt ve üst enerji seviyelerinden sadece birinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti biliniyor ise, simülasyon programı kullanarak, bilinmeyen A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti fit yöntemiyle Fourier Transform spektrumunda gözlenen deneysel spektrum ile örtüşmesini sağlayacak uygun yaklaşık bir değer elde edilerek sınıflandırma yapıldı.

Bu çalışmada Nb elementinin, morötesi bölgede Fourier Transform Spektroskopi (FTS) yöntemi kullanılarak gözlenen spektral çizgileri sınıflandırılarak enerji seviyelerinin aşırı ince yapısı incelendi. Atomik niyobyuma (Nb I) ait 517 spektral çizgi, niyobyum elementinin birinci iyonuna (Nb II) ait 726 spektral çizgi ve Nb veya Ne olabileceği düşünülen 491 spektral çizgi incelendi. Nb elementinin gözlenen 517 Nb I'e ait spektral çizgisi incelendi. Bu çizgilerden 473 spektral çizgi sınıflandırıldı. 517 Nb I spektral çizgisinden 127'si ilk kez bu çalışmada gözlemlendi. Sınıflandırılan 473 Nb I spektral çizgisinden 126'sı ilk kez bu çalışmada sınıflandırıldı. 726 Nb II spektral çizgisinden 260'ı ilk kez bu çalışmada gözlemlendi. Sınıflandırılan 722 Nb II spektral çizgisinden 292'si ilk kez bu çalışmada sınıflandırıldı. Spektral çizgilerin yeni bir çizgi (yç), yeni bir sınıflandırma (ys) veya hem yeni bir çizgi hem yeni bir sınıflandırma (çs) olma durumları ayrıca incelendi.

Ayrıca çizgilerin tanımlanmasında alt ve üst enerji seviyelerinden ikisinin bilinmesinden faydalanılarak sınıflandırma işlemi yapıldı. Bu çizgiler parmak izi gibi karakteristik olduğundan aşırı ince yapı incelenmesindeki Fitter[51] programında fit işlemi için kullanıldı. Bu çalışmada toplam 1894 spektral çizgi incelendi.

Sınıflandırma işlemi sonucunda,

Nb I' e ait toplam 517 spektral çizgi,

Nb I' e ait ilk kez gözlenen 127 spektral çizgi,

Nb I'e ait sınıflandırılan 473 spektral çizgi,

Nb I' e ait ilk kez sınıflandırılan 126 spektral çizgi,

Nb II'ye ait toplam 726 spektral çizgi,

Nb II'ye ait ilk kez gözlenen 260 spektral çizgi,

Nb II'ye ait sınıflandırılan 722 spektral çizgi,

Nb II'ye ait ilk kez sınıflandırılan 292 spektral çizgi,

Nb veya Ne olabilecek 491 yeni spektral çizgi,

Nb elementine ait toplam 1243 spektral çizgi,

Ne I'e ait 52 spektral çizgi,

Ne II'ye ait 108 spektral çizgi,

Ne elementine ait toplam 160 spektral çizgi

incelenmiş oldu.

Devamı Ek 1’de yer alan Nb I’e ait sonuç tablosunun ilk kısmı Tablo 4.1’de, devamı Ek 2’de yer alan Nb II’ye ait sonuç tablosunun ilk kısmı ise Tablo 4.2’de, yer almaktadır. Ek 1 ve Ek 2’de yer alan tabloların tümünde spektral çizgilere ait; çizgi genişliği (ω), spektral çizgilerin aşırı ince yapı bileşenlerinin genişliği ($\Delta\omega$), sinyal/gürültü oranı, Humphreys ve Meggers’den [18] bilinen spektral çizgilerin şiddet değerleri, spektral geçişin alt enerji seviyesi E_{alt} , üst enerji seviyesi $E_{üst}$, alt ve üst enerji seviyelerinin J değerleri J_{alt} ve $J_{üst}$ değerleri verilmiştir. İlk kez bu çalışmada gözlenen spektral çizgiler “yç”, ilk kez bu çalışmada sınıflandırılan çizgiler “ys”, ilk kez bu çalışmada gözlenmiş ve ilk kez bu çalışmada sınıflandırılmış çizgiler “çs” ile gösterilmiştir. Ayrıca bu tablolarda spektral çizgilerin havadaki dalgaboyu (λ_{hava}), vakumdaki dalgasayısı (σ_{vakum}) ve $\Delta\sigma = \sigma_{vakum} - |E_{üst} - E_{alt}|$ bilgileri yer almaktadır.

$\Delta\sigma = \sigma_{vakum} - |E_{üst} - E_{alt}|$ formülü spektral geçişlerin üst ve alt enerji seviyeleri arasındaki fark ile bu çalışmada gözlenen dalgasayısı arasındaki farkı vermektedir. Bu fark dikkate alınarak incelenen spektral çizgiler sınıflandırıldı. Bu çalışmada spektral çizgileri sınıflandırırken $\Delta\sigma$ değeri 0.000 ile 0.242 cm^{-1} aralığında değişmektedir. $\Delta\sigma$ değeri en çok 0.242 cm^{-1} olan çizgiler sınıflandırıldı. Nb veya Ne olabilecek ilk kez bu çalışmada gözlenen sınıflandırılmamış yeni spektral çizgiler devamı Ek 3’te verilen Tablo 4.3’te yer aldı. Ek 4’te Ne I ve Ek 5’te Ne II çizgilerine ait bu çalışmada gözlenen spektral geçişlerin bilgiler yer almaktadır. Ek 3, Ek 4 ve Ek 5’de yer alan tabloların tümünde spektral çizgilere ait; çizgi genişliği (ω), sinyal/gürültü oranı, spektral çizgilerin havadaki dalgaboyu (λ_{hava}), vakumdaki dalgasayısı (σ_{vakum}) değerleri verilmiştir.

Spektral çizgilerin ω çizgi genişliği, Sinyal/Gürültü oranlarına bakılarak iki şekilde elde edildi. S/N oranı 8’in üstünde olan spektral çizgiler için çizgi genişliği; en şiddetli bileşenin en yüksek tepesinden $1/e^2$ ‘sine kadar düştüğü yerdeki tüm aşırı ince yapı deseninin sağ ve sol noktaları arasındaki mesafenin dalga sayısı cinsinden (mK biriminde) değeridir. S/N oranı 8’in altında olan çizgiler için genişlik çizgi profilinin gürültü seviyesinden yükseldiği yerdeki sağ ve sol noktaları arasındaki mesafenin dalga sayısı cinsinden (mK biriminde) değeridir.

Tablo 4.1: Sınıflandırılan Nb I spektral çizgileri. W: Çizgi genişliği, S/N: Spektral geçişin FT’de gözlenen sinyal/gürültü oranı, λ_{hava} : Havadaki ağırlık merkezi dalgaboyu, σ_{vakum} : Vakumdaki dalgasayısı, $\Delta\sigma = \sigma_{\text{vakum}} - |E_{\text{üst}} - E_{\text{alt}}|$, E_{alt} : Alt seviyenin enerjisi, J_{alt} : Alt seviyenin J kuantum sayısı, $E_{\text{üst}}$: Üst seviyenin enerjisi, $J_{\text{üst}}$: Üst seviyenin J kuantum sayısı, yç: Yeni çizgi, ys: yeni sınıflandırma, çs: Hem yeni çizgi hem yeni sınıflandırma. Devamı Ek 1’de verilmiştir.

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	E_{alt} (cm^{-1})	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	J üst
1064	-322	7	3		218.8944	45669.844	0.054	1142.79	1.5	46812.58	2.5
1184		10	5		219.3802	45568.722					
56	-311	12	3		220.4617	45345.203	0.043	1586.90	2.5	46932.06	3.5
471	-311	6	2		221.0442	45225.720	0.040	1586.90	2.5	46812.58	2.5
614	-322	7	2		221.0622	45222.038	0.038	1142.79	1.5	46364.79	1.5
367		40	8		221.4034	45152.355					
1120	-341	30	2		221.5545	45121.564	0.034	2154.11	3.5	47275.64	3.5
426	-322	70	14		222.0184	45027.293	0.043	1142.79	1.5	46170.04	1.5
425	-311	60	13		222.3672	44956.672	0.012	1586.90	2.5	46543.56	2.5
343	-311	50	14		222.5343	44922.917	0.017	1586.90	2.5	46509.80	2.5
585		15	2		222.6927	44890.967					
564	-249	10	3		222.7280	44883.853	0.043	1586.90	2.5	46470.71	3.5
1148	-315	150	12		222.7708	44875.230	0.000	2805.36	4.5	47680.59	4.5
866	-322	100	13		222.8032	44868.705	0.015	1142.79	1.5	46011.48	2.5
1066	-130	30	8		222.9666	44835.827	-0.223	1142.79	1.5	45978.84	0.5
341	-224	80	17		223.2554	44777.833	-0.057	1586.90	2.5	46364.79	1.5
541	-293	9	3		223.3179	44765.303	-0.067	2154.11	3.5	46919.48	2.5
499	-293	80	15		223.8527	44658.365	-0.105	2154.11	3.5	46812.58	2.5
1192	-341	20	2		224.2958	44570.151	0.061	2154.110	3.5	46724.200	4.5
892		90	11		224.6176	44506.303					
1228		8	2		224.6421	44501.450					
1048	-378	80	6		224.7997	44470.254	-0.026	2805.36	4.5	47275.64	3.5
375	-311	100	31		225.0308	44424.589	0.009	1586.90	2.5	46011.48	2.5
670	-244	8	3		225.3800	44355.765	0.075	2154.11	3.5	46509.80	2.5
983	-405	150	11		225.4563	44340.755	0.055	2805.36	4.5	47146.06	4.5
1056	-378	20	2		226.0854	44217.385	-0.035	2805.36	4.5	47022.78	3.5
647		4	4		232.4600	43004.947					
905	-491	3	2		232.6968	42961.188	-0.112	8827.00	3.5	51788.30	4.5
1156		10	2		233.3659	42838.021					
1756		20	3		233.7744	42763.172					
511		8	3		234.0277	42716.891					
1437	-806	8	2		234.4649	42637.245	-0.165	695.25	3.5	43332.66	3.5
1250		10	3		234.8756	42562.696					

Tablo 4.2: Sınıflandırılan Nb II spektral çizgileri. W: Çizgi genişliği, S/N: Spektral geçişin FT’de gözlenen sinyal/gürültü oranı, λ_{hava} : Havadaki ağırlık merkezi dalgaboyu, σ_{vakum} : Vakumdaki dalgasayısı, $\Delta\sigma = \sigma_{\text{vakum}} - |E_{\text{üst}} - E_{\text{alt}}|$, E_{alt} : Alt seviyenin enerjisi, J_{alt} : Alt seviyenin J kuantum sayısı, $E_{\text{üst}}$: Üst seviyenin enerjisi, $J_{\text{üst}}$: Üst seviyenin J kuantum sayısı, yç: Yeni çizgi, ys: yeni sınıflandırma, çs: Hem yeni çizgi hem yeni sınıflandırma. Devamı Ek 2’de verilmiştir.

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	E_{alt} (cm^{-1})	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	J üst
510	-1568	30	3	ys	202.9343	49261.172	-0.060	4146.037	5	53407.269	4
719	-1706	150	13	ys	210.9434	47391.062	0.085	4146.037	5	51537.014	5
985	-1321	50	4		211.3080	47309.301	0.199	3542.561	4	50851.663	4
598	-883	60	8		212.5219	47039.108	-0.062	3029.629	3	50068.799	3
707	-1321	60	8		212.6553	47009.603	-0.073	3542.561	4	50552.237	4
506	180	60	8		213.1182	46907.508	0.024	2629.132	2	49536.616	2
1053		30	4		213.4710	46829.994					
744	0	40	3	ys	213.7550	46767.782	-0.037	16052.672	5	62820.491	4
538	0	40	7	ys	215.5620	46375.783	0.029	17292.479	5	63668.233	4
364	0	100	9	ys	216.0274	46275.884	-0.040	17424.889	6	63700.813	5
380	-593		8	çs	217.5557	45950.838	-0.038	9509.604	4	55460.480	3
591	-1706	50	50	ys	217.6760	45925.445	0.063	4146.037	5	50071.419	6
480	0	5	2	ys	218.8135	45686.727	0.058	25353.523	3	71040.308	3
1301		60	6		219.9973	45440.914					
721	-1321	100	20	ys	220.3640	45365.305	-0.058	3542.561	4	48907.924	5
552	-883	50	4		221.0534	45223.838	0.049	3029.629	3	48253.418	4
532	82	20	2		221.0917	45216.005	0.019	158.984	1	45374.970	1
404	87	30	2		222.4667	44936.566	-0.043	438.361	2	45374.970	1
422	-171	150	10		222.9716	44834.821	0.030	10186.390	6	55021.181	5
779	-883	100	11	ys	223.7503	44678.802	-0.023	3029.629	3	47708.454	4
677	-526	50	6		224.0650	44616.056	-0.016	9812.452	5	54428.524	4

Tablo 4.3: İlk kez gözlenen Nb veya Ne olabilecek sınıflandırılmamış çizgiler. W: Çizgi genişliği, S/N: Spektral geçişin FT’de gözlenen sinyal/gürültü oranı, λ_{hava} : Havadaki ağırlık merkezi dalgaboyu, σ_{vakum} : Vakumdaki dalgasayısı. Devamı Ek 3’te verilmiştir.

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
1074	2	213.5980	46802.153
393	7	213.8574	46745.391
1085	3	216.7240	46127.159
590	3	217.8231	45894.434
855	3	218.9633	45655.475
516	18	219.9756	45445.396
655	4	221.0062	45233.496
368	17	221.1460	45204.904
855	3	221.5660	45119.222
540	3	223.6749	44693.861
703	3	226.3081	44173.877
371	13	226.3465	44166.383
350	25	226.9096	44056.790
931	3	226.9865	44041.865
676	3	227.4765	43947.005
456	19	229.3847	43581.453
585	3	230.2516	43417.382
859	3	231.4381	43194.817
633	6	231.7232	43141.677
613	3	232.0035	43089.559
668	4	232.1565	43061.163

4.2. Nb Atomunun Aşırı İnce Yapısının İncelenmesi

Nb elementi $I=9/2$ olan çekirdek spinine sahiptir. Dolayısıyla Nb elementinin atomik spektrumunda çok sayıda aşırı ince yapı bileşeni görülmektedir. Bu çalışmada Nb atomunun mor-üstü bölgedeki aşırı ince yapısının incelenmesi amacıyla Fitter [51] programı kullanıldı.

Aşırı ince yapı analizi yapılacak tüm geçişler için literatürden yüksek çözünürlüklü laser spektroskopik metodlarla yapılan çalışmalardan elde edilmiş, A ve B aşırı ince yapı sabitleri iyi bilinen alt seviyelerin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri sabit tutularak, üst seviyelerin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri belirlendi.

Fitter programının çalışabilmesi için gerekli klasörler “mes, lin, ein, arb” klasörlerdir. Bu klasörler her bir spektral çizgi için ayrı ayrı oluşturuldu. Mes dosyası, fit edilecek her bir spektral çizginin ölçüm datasını verir. Spektrumun x eksenindeki frekansa karşılık y eksenindeki sinyal gürültü oranını verir ve her bir spektral çizgi için en az 5 tane mes datası olacak şekilde mes klasörü oluşturuldu.

Lin klasörü içinde “lin, par” dosyaları bulunmaktadır. Lin dosyası, FT spektrumundaki x eksenindeki dalga sayısının frekansa çevrildiği datadır. Her bir çizginin her bir ölçümü için ein giriş dosyaları oluşturuldu. Ein dosyasına her spektral geçişe ait sabit ve değişken parametreler girildi. Ein dosyasındaki her bir çizgi için 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 her bir çizgi için fit işlemi boyunca sabit tutuldu.

Fit işleminde kullanılmak üzere .par uzantılı dosyalar oluşturuldu. .par uzantılı dosyalar spektral geçişi lineerize etmek için kullanılır. Par dosyası, spektrumun başlangıç dalgaboyunu, FTS yönteminde kaydedilen her spektral çizginin dalgaboyunu, spektrumdaki data sayısını ve art arda gelen her iki data arasındaki frekans farkını içerir. Bu işlemlerden sonra .mes, .lin ve .par dosyaları fit işleminde kullanılmak üzere hazırlanmış oldu.

İncelenen seviyelerin aşırı ince yapı sabitlerini belirlemek için, elde edilen aşırı ince yapı örnekleri Fitter [51] programı yardımıyla, Voight profili kullanılarak fit edildi. Spektrumların kesimi ve parametre datalarının oluşturulması işlemleri her bir spektral geçiş için ayrı ayrı 5 kez tekrar edildikten sonra fit işlemi gerçekleştirildi. Fit işlemi sırasında aşırı ince yapı sabitleri belirlenmek istenen enerji seviyelerinin B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti “0” olarak

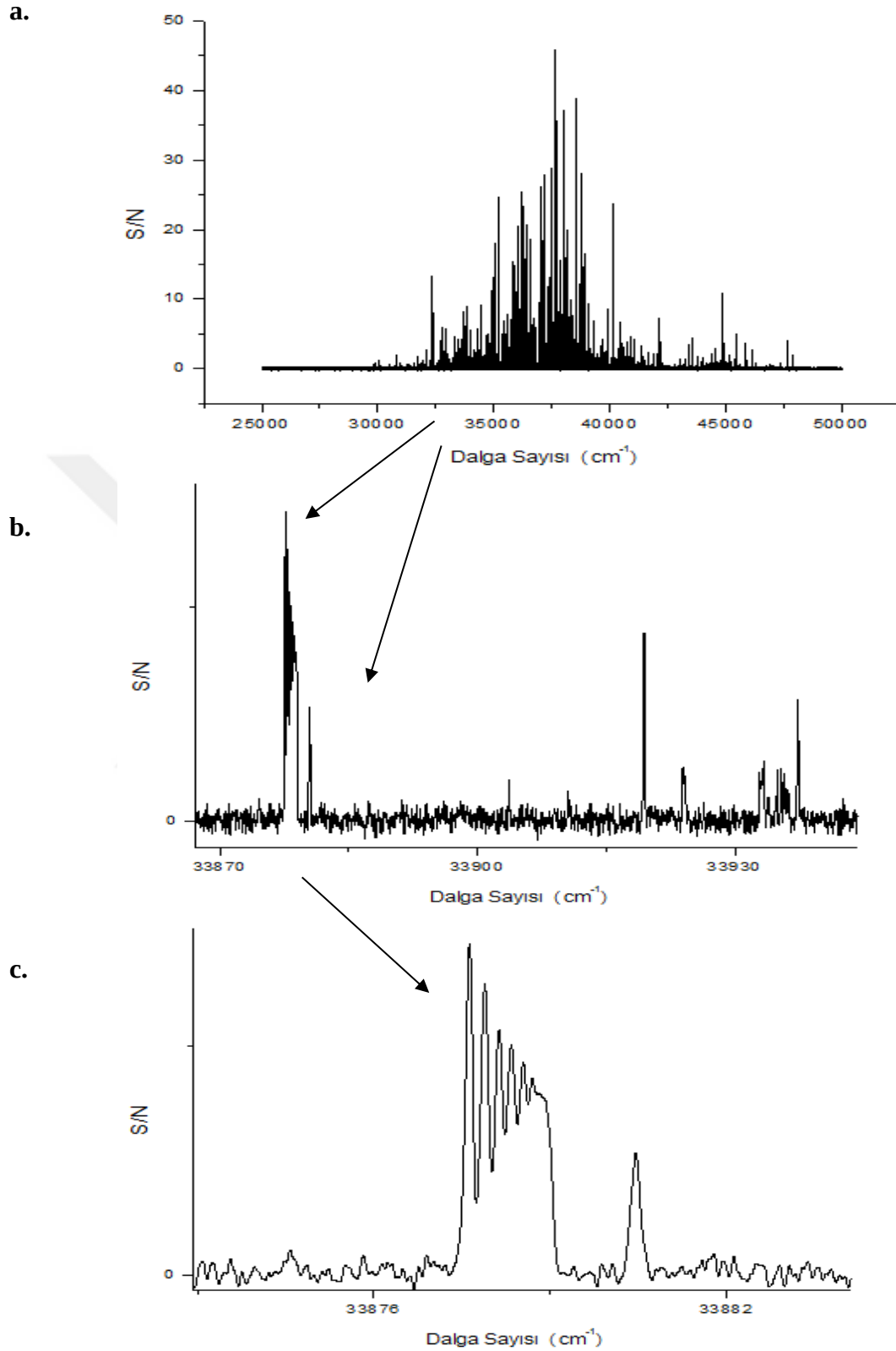
alındı. FTS yöntemi ile yapılan deneyler ölçülen spektrumlarda Doppler genişlemesine neden olduğundan, Nb elementinin küçük bir değere sahip olan elektrik kuadropol momenti sebebi ile meydana gelen elektriksel etkileşmeler sonucundaki yarılmaları gözlemlemek mümkün değildir. Bu nedenle fit işlemi sırasında B değerleri sıfır alındı. Ayrıca aşırı ince yapı bileşenlerinin şiddetleri, en şiddetli bileşenle kuplaj yapıldı.

Programda 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, yarı genişlikteki Gauss ve Lorentz katkıları değişken parametrelerdir.

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 iyi biliniyorsa, bu doğruluğu yüksek değerler fit süresince sabit tutulur. Bu durumda geçişin diğer enerji seviyesinin A ve B aşırı ince yapı sabiti değerleri daha doğru olarak bulunabilir. Üst ya da alt enerji seviyelerinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitlerinin sabit tutulması programın hata olasılığını azaltır.

Bu çalışmada incelenen alt enerji seviyelerinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabiti değerleri literatürden bilinen değerlerinde sabit tutuldu.

Şekil 4.1 a.'da Fourier Transform Spektroskopi yöntemi ile ölçülen $25000\text{ cm}^{-1} - 50000\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki tüm spektrum gösterildi. Şekil 4.1 b.'de ise bu spektrumun $33870\text{ cm}^{-1} - 33930\text{ cm}^{-1}$ aralığından bir kesit ve Şekil 4.1 c.'de bu bölgede $\bar{\nu}=33878.370\text{ cm}^{-1}$ dalgasayısına sahip bir niyobyum çizgisi verildi.



Şekil 4.1: Nb elementinin Fourier Transform Spektrumları. **a.** $25000\text{ cm}^{-1} - 50000\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki tüm spektrumu. **b.** Spektrumun $33870\text{ cm}^{-1} - 33930\text{ cm}^{-1}$ aralığından bir kesit. **c.** Bu aralıkta $\bar{\nu}=33878.370\text{ cm}^{-1}$ dalgasayılı spektral geçiş.

Fit işlemi sonucunda Nb I elementine ait 8 spektral geçiş incelendi. 7 enerji seviyesinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti belirlendi. Bu seviyelerden 6'sının A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti ilk kez bu çalışmada verildi.

Ayrıca Nb II elementine ait 8 spektral geçiş incelendi. 6 enerji seviyesinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti belirlendi. Fit sonuçları incelendiğinde literatürden bilinen üst seviyeye ait A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitlerinin bu çalışmada bulunan üst seviyeye ait A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleriyle uyumlu olduğu görülmektedir.

Nb I'e ait incelenen spektral geçişler, sabit tutulan A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri ve fit sonuçları sırasıyla Tablo 4.4, Tablo 4.5 ve Tablo 4.6'da; Nb II'ye ait incelenen spektral geçişler, sabit tutulan A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri ve fit sonuçları sırasıyla Tablo 4.7, Tablo 4.8 ve Tablo 4.9'da verildi.

Tablo 4.4 ve Tablo 4.7'de spektral geçişin dalgaboyu(λ), dalga sayısı($\bar{\nu}$), alt ve üst enerji seviyeleri, alt ve üst enerji seviyelerinin konfigürasyonları ve spektral terimleri, fit işlemi sonucu elde edilen dalga sayısı ($\bar{\nu}_{fit}$), üst ve alt enerji seviyeleri arasındaki farkın bu çalışmada fit sonucu elde edilen dalgasayısı arasındaki fark ($\Delta\bar{\nu}_{fit}$) değerleri verilmiştir. Tablo 4.5 ve Tablo 4.8 'de fit işlemi süresince literatürden alınan ve sabit tutulan A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri ve B elektrik kuadropol aşırı ince yapı sabitleri referansları ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.6 ve Tablo 4.9'da spektral geçişin dalgaboyu(λ), dalga sayısı($\bar{\nu}$), A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti belirlenmek istenen seviyelerin enerji değerleri, konfigürasyonları ve spektral terimleri ile bu çalışmada fit sonucu elde edilen A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri ile varsa literatürden bilinen A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri referansları ile birlikte verilmiştir. Tablo 4.6'da ve Tablo 4.9'da A_{ort} değeri hesaplanırken her bir çizgiden bulunan A değerlerinin hataları da dikkate alınarak hesaplandı.

Tablo 4.6 ve Tablo 4.9'da verilen fit işlemi sonucunda elde edilen A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri hatalarıyla birlikte verildi. $\Delta\bar{\nu}_{fit} = E_{üst} - E_{alt} - \bar{\nu}_{fit}$ formülü fit işlemi yapılan her bir spektral çizgi için ayrı ayrı hesaplandı ve bu spektral çizgilerin ağırlık merkezlerinin Humphreys ve Meggers'in [18] tablolarından bilinen dalgasayısı değerlerinden 0.021 ile 0.172 cm^{-1} aralığında değiştiği gözlemlendi. Bu farklar Tablo 4.4 ve Tablo 4.7'nin son kolonlarında verildi. Tüm tablolardaki konfigürasyonlar ve terimler NIST[71]'ten alınmıştır.

Tablo 4.4: Nb I elementinin aşırı ince yapısı incelenen spektral geçişleri. λ : Spektral geçişin dalga boyu, $\bar{\nu}$: Spektral geçişin dalgasayısı, E_{alt} : Alt seviyenin enerjisi, $E_{üst}$: Üst seviyenin enerjisi, $\bar{\nu}_{fit}$: Fit işlemi sonucunda elde edilen dalgasayısı, $\Delta\bar{\nu}_{fit}$: Spektral geçişin deneysel dalgasayısı ile fit sonucu elde edilen dalgasayısı arasındaki fark.

λ (nm)	$\bar{\nu}$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	Konfig.	Terim	$E_{üst}$ (cm ⁻¹)	Konfig.	Terim	$\bar{\nu}_{fit}$ (cm ⁻¹)	$\Delta\bar{\nu}_{fit}$ (cm ⁻¹)
222.0184	45027.293	1142.79	4d ³ 5s ²	⁴ F _{3/2}	46170.04	4d ³ 5s6p	⁴ F _{3/2}	45027.374	0.081
222.3672	44956.672	1586.90	4d ³ 5s ²	⁴ F _{5/2}	46543.56	4d ³ 5s6p	⁴ F _{5/2}	44956.710	0.031
222.5343	44922.917	1586.90	4d ³ 5s ²	⁴ F _{5/2}	46509.80	4d ³ 5s6p	⁴ F _{5/2}	44922.964	0.047
222.7706	44875.230	2805.36	4d ³ 5s ²	⁴ F _{9/2}	47680.59	4d ³ 5s6p	⁴ F _{9/2}	44875.401	0.071
222.8032	44868.705	1142.79	4d ³ 5s ²	⁴ F _{3/2}	46011.48	4d ³ 5s6p	⁴ G _{5/2}	44868.641	-0.064
269.8540	37046.090	9497.52	4d ⁴ 5s	⁴ D _{7/2}	46543.56	4d ³ 5s6p	⁴ F _{5/2}	37046.061	-0.021
287.4564	34777.700	1142.79	4d ³ 5s ²	⁴ F _{3/2}	35920.45	4d ⁴ 5p	⁴ D _{1/2}	34777.575	-0.172
288.9898	34593.180	1586.90	4d ³ 5s ²	⁴ F _{5/2}	36180.13	4d ⁴ 5p	⁴ D _{5/2}	34593.178	0.025

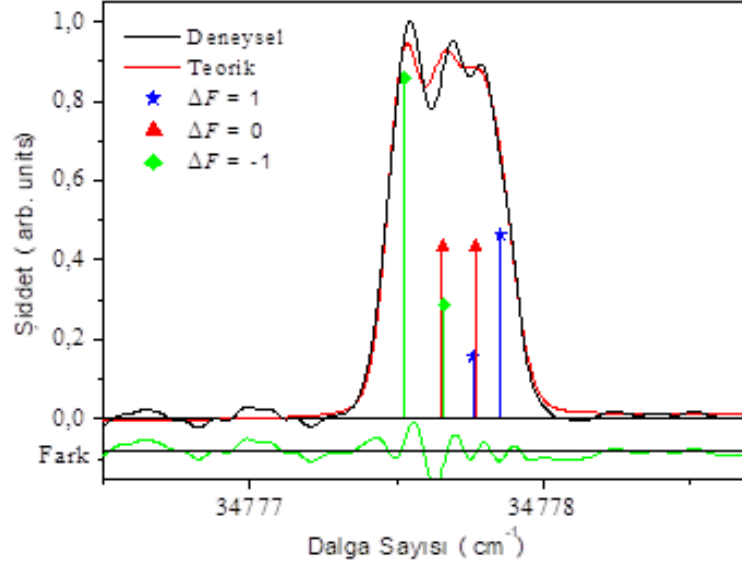
Tablo 4.5: Nb I elementinin Fourier Transform Spektroskopisi ile incelenen spektral geçişlerinin literatürden bilinen ve fit işlemi süresince sabit tutulan çift pariteli alt enerji seviyelerinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri. E_{alt} : Alt seviyenin enerjisi.

E_{alt} (cm ⁻¹)	Konfig.	Terim	A(MHz)	B(MHz)	Ref. No
1142.79	4d ³ 5s ²	⁴ F _{3/2}	644.16(54)	32.800(128)	[22]
1586.90	4d ³ 5s ²	⁴ F _{5/2}	372.4853(17)	33.341(38)	[22]
2805.36	4d ³ 5s ²	⁴ F _{9/2}	269.6320(26)	64.315(130)	[22]
9497.52	4d ⁴ 5s	⁴ D _{7/2}	-477.0373(35)	126.899(81)	[24]

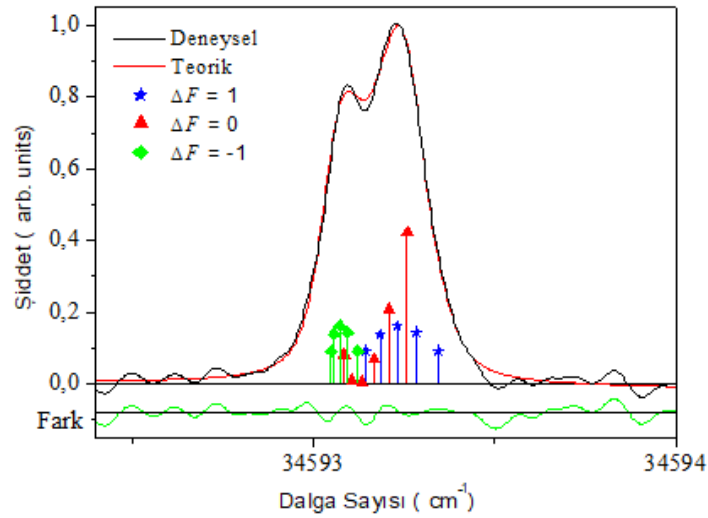
Tablo 4.6: Bu çalışmada incelenen Nb I elementine ait fit sonucu elde edilen A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri.

$E_{üst}$ (cm ⁻¹)	Konfig.	Terim	Bu çalışma A(MHz)	Bu çalışma A_{ort} (MHz)	A(MHz)	Ref. No	λ (nm)	$\bar{\nu}$ (cm ⁻¹)
35920.45	4d ⁴ 5p	⁴ D _{1/2}	-52.7(4)				287.4564	34777.700
36180.13	4d ⁴ 5p	⁴ D _{5/2}	583(4)		584.6(20)	[47]	288.9898	34593.180
46011.48	4d ³ 5s6p	⁴ G _{5/2}	1042(12)				222.8032	44868.705
46170.04	4d ³ 5s6p	⁴ F _{3/2}	163(14)				222.0184	45027.293
46509.80	4d ³ 5s6p	⁴ F _{5/2}	446(3)				222.5343	44922.917
46543.56	4d ³ 5s6p	⁴ F _{5/2}	301(56)				222.3672	44956.672
			238(13)	269(34)			269.8540	37046.090
47680.59	4d ³ 5s6p	⁴ F _{9/2}	851(10)				222.7706	44875.230

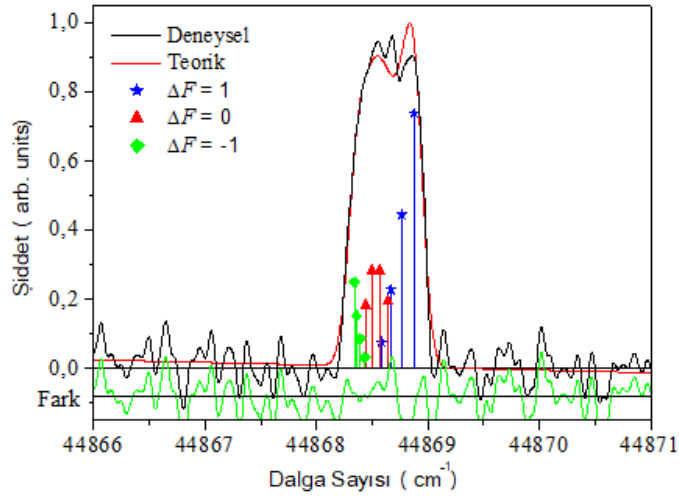
Nb I elementinin Fourier Transform Spektroskopi yöntemiyle ölçülmüş ve Tablo 4.6’da verilen spektral geçişlerinin Fitter[51] programı ile fit edilmiş spektrumları Şekil 4.2 ile Şekil 4.9 arasında verilmiştir. Şekillerdeki siyah spektrum deneysel, kırmızı spektrum teorik, yeşil spektrum da ikisi arasındaki farkı vermektedir. $\Delta F=0, \pm 1$ geçiş kuralına göre şekillerde $\Delta F=0$ geçişleri kırmızı, $\Delta F=+1$ geçişleri mavi, $\Delta F=-1$ geçişleri yeşil renkte çizgilerle gösterildi.



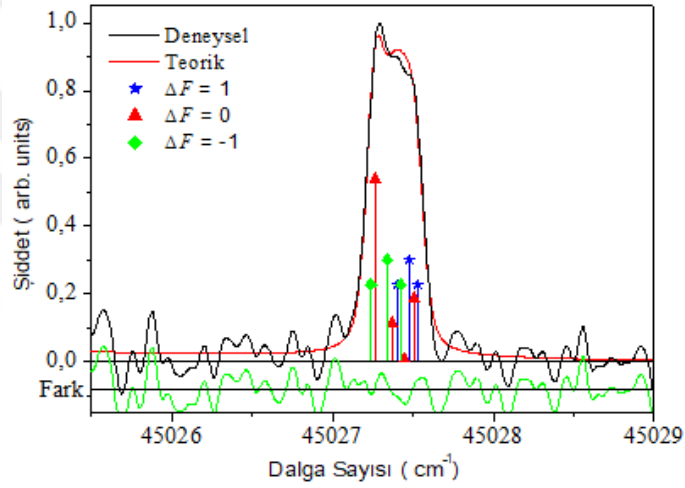
Şekil 4.2: Nb I’e ait $\lambda=287.4564$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.



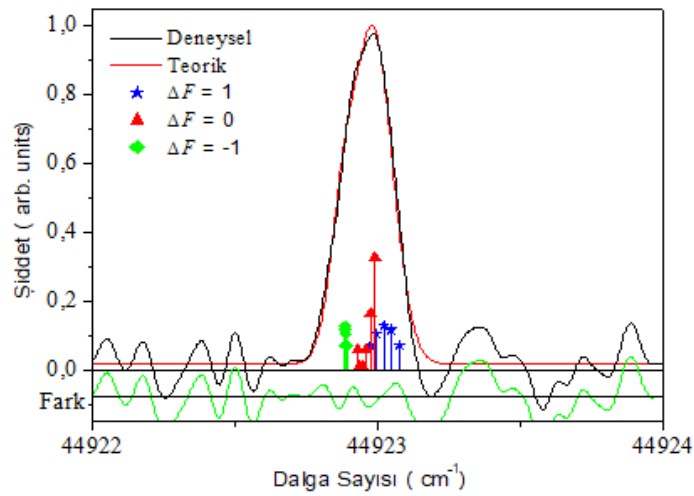
Şekil 4.3: Nb I’e ait $\lambda=288.9898$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.



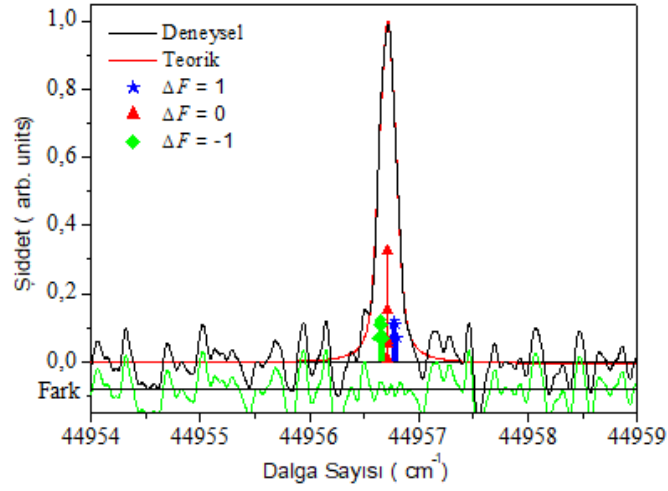
Şekil 4.4: : Nb I'e ait $\lambda = 222.8032$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.



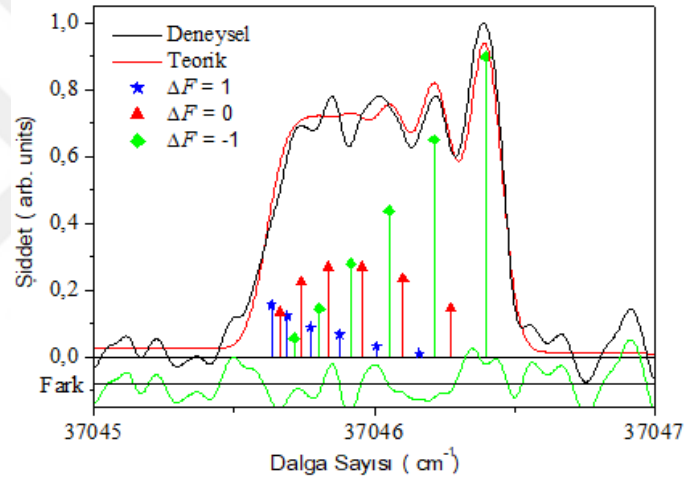
Şekil 4.5: Nb I'e ait $\lambda = 222.0184$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.



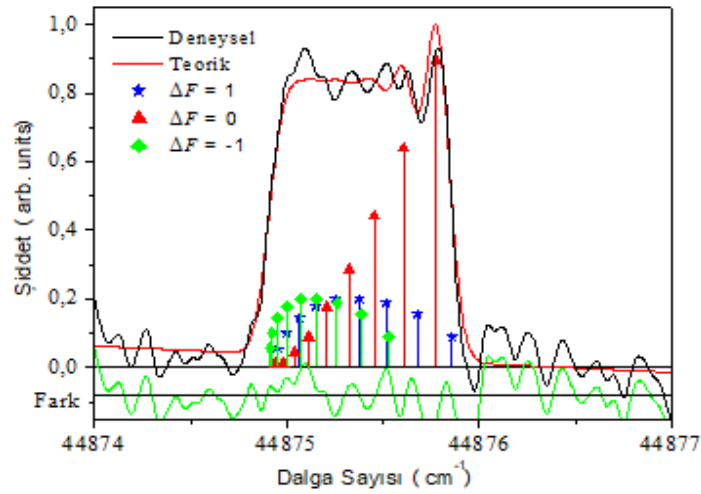
Şekil 4.6: Nb I'e ait $\lambda = 222.5343$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.



Şekil 4.7: Nb I'e ait $\lambda = 222.3672$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.



Şekil 4.8: Nb I'e ait $\lambda = 269.8540$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.



Şekil 4.9: Nb I'e ait $\lambda = 222.7706$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.

Tablo 4.7: Nb II elementinin Fourier Transform Spektroskopisi ile incelenen spektral geçişleri. λ : Spektral geçişin dalgaboyu, $\bar{\nu}$: Spektral geçişin dalgasayısı, E_{alt} : Alt seviyenin enerjisi, $E_{üst}$: Üst seviyenin enerjisi, $\bar{\nu}_{fit}$: Fit işlemi sonucunda elde edilen dalgasayısı, $\Delta\bar{\nu}_{fit}$: Spektral geçişin deneysel dalgasayısı ile fit sonucu elde edilen dalgasayısı arasındaki fark.

λ (nm)	$\bar{\nu}$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	Konfig.	Terim	$E_{üst}$ (cm ⁻¹)	Konfig.	Terim	$\bar{\nu}_{fit}$ (cm ⁻¹)	$\Delta\bar{\nu}_{fit}$ (cm ⁻¹)
289.7803	34498.820	3029.629	4d ³ 5s	⁵ F ₃	37528.382	4d ³ 5p	⁵ F ₄	34498.734	-0.056
289.9230	34481.830	3542.561	4d ³ 5s	⁵ F ₄	38024.336	4d ³ 5p	⁵ F ₅	34481.453	-0.057
292.7804	34145.330	4146.037	4d ³ 5s	⁵ F ₅	38291.252	4d ³ 5p	⁵ D ₄	34145.167	0.167
294.1536	33985.940	3542.561	4d ³ 5s	⁵ F ₄	37528.382	4d ³ 5p	⁵ F ₄	33985.810	-0.095
295.0876	33878.370	4146.037	4d ³ 5s	⁵ F ₅	38024.336	4d ³ 5p	⁵ F ₅	33878.262	-0.077
302.8436	33010.760	3542.561	4d ³ 5s	⁵ F ₄	36553.238	4d ³ 5p	³ D ₃	33010.675	-0.057
309.4172	32309.470	4146.037	4d ³ 5s	⁵ F ₅	36455.457	4d ³ 5p	⁵ G ₆	32309.391	-0.063
313.0780	31931.700	3542.561	4d ³ 5s	⁵ F ₄	35474.197	4d ³ 5p	⁵ G ₅	31931.623	-0.043

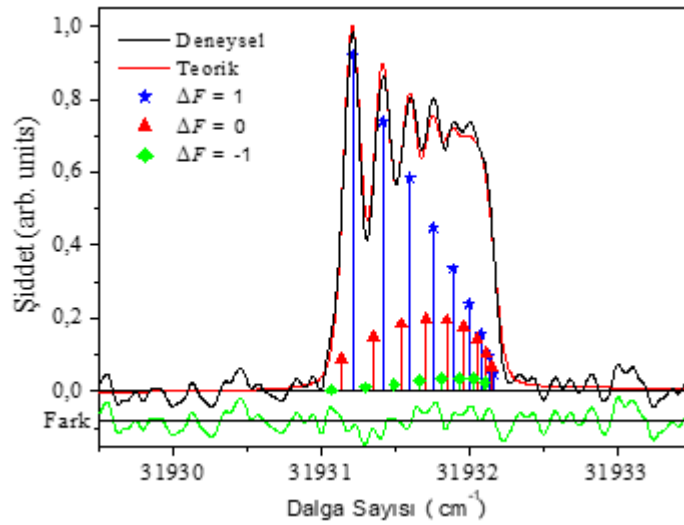
Tablo 4.8: Nb II elementinin Fourier Transform Spektroskopisi ile incelenen spektral geçişlerinin literatürden bilinen ve fit işlemi süresince sabit tutulan çift pariteli enerji seviyelerinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri. E_{alt} : Alt seviyenin enerjisi.

E_{alt} (cm ⁻¹)	Konfig.	Terim	A(MHz)	B(MHz)	Ref. No
3029.629	4d ³ 5s	⁵ F ₃	882.3	0	[36]
3542.561	4d ³ 5s	⁵ F ₄	990.6	0	[36]
4146.037	4d ³ 5s	⁵ F ₅	1033.5	0	[36]

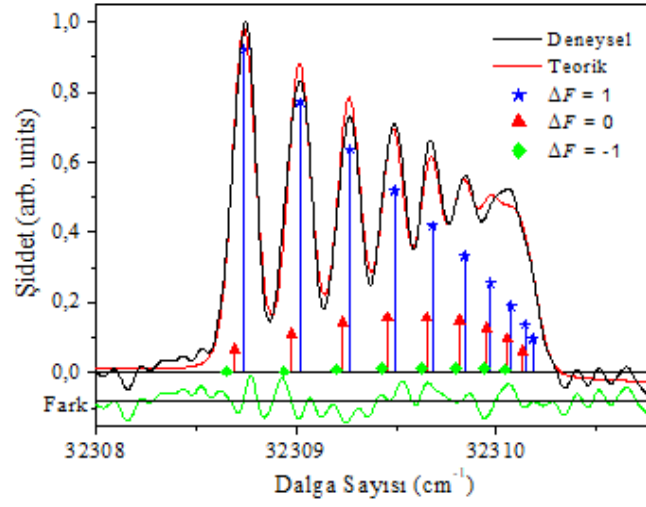
Tablo 4.9: Bu çalışmada incelenen Nb II elementine ait fit sonucu elde edilen A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri. λ : Spektral geçişin dalgaboyu, $\bar{\nu}$: Spektral geçişin dalgasayısı, $E_{\text{üst}}$: Üst seviyenin enerjisi.

$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	Konfig.	Terim	Bu çalışma $A(\text{MHz})$	Bu çalışma $A_{\text{ort}}(\text{MHz})$	$A(\text{MHz})$	Ref. No	λ (nm)	$\bar{\nu}$ (cm^{-1})
35474.197	$4d^35p$	5G_5	227(3)		227(4)	[36]	313.0780	31931.700
36455.457	$4d^35p$	5G_6	114(3)		114(4)	[36]	309.4172	32309.470
36553.238	$4d^35p$	3D_3	-3(15)		-2(4)	[36]	302.8436	33010.760
37528.382	$4d^35p$	5F_4	144(3)		140(4)	[36]	289.7803	34498.820
			147(6)	146(5)	140(4)	[36]	294.1536	33985.940
38024.336	$4d^35p$	5F_5	199(8)		192(4)	[36]	289.9230	34481.830
38024.336	$4d^35p$	5F_5	189(7)		192(4)	[36]	295.0876	33878.370
38291.252	$4d^35p$	5D_4	-14(1)		-15(4)	[36]	292.7804	34145.330

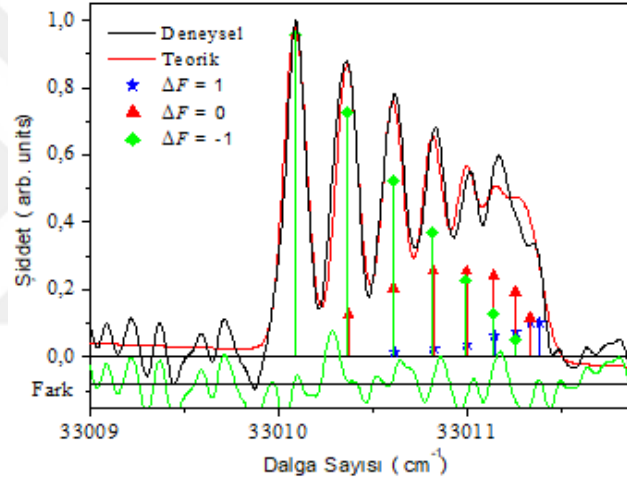
Nb II elementinin Fourier Transform Spektroskopi yöntemiyle ölçülmüş ve Tablo 4.9’da verilen spektral geçişlerinin Fitter[51] programı ile fit edilmiş spektrumları Şekil 4.10 ile Şekil 4.17 arasında verilmiştir. Şekillerdeki siyah spektrum deneysel, kırmızı spektrum teorik, yeşil spektrum da ikisi arasındaki farkı vermektedir. $\Delta F=0, \pm 1$ geçiş kuralına göre şekillerde $\Delta F=0$ geçişleri kırmızı, $\Delta F=+1$ geçişleri mavi, $\Delta F=-1$ geçişleri yeşil renkte çizgilerle gösterildi.



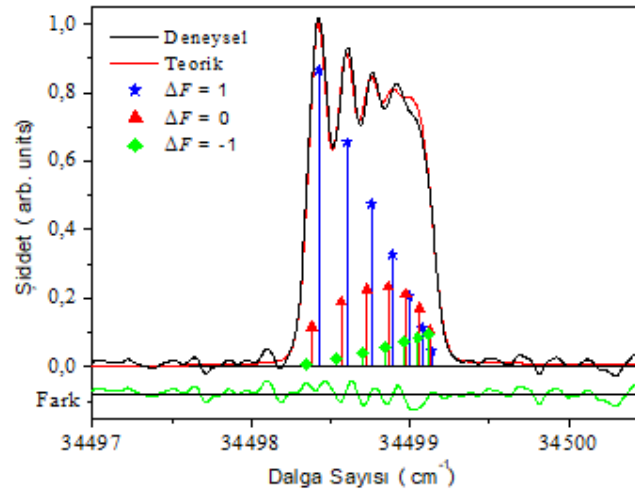
Şekil 4.10: Nb II’ye ait $\lambda=313.0780$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.



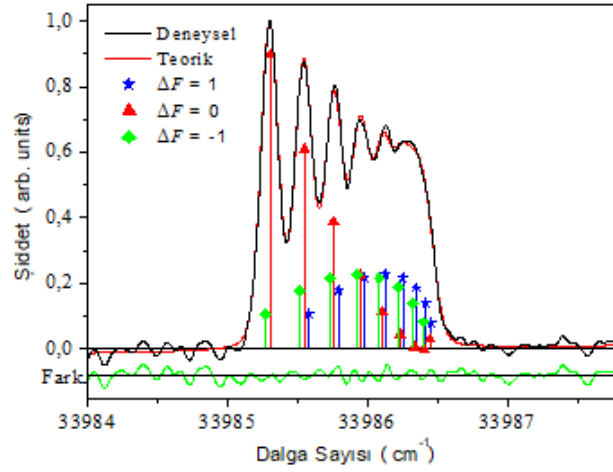
Şekil 4.11: Nb II'ye ait $\lambda=309.4172$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.



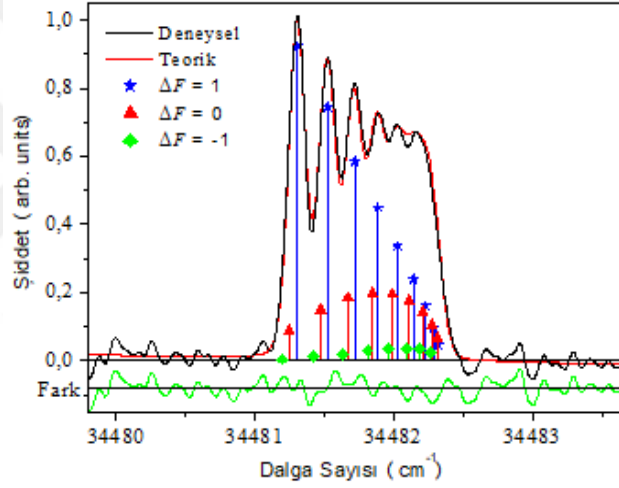
Şekil 4.12: Nb II'ye ait $\lambda=302.8436$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.



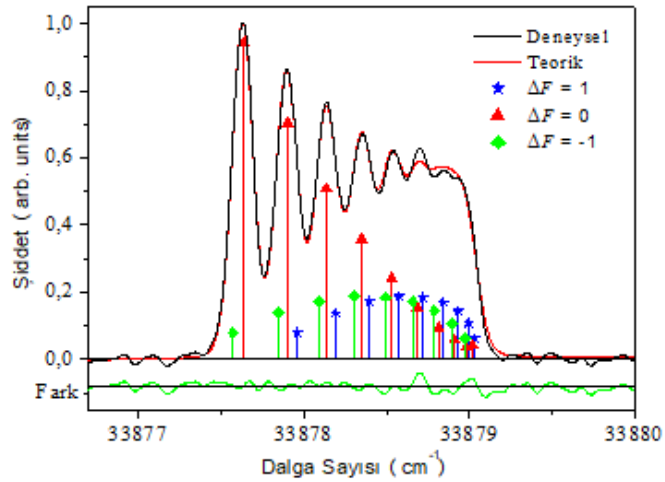
Şekil 4.13: Nb II'ye ait $\lambda=289.7803$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.



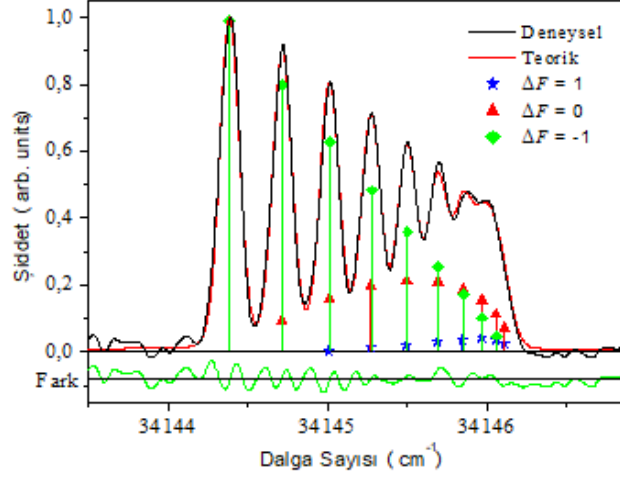
Şekil 4.14: Nb II'ye ait $\lambda=294.1536$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.



Şekil 4.15: Nb II'ye ait $\lambda=289.9230$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.



Şekil 4.16: Nb II'ye ait $\lambda=295.0876$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.



Şekil 4.17: Nb II'ye ait $\lambda=292.7804$ nm dalgaboylu spektral geçişin fit edilmiş spektrumu.

Niyobyum elementinin aşırı ince yapısı hakkında daha önce yapılmış olan tüm çalışmalar incelendi ve bu çalışmalarda kullanılan yöntemler ile elde edilen bulgular bu çalışmanın Genel Kısımlar bölümünde anlatıldı. Son olarak niyobyum elementine ait elde edilen bulgular Genel kısımlar bölümünde yer alan literatür değerleriyle karşılaştırıldı ve buradan çıkan sonuçlar bu çalışmanın Tartışma ve Sonuç kısmında açıklandı. |

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada niyobyum (Nb) elementinin, mor ötesi bölgede 202.9343 nm – 358.0282 nm ($49261.172 \text{ cm}^{-1}$ - $27922.789 \text{ cm}^{-1}$) dalgaboyu aralığında Fourier Transform Spektroskopi (FTS) yöntemi kullanılarak gözlenen 1894 çizgisinin aşırı ince yapı analizi gerçekleştirildi. Gözlenen 1894 spektral çizgiden 1243'ünün niyobyum elementine 160'ının neon elementine ait olduğu görüldü. Neon elementine ait spektral geçişler bu tezin konusu olmadığından sadece niyobyum elementine ait geçişlerin sınıflandırılması ve aşırı ince yapı sabitleri bilinmeyen enerji seviyelerinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitlerinin belirlenmesi amaçlandı.

Atomik niyobyuma (Nb I) ait 517 spektral çizgi, niyobyum elementinin birinci iyonuna (Nb II) ait 726 spektral çizgi ve Nb veya Ne olabileceği düşünülen 491 spektral çizgi belirlendi.

Nb I'e ait 517 spektral çizgiden 127'si ilk kez bu çalışmada gözlemlendi. Bu çizgilerden 473 spektral çizgi sınıflandırıldı. Sınıflandırılan çizgilerden 126'sı ilk kez bu çalışmada sınıflandırıldı.

Nb II'ye ait 726 spektral çizgiden 260'ı ilk kez bu çalışmada gözlemlendi. Bu çizgilerden 722 spektral çizgi sınıflandırıldı. Sınıflandırılan çizgilerin 292'si ilk kez bu çalışmada sınıflandırıldı.

Gözlenen neon elementine ait spektral çizgilerden 52'sinin Nb I'e 108'inin Nb II'ye ait olduğu belirlendi.

Sınıflandırma işleminde kullanılan $\Delta\sigma = \sigma_{vakum} - |E_{üst} - E_{alt}|$ formülü spektral geçişlerin üst ve alt enerji seviyeleri arasındaki farkın bu çalışmada gözlenen dalgasayısından ne kadar değiştiğini göstermektedir. İncelenen spektral çizgiler bu değişim dikkate alınarak sınıflandırıldı. Bu çalışmada spektral çizgileri sınıflandırılırken $\Delta\sigma$ değerinin 0.000 ile 0.242 cm^{-1} aralığında değiştiği görüldü. $\Delta\sigma$ değeri en çok 0.242 cm^{-1} olan çizgiler sınıflandırıldı.

Bu çalışmada niyobyum elementinin aşırı ince yapı analizi yapılarak fit işlemi ile A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri belirlendi.

Fit işlemi sonucunda Nb I elementine ait 8 spektral geçiş incelendi. 7 enerji seviyesinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti belirlendi. Nb II elementine ait 8 spektral geçiş incelendi. 6 enerji seviyesinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti belirlendi.

Nb I elementine ait 6 enerji seviyesinin A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti ilk kez bu çalışmada bulundu. Nb II elementine ait 6 enerji seviyesine ait A manyetik dipol aşırı ince yapı sabiti belirlendi. Bunların tamamı referanslardan diğer spektral bölgeler incelenerek bulunmuştur.

Fit sonuçları incelendiğinde literatürden aşırı ince yapı sabitleri bilinen enerji seviyelerinin bu çalışmada bulunan A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleriyle uyum içinde olduğu görülmektedir.

Aşırı ince yapı analizinde $\Delta\bar{\nu}_{fit} = E_{üst} - E_{alt} - \bar{\nu}_{fit}$ formülü fit işlemi yapılan her bir spektral çizgi için ayrı ayrı hesaplandı ve bu spektral çizgilerin ağırlık merkezlerinin Humphreys ve Meggers'in [18] tablolarından bilinen dalgasayısı değerlerinden 0.021 ile 0.172 cm^{-1} aralığında değiştiği gözlemlendi.

İncelenen spektrumda gözlenen herhangi bir spektral geçişe ait alt ve üst enerji seviyelerinin her ikisinin de A manyetik dipol aşırı ince yapı sabitleri bilinmiyorsa, Classification [50] programında kesin bir sınıflandırma yapılamaz. Ayrıca sınıflandırılmayan bu geçişlerin alt ve üst enerji seviyeleri deneysel olarak henüz belirlenmemiş seviyeler olabilir. Bu durumdaki spektral çizgilerin kesin olarak tanımlanabilmesi için laser spektroskopik yöntemlerle incelenerek niyobyum elementine ait yeni enerji seviyelerinin ve aşırı ince yapı sabitlerinin deneysel olarak belirlenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1]. Haken, H., Wolf, H.C., 2000, *Atom ve kuantum fiziği*, Değişim Yayınları, Sakarya, ISBN 975-8289-26-8.
- [2]. Aygün, E., Zengin, D.M., 1998, *Atom ve molekül fiziği*, Bilim Yayınları, Ankara, ISBN 975-95625-0-2.
- [3]. Taylor, J.R., Zafaritos, C.D., 1996, *Fizik ve mühendislikte modern fizik*, Arte Güven Yayınları, ISBN 6055884062.
- [4]. Encyclopaedia Britannica, 2019, *Niobium*,
<http://www.britannica.com/science/niobium/>, [Ziyaret tarihi 13 Temmuz 2018].
- [5]. Eskiler, U., 2017, *Niyobyum nedir?*,
<https://www.makaleler.com/niyobyum-nedir-ozellikleri-kullanimi> ,
[Ziyaret tarihi 13 Temmuz 2018].
- [6]. Fuller, G.H., 1976, Nuclear spins and moments, *J. of Phys. and Chem. Ref. Data*, 5 (4), 850.
- [7]. Raghavan, P., 1989, Table of nuclear moments, *At. and Nuc. Dat. Tab.*, 42 (2), 189-291.
- [8]. Jack R., 1912, Magnetic resolution of the spectrum lines of niobium, *Proc. of the Roy. Irish Acad. A* 30, 42-60.
- [9]. Meggers, W.F., 1924, Regularities in the arc spectrum of columbium, *J. Wash. Acad. Sci.* 14 (19), 442.
- [10]. Meggers, W.F., Kiess, C.C., 1926, Spectral structures for elements of the second long period 1, *J. Opt. Soc. Am.*, 12 (5), 432.
- [11]. King, A.S., 1931, Temperature classification of the stronger lines of columbium with preliminary notes on their hyperfine structure, *Astrophys. J.* 73, 441.
- [12]. Ballard, S.S., 1934, The nuclear moments of columbium from hyperfine structure, *Phys. Rev.* 46, 806.
- [13]. Meggers, W.F., Scribner, B.F., 1935, Multiplets and terms in the first two spectra of

columbium, *NBS J. Research* 14, 629.

- [14]. Meggers, W.F., King, A.S., 1936, Arc and spark spectra of columbium, *NBS J. Research* 16, 385.
- [15]. Meggers, W.F., Russell, H.N., 1936, Term analysis of the first spectrum of vanadium (V I), *NBS J. Research* 17, 125.
- [16]. Meggers, W.F., Moore, C.E., 1940, Description and analysis of the second spectrum of vanadium (V II), *NBS J. Research*, 25, 84.
- [17]. Harrison, G.R., Bitter, F., 1940, Zeeman effects in complex spectra at fields up to 100 000 Gauss, *Phys. Rev.*, 57, 15.
- [18]. Humphreys, C.J., Meggers, W.F., 1945, Term analyses of the first two spectra of columbium, *J. Res. Natl Bur. Stand.*, 34.
- [19]. Meeks, W.W., Fisher, R.A., 1947, Hyperfine structure and nuclear moments of columbium 93, *Phys. Rev.*, 72, 451.
- [20]. Murakawa, K., 1958, Quadrupole moment of Nb⁹³ and test of the hyperfine structure formulas, *J. Phys. Soc. Jpn.*, 13, 101-108.
- [21]. Moore, C.E., 1971, *Atomic energy levels as derived from the analyses of optical spectra*, 2, NSRDS-NBS 35.
- [22]. Büttgenbach, S., Dicke R., Gebauer, H., Herschel, M., Meisel, G., 1975, Hyperfine structure of nine levels in two configurations of ⁹³Nb, *I. Exper., Z. Phys. A At. and Nuc.*, 275 (3), 193-196.
- [23]. Büttgenbach, S., Dicke R. Gebauer, H., Herschel, M., Meisel, G., 1975, Hyperfine structure of nine levels in two configurations of ⁹³Nb, *II. The. An., Z. Phys. A At. and Nuc.*, 275 (3), 197-202.
- [24]. Fraenkel, L., Bengtsson, C., Hanstorp, D., Nyberg, A., Persson, J., 1988, Hyperfine structure measurements of ⁹³Nb, *Z Phys. D. At. Mol. Clust.*, 8 (2), 171-176.
- [25]. Singh, R., Rao, G.N., 1989, Hyperfine structure studies of niobium using laser

- optogalvanic spectroscopy, *Phys. Scr.*, 40 (2), 170.
- [26]. Lauranto, H.M., Auterinen, I.H., Kajava, T.T., Nyholm, K.M., Salomaa, R.R.E, 1990, Determination of hyperfine structures and Rydberg convergence limits of selected optical transitions in ^{93}Nb using resonance ionization spectroscopy, *Appl. Phys.*, 50 (4), 323-329.
- [27]. Singh, R., Thareja, R.K., Rao, G.N., 1992, Hyperfine-structure studies of ^{93}Nb by laser optogalvanic spectroscopy, *J. Opt. Soc. Am. B*, 9 (4), 493-497.
- [28]. Young, L., Hasegawa, S., Kurtz, C., Debasis Datta, Beck., D.R., 1995, Hyperfine-structure studies of Nb II: Experimental and relativistic configuration-interaction results, *Phys. Rev. A*, 51, 3534.
- [29]. Lauranto, H.M., Kajava, T.T., Salomaa, R.R.E, 1996, Hyperfine structure studies of ^{93}Nb by three-step resonance ionization spectroscopy, *Spect. Acta Part B: At. Spect.*, 51 (1), 175-180.
- [30]. Bouzed, A., Kröger, S., Zimmermann, D., Kronfeldt, H.D., Guthöhrlein, G.H., 2003, Hyperfine structure in the atomic spectrum of niobium-I: experimental investigation, *Eur. Phys. J. D At. Mol. Opt. Plasma Phys.*, 23 (1), 57-62.
- [31]. Kröger, S., Bouzed, A., 2003, Hyperfine structure in the atomic spectrum of niobium II: theoretical analysis of the even configurations, *Eur. Phys. J. D At. Mol. Opt. Plasma Phys.*, 23 (1), 63-72.
- [32]. Kröger, S., Scharf, O., Guthöhrlein, G.H., 2004, New and revised energy levels of atomic niobium, *Europhys. Lett.*, 66, 344-349.
- [33]. Kröger S., 2007, Further experimental investigation of the hyperfine structure in the spectrum of atomic niobium, *Eur. Phys. J. D At. Mol. Opt. Plasma Phys.*, 41 (1), 55-59.
- [34]. Kröger S., Öztürk, I.K., Acar, F.G., Başar, G.C., Başar, G., Wyart, J.F., 2007, Fine and hyperfine structure in the atomic spectrum of niobium: Theoretical analysis of the odd configurations and further new levels, *Eur. Phys. J. D At. Mol. Opt. Plasma*

Phys., 41, 61-70.

- [35]. Başar, G., Başar, G., Bayram, S.B., Kröger S., 2008, High-resolution laser spectroscopy of the hyperfine structure of high-lying levels of Nb I, *Phys. Scr.*, 78, 015303.
- [36]. Nilsson, H., Ivarsson, S., 2008, Experimental oscillator strengths and hyperfine constants in Nb II, *A&A*, 492, 609-616.
- [37]. Kröger, S., Er, A., Öztürk, I.K., Başar, G., Jarmola, A., Ferber, R., Tamanis, M., Zacs, L., 2010, Hyperfine structure measurements of neutral niobium with Fourier transform spectroscopy, *A&A*, 516, A70.
- [38]. Er, A., 2010, *Nb I Elementinin aşırı ince yapısının incelenmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [39]. Er, A., Öztürk, I.K., Başar, G., Kröger, S., Jarmola, A., Ferber, R., Tamanis, M., Hyperfine structure study of atomic niobium with enhanced sensitivity of Fourier transform spectroscopy, *J Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, 44, 20.
- [40]. Başar, G., Başar, G., Öztürk, I.K., Er, A., Güzelçimen, F., Kröger, S., 2013, Hyperfine structure investigations of atomic niobium with optogalvanic and laser-induced fluorescence spectroscopy, *A&A*, 556, A103.
- [41]. Bouazza, S., 2013, The second spectrum of niobium: I. accurate fine structure study of even-parity levels, *Phys. Scr.*, 87, 3.
- [42]. Bouazza, S., 2013, The second spectrum of niobium: II. accurate fine structure study of odd-parity levels, *Phys. Scr.*, 87, 3.
- [43]. Kebapçı, T.Y., 2014, *Nötral niobyum atomunun çift ve tek konfigürasyonlarının ince yapısının hesaplanması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [44]. Öztürk, I.K., Başar G., Er, A., Güzelçimen, F., Başar, G., Kröger, S., 2014, New energy levels of atomic niobium by laser induced fluorescence spectroscopy in the near

- infrared, *J Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, 48, 015005.
- [45]. Dembczynski, J., Elantkowska, M., Ruczkowski, J., Öztürk, I.K., Er, A., Güzelçimen, F., Başar, Gö., Kröger S., 2014, Parametric study of the fine and hyperfine structure for the even parity configurations of atomic niobium, *J Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, 48, 015006.
- [46]. Er, A., Güzelçimen, F., Başar, Gö., Öztürk, I.K., Tamanis, M., Ferber, R., Kröger, S., 2015, High-resolution Fourier transform spectroscopy of Nb I in the near-infrared, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 221, 14.
- [47]. Kröger, S., Windholz, L., Başar, Gü., Başar, Gö., 2018, New energy levels of atomic niobium (Nb I) discovered by laser-spectroscopic investigations, *J. of Quant. Spect. and Rad. Trans.*, 212, 24-31.
- [48]. Windholz, L., Kröger, S., 2018, Investigation of the hyperfine structure of atomic niobium (Nb I) spectral lines based on the lower energy levels at 22936, 23010 and 23048 cm^{-1} , *Spect. An. Rev.*, 6, 43-52.
- [49]. Ruczkowski, J., Elantkowska, M., Dembczynski, J., Sikorski, A., 2018, Reanalysis of the even configurations system of atomic niobium, *J. of Quant. Spect. and Rad. Trans.*, 217, 13-21.
- [50]. Windholz, L., Guthöhrlein, G.H., 2003, Classification of spectral lines by means of their hyperfine structure application to Ta I and Ta II levels, *Phys. Scr.*, T105, 55–60.
- [51]. Guthöhrlein, G.H., 1998, *Program package "Fitter"*. Helmut-Schmidt-Universität, Universität der Bundeswehr, Hamburg, Germany, unpublished.
- [52]. İnovatif Kimya Dergisi, 2018, *Charles Hatchett*, <https://inovatifkimyadergisi.com/charles-hatchett>, [Ziyaret Tarihi 10 Ocak 2019].
- [53]. Cheff, 2015, *Niyobyum (Nb)*, <http://www.kimyakulubu.com/ansiklopedi/niobyum-nb/>, [Ziyaret Tarihi 20 Temmuz 2018].
- [54]. Dayah, M., 1997, *Ptable: Etkileşimli periyodik tablo*,

<https://www.ptable.com/?lang=tr> , [Ziyaret Tarihi 21 Ekim 2018].

[55]. Bilim ve Teknik Dergisi, <http://bilimteknik.tubitak.gov.tr/>,

[Ziyaret Tarihi 10 Ağustos 2018].

[56]. Bağ, H., 2017, *Genel kimya-I*, Pegem Akademi, Ankara, ISBN 978-605-241-069-1.

[57]. Aygün, E., Zengin, D.M., 2000, *Kuantum fiziği*, Bilim Yayınları, Ankara, ISBN 975-556-005-X.

[58]. Atkins, P.W., *Physical chemistry*, Oxford University Press, 1978, ISBN 0-19-855148-7.

[59]. Tekeli, G., 2009, *Elektrik dipol geçişler*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

[60]. Kopfermann, H., Schneider, E.E., 1958, *Nuclear moments*, Academic Press Inc., Catalog Number 56-6607.

[61]. Hariharan P., 2007, *Basics of interferometry*, Academic Press of Elsevier, ISBN 13: 978- 0-12-373589-8.

[62]. Griffiths, P.R., Haseeth, J.A., 1942, *Fourier transform infrared spectrometry*, Wiley-Interscience, United States of America, ISBN 978-0-471-19404-0.

[63]. Demtröder, W., 2006, *Atoms, molecules and photons, an introduction to atomic, molecular and quantum physics*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 13 978-3540-20631-6.

[64]. Başar, G., 1994, *Lazer spektroskopisi ve interferans spektroskopisi ile rhenium ve platin elementlerinin izotropik kaymalarının ve hiper ince yapı ayrılmalarının incelenmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

[65]. Behrens, H.O., Guthohrlein. G.H., 1983, High resolution optogalvanic spectroscopy as a useful tool in the determination of atomic hyperfine parameters and isotopic shifts, *J. Phys. Colloques*, 44 (C7), 149-168.

[66]. Behrens, H.O., Guthohrlein. G.H., Kasper, A., 1983, Optical-optical double resonance experiments with gallium and indium atoms via optogalvanic detection *J. Phys.*

Colloques, 44(C7), 239-250.

- [67]. Uddin, Z., 2006, *Hyperfine structure studies of tantalum and praseodymium*, Thesis (PhD), Institute of Experimental Physics Technical University Graz.
- [68]. Demtröder, W., 1982, *Laser spectroscopy basic concepts and instrumentation*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, ISBN 3-540-57171-X.
- [69]. Mattson, B., Myers, J.D., 2016, *Doppler vites*,
https://imagine.gsfc.nasa.gov/features/yba/M31_velocity/spectrum/doppler_more.html ,
 [Ziyaret Tarihi 1 Mayıs 2019].
- [70]. Hollas, J.M., 2004, *Modern spectroscopy*, University of Reading, UK, ISBN 0 470 84415 9 (cloth) ISBN 0 470 84416 7, 34-36.
- [71]. Nist Atomic Spectra Database:
https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/levels_form.html ,
 [Ziyaret Tarihi 13 Mayıs 2019].

EKLER

EK 1. Sınıflandırılan Nb I spektral çizgileri. W: Çizgi genişliği, S/N: Spektral geçişin FT’de gözlenen sinyal/gürültü oranı, λ_{hava} : Havadaki ağırlık merkezi dalgaboyu, σ_{vakum} : Vakumdaki dalgasayısı, $\Delta\sigma = \sigma_{\text{vakum}} - |E_{\text{üst}} - E_{\text{alt}}|$, E_{alt} : Alt seviyenin enerjisi, J_{alt} : Alt seviyenin J kuantum sayısı, $E_{\text{üst}}$: Üst seviyenin enerjisi, $J_{\text{üst}}$: Üst seviyenin J kuantum sayısı, yç: Yeni çizgi, ys: Yeni sınıflandırma, çs: Hem yeni çizgi hem yeni sınıflandırma.

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	E_{alt} (cm^{-1})	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	J üst
887	-91	6	2		235.0034	42539.552	0.052	4998.17	0.5	47537.67	1.5
1714		10	2		235.3800	42471.495					
811	-539	9	7		235.4475	42459.320	-0.100	9328.88	4.5	51788.30	4.5
1190	-405		2	çs	235.4801	42453.443	-0.227	2805.36	4.5	45259.03	5.5
638		5	3		235.8134	42393.444					
944		3	2		236.8640	42205.425					
713		15	11		236.8860	42201.505					
712	-576		3	çs	236.9303	42193.615	0.025	695.25	3.5	42888.84	2.5
355		3	15		237.3074	42126.572					
1215		4	2		238.2246	41964.391					
628	-322	5	8		239.4058	41757.360	0.080	1142.79	1.5	42900.07	1.5
1064	-322	4	2		239.4395	41751.483	0.033	1142.79	1.5	42894.24	1.5
1515	-341	2	2		239.5840	41726.304	0.194	2154.11	3.5	43880.22	3.5
729	-109	5	4		239.9722	41658.809	-0.071	1142.79	1.5	42801.67	0.5
936		5	6		240.0910	41638.197					
520	-691	3	4		240.1877	41621.435	-0.125	5297.92	1.5	46919.48	2.5
1524		8	5		240.2339	41613.431					
762	-311	4	6		240.3112	41600.047	-0.053	1586.90	2.5	43187.00	2.5
848	-311	4	4		240.3918	41586.100	0.000	1586.90	2.5	43173.00	3.5
621		10	18		240.6942	41533.857					
1050	-199	2	2		240.8062	41514.540	-0.100	5297.92	1.5	46812.58	2.5
395	-311	5	9		241.2645	41435.687	-0.013	1586.90	2.5	43022.60	2.5
598		3	4		241.8490	41335.552					
496	-322	6	12		241.8802	41330.221	-0.199	1142.79	1.5	42473.21	1.5
854	-224	6	6		241.9804	41313.108	-0.062	1586.90	2.5	42900.07	1.5
1092	-287	5	6		241.9976	41310.172	-0.018	5965.45	2.5	47275.64	3.5
529	-224	7	11		242.0144	41307.305	-0.035	1586.90	2.5	42894.24	1.5
614	-311	2	4		242.0462	41301.878	-0.062	1586.90	2.5	42888.84	2.5
732	-341	3	5		242.2906	41260.220	-0.110	2154.11	3.5	43414.44	3.5
783	-273		3	çs	242.4003	41241.549	-0.141	2154.11	3.5	43395.80	4.5

EK 1 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E _{alt} (cm ⁻¹)	J alt	E _{üst} (cm ⁻¹)	J üst
408	-249	5	12		242.5746	41211.917	0.037	5297.92	1.5	46509.80	2.5
611	-322	6	9		242.6637	41196.786	0.016	1142.79	1.5	42339.56	1.5
543		5	8		242.6957	41191.355					
492	-293	3	6		242.7114	41188.690	-0.080	2154.11	3.5	43342.88	2.5
560	-130	9	14		242.7543	41181.412	-0.108	1142.79	1.5	42324.310	0.5
559	-806	1	2		242.7717	41178.461	-0.089	2154.11	3.5	43332.66	3.5
441		3	7		242.8048	41172.848					
526	-91	3	9		242.8100	41171.966	0.096	4998.17	0.5	46170.04	1.5
559	-432		1	çs	242.8637	41162.863	-0.007	391.99	2.5	41554.86	1.5
644		3	6		242.8848	41159.287					
795	-311	2	2		243.0442	41132.295	0.015	1586.90	2.5	42719.18	3.5
473		10	23		243.3680	41077.573					
506	-249	1	3		243.4319	41066.791	-0.079	5297.92	1.5	46364.79	1.5
1062	-287	4	4		243.4878	41057.363	0.033	5965.45	2.5	47022.78	3.5
337	-311	6	21		243.4969	41055.829	-0.171	1586.90	2.5	42642.90	2.5
387	-293	10	61		243.6330	41032.896	0.006	2154.11	3.5	43187.00	2.5
387	-341	9	23		243.7161	41018.906	0.016	2154.11	3.5	43173.00	3.5
370	-73	3	9		243.7924	41006.069	-0.051	4998.17	0.5	46004.29	0.5
504	-91	2	4		243.9445	40980.504	-0.166	4998.17	0.5	45978.84	0.5
957		3	4		243.9715	40975.969					
436	-311	5	15		244.0402	40964.435	-0.225	1586.90	2.5	42551.56	2.5
604	-230	2	4		244.1034	40953.829	-0.201	5965.45	2.5	46919.48	2.5
334	-224	20	64		244.5076	40886.133	-0.177	1586.90	2.5	42473.21	1.5
1086	-249	1	2		244.5913	40872.142	0.022	5297.92	1.5	46170.04	1.5
384	-293	10	26		244.6135	40868.433	-0.057	2154.11	3.5	43022.60	2.5
768	-287	4	6		244.7417	40847.027	-0.103	5965.45	2.5	46812.58	2.5
415	-224	20	44		245.3084	40752.671	0.011	1586.90	2.5	42339.56	1.5
399	-600	20	56		245.3375	40747.838	0.028	2805.36	4.5	43553.17	3.5
398	-293	2	9		245.4168	40734.672	-0.058	2154.11	3.5	42888.84	2.5
514	-101	3	7		245.5878	40706.311	-0.059	5297.92	1.5	46004.29	0.5
447	-322		3	çs	245.7078	40686.432	0.112	1142.79	1.5	41829.11	2.5
544	-378	10	20		246.1765	40608.974	-0.106	2805.36	4.5	43414.44	3.5
626	-405	20	43		246.2890	40590.426	-0.014	2805.36	4.5	43395.80	4.5

EK 1 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	E_{alt} (cm^{-1})	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	J üst
395	-287	5	21		246.3637	40578.120	0.010	5965.45	2.5	46543.56	2.5
593	-273	10	13		246.4440	40564.899	-0.171	2154.11	3.5	42719.18	3.5
905	-600		4	çs	246.4656	40561.344	-0.026	391.99	2.5	40953.36	3.5
510	-287	2	9		246.5709	40544.023	-0.232	5965.45	2.5	46509.80	2.5
526	-130	10	18		246.6327	40533.865	-0.155	1142.79	1.5	41676.81	0.5
542	-378	20	52		246.6730	40527.243	-0.057	2805.36	4.5	43332.66	3.5
492	-287	1	4		246.8070	40505.241	-0.019	5965.45	2.5	46470.71	3.5
295	-293	25	97		246.9080	40488.673	-0.117	2154.11	3.5	42642.90	2.5
506	-322	2	4		247.3761	40412.063	-0.007	1142.79	1.5	41554.86	1.5
473	-244	15	41		247.4670	40397.220	-0.230	2154.11	3.5	42551.56	2.5
375	-378	8	23		247.6488	40367.567	-0.073	2805.36	4.5	43173.00	3.5
387	-600	2	9		248.9112	40162.849	0.059	2154.11	3.5	42316.90	2.5
434		3	24		249.4801	40071.271					
561	-311	2	8		249.7464	40028.546	0.046	1586.90	2.5	41615.40	2.5
400	-199	2	12		249.9282	39999.431	0.051	5297.92	1.5	45297.30	2.5
255	-73	4	21		250.2948	39940.849	-0.061	4998.17	0.5	44939.08	1.5
446	-315	30	125		250.4650	39913.710	-0.110	2805.36	4.5	42719.18	3.5
477	-187	6	21		250.7141	39874.056	-0.014	1586.90	2.5	41460.97	1.5
809	-341		3	çs	250.9706	39833.306	0.066	2154.11	3.5	41987.35	3.5
681	-1037	3	2		251.1580	39803.586	-0.064	1050.26	4.5	40853.89	4.5
475	-341	2	4		251.3273	39776.776	0.016	2154.11	3.5	41930.87	3.5
696	-287	1	5		251.4738	39753.605	-0.015	5965.45	2.5	45719.07	3.5
379		3	33		251.4784	39752.878					
284		4	20		251.5779	39737.156					
646	-579	2	9		251.9018	39686.065	-0.115	12102.12	4.5	51788.30	4.5
1401	-293		2	çs	251.9714	39675.103	0.103	2154.11	3.5	41829.11	2.5
378		10	61		252.0507	39662.622					
393	-199	2	12		252.1876	39641.092	-0.068	5297.92	1.5	44939.08	1.5
330		3	28		252.1924	39640.338					
377	-199	7	37		252.4006	39607.642	0.022	5297.92	1.5	44905.54	2.5
376	-322	10	47		252.4985	39592.286	0.056	2154.11	3.5	41746.34	2.5
388	-405	6	23		253.8055	39388.414	0.074	2805.36	4.5	42193.70	4.5
961	-1037	1	2		253.9128	39371.770	0.100	1050.26	4.5	40421.93	4.5
465	-311	1	3		253.9467	39366.515	0.055	1586.90	2.5	40953.36	3.5

EK 1 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E _{alt} (cm ⁻¹)	J alt	E _{üst} (cm ⁻¹)	J üst
820	-287	2	7		254.1704	39331.870	0.020	5965.45	2.5	45297.30	2.5
309		5	36		254.1972	39327.724					
495		3	11		254.3252	39307.932					
355		10	73		254.3980	39296.684					
355	-519	2	42		254.4723	39285.211	-0.119	12502.97	5.5	51788.30	4.5
369	-287	7	31		254.9904	39205.395	-0.055	5965.45	2.5	45170.90	3.5
522	-378		4	çs	255.1426	39182.009	0.019	2805.36	4.5	41987.35	3.5
1211	-806		4	çs	255.3490	39150.340	0.080	695.25	3.5	39845.51	4.5
414		3	20		255.3752	39146.324					
490		12	42		255.4103	39140.944					
352	-378	3	15		255.5107	39125.565	0.055	2805.36	4.5	41930.870	3.5
856	-315	4	19		255.7410	39090.334	0.024	2805.36	4.5	41895.67	4.5
351	-405	2	13		255.8835	39068.566	0.016	2805.36	4.5	41873.91	4.5
397	-258	20	135		255.8936	39067.025	0.095	1142.79	1.5	40209.72	2.5
595	-91	1	6		255.9050	39065.284	-0.036	4998.17	0.5	44063.49	1.5
289	-273	4	18		256.4265	38985.841	0.001	2154.11	3.5	41139.95	3.5
334	-311	30	240		256.5410	38968.442	0.062	1586.90	2.5	40555.28	3.5
1048	-432		6	çs	256.6075	38958.344	0.084	1050.26	4.5	40008.52	4.5
440	-322	20	78		256.7510	2568.153	0.012	1142.79	1.5	40079.30	2.5
318	-539	20	146		256.9030	38913.536	-0.024	9328.88	4.5	48242.44	4.5
363	-249	6	42		257.0782	38887.018	0.018	1586.90	2.5	40473.90	2.5
302	-249	7	61		257.1057	38882.859	0.049	1586.90	2.5	40469.71	3.5
484	-322	15	63		257.2099	38867.107	0.057	1142.79	1.5	40009.84	2.5
800	-322		5	çs	257.4002	38838.374	-0.036	1142.79	1.5	39981.20	1.5
301	-341	7	58		257.6597	38799.261	0.011	2154.11	3.5	40953.36	3.5
466		4	23		257.8086	38776.853					
316	-311	8	66		257.8203	38775.094	-0.006	1586.90	2.5	40362.00	3.5
346	-341	50	400		257.8734	38767.110	0.070	2154.11	3.5	40921.15	4.5
361	-378		3	çs	257.8788	38766.298	0.048	2805.36	4.5	41571.61	3.5
300	-312	7	63		258.1194	38730.165	0.005	0.00	0.5	38730.16	0.5
375	-491	15	178		258.3103	38701.544	0.054	8827.00	3.5	47528.49	3.5
375	-273	8	46		258.3219	38699.807	0.027	2154.11	3.5	40853.89	4.5
776	-249	1	3		258.8367	38622.841	0.021	1586.90	2.5	40209.72	2.5

EK 1 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	J üst
327	-405		563	çs	259.2200	38565.735	-0.075	2805.36	4.5	41371.17	5.5
445		4	35		259.4675	38528.950					
474	-311	10	58		259.7138	38492.413	0.013	1586.90	2.5	40079.30	2.5
473		3	24		260.1597	38426.443					
502	-311	7	48		260.1832	38422.973	0.033	1586.90	2.5	40009.84	2.5
310	-341	6	34		260.3306	38401.219	0.049	2154.11	3.5	40555.28	3.5
693	-322	1	4		260.4225	38387.668	-0.002	1142.79	1.5	39530.46	2.5
794	-378		3	çs	260.7831	38334.591	0.001	2805.36	4.5	41139.95	3.5
279	-293	6	59		260.8841	38319.751	-0.039	2154.11	3.5	40473.90	2.5
323	-341	1	8		260.9123	38315.609	0.009	2154.11	3.5	40469.71	3.5
367	-311	20	144		261.0268	38298.803	0.043	1586.90	2.5	39885.66	3.5
1026	-161	1	4		261.2028	38272.999	-0.101	13515.20	3.5	51788.30	4.5
337	-341	15	108		261.2377	38267.886	0.066	2154.11	3.5	40421.93	4.5
907		3	9		261.4444	38237.633					
307	-341	30	288		261.6476	38207.939	0.049	2154.11	3.5	40362.00	3.5
321	-419	4	40		261.7046	38199.617	0.007	9328.88	4.5	47528.49	3.5
277	-378	8	78		262.0585	38148.033	0.033	2805.36	4.5	40953.36	3.5
378	-41	7	37		262.2003	38127.404	0.004	8827.00	3.5	46954.40	4.5
247	-405	4	28		262.2804	38115.760	-0.030	2805.36	4.5	40921.15	4.5
320	-322	25	234		262.3507	38105.548	0.038	1142.79	1.5	39248.30	2.5
348		3	29		262.6472	38062.533					
406	-405	60	534		262.7435	38048.583	0.053	2805.36	4.5	40853.89	4.5
362	-311	20	230		262.8490	38033.313	0.083	1586.90	2.5	39620.13	3.5
432	-315		16	çs	263.4889	37940.952	0.022	2805.36	4.5	40746.29	5.5
302	-491		20	çs	263.7921	37897.345	0.145	8827.00	3.5	46724.20	4.5
358	101	20	227		264.0915	37854.384	-0.026	2154.11	3.5	40008.52	4.5
772	-91	2	4		264.4476	37803.413	-0.087	4998.17	0.5	42801.67	0.5

EK 1 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	J üst
484	-421	3	14		265.0563	37716.603	0.043	8827.00	3.5	46543.56	2.5
839	-503		2	çs	265.2164	37693.836	-0.064	9328.88	4.5	47022.78	3.5
470	-341	2	10		265.2335	37691.406	0.006	2154.11	3.5	39845.51	4.5
341	-421	8	74		265.2938	37682.839	0.039	8827.00	3.5	46509.80	2.5
327			8	yç	265.2999	37681.973					
440	-405	10	114		265.3376	37676.619	0.019	2805.36	4.5	40481.96	5.5
298	-378	2	24		265.4242	37664.327	-0.023	2805.36	4.5	40469.71	3.5
367	-311	60	662		265.4447	37661.419	0.019	1586.90	2.5	39248.30	2.5
270	-419	10	179		265.6989	37625.389	-0.131	9328.88	4.5	46954.40	4.5
368	-405	40	512		265.7612	37616.570	0.000	2805.36	4.5	40421.93	4.5
2206	-249		6	çs	265.9043	37596.327	0.007	5297.92	1.5	42894.24	1.5
862	-333		2	çs	265.9250	37593.401	0.011	8410.90	0.5	46004.29	0.5
481	-287		4	çs	265.9652	37587.719	-0.001	5965.45	2.5	43553.17	3.5
452	-322	3	14		266.1124	37566.928	0.058	1142.79	1.5	38709.66	1.5
297	-378	8	70		266.1854	37556.626	-0.014	2805.36	4.5	40362.00	3.5
2578	557		3	çs	266.4073	37525.346	0.086	9497.52	3.5	47022.78	3.5
239	-341		12	çs	266.7032	37483.715	-0.005	2154.11	3.5	39637.83	4.5
407	-91		9	çs	266.7662	37474.863	-0.177	4998.17	0.5	42473.21	1.5
323	-341	40	422		266.8290	37466.044	0.024	2154.11	3.5	39620.13	3.5
435	71		12	çs	266.8377	37464.822	0.102	8705.32	1.5	46170.04	1.5
1009	340		2	çs	267.1034	37427.557	-0.013	9043.14	2.5	46470.71	3.5
1485	476	2	7		267.1447	37421.771	-0.189	9497.52	3.5	46919.48	2.5
294	-539	2	19		267.3332	37395.386	0.066	9328.88	4.5	46724.20	4.5
350	-293	4	32		267.4697	37376.302	-0.048	2154.11	3.5	39530.46	2.5
433	-287		8	çs	267.5360	37367.040	-0.170	5965.45	2.5	43332.66	3.5
265	-249	3	22		267.6952	37344.819	-0.161	5297.92	1.5	42642.90	2.5
558	-91		5	çs	267.7203	37341.318	-0.072	4998.17	0.5	42339.56	1.5
767	-91	1	6		267.8302	37325.997	-0.143	4998.17	0.5	42324.31	0.5
349	-224	20	170		267.9012	37316.105	0.005	1586.90	2.5	38903.00	1.5
515	-322	6	36		267.9880	37304.019	0.029	1142.79	1.5	38446.78	1.5
500	-341	10	53		268.2128	37272.755	0.025	2154.11	3.5	39426.84	3.5
528	-311	1	4		268.2519	37267.322	0.082	1586.90	2.5	38854.14	3.5
625	-322	4	8		268.3713	37250.743	0.043	1142.79	1.5	38393.49	2.5

EK 1 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	E_{alt} (cm^{-1})	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	J üst
305	-405	30	406		268.7148	37203.128	-0.032	2805.36	4.5	40008.52	4.5
912	-311		7	çs	268.9074	37176.483	0.043	1586.90	2.5	38763.34	2.5
262	-293	30	272		269.5039	37094.204	0.014	2154.11	3.5	39248.30	2.5
289	-378	8	95		269.6053	37080.254	-0.046	2805.36	4.5	39885.66	3.5
728	-287		4	çs	269.7739	37057.081	-0.069	5965.45	2.5	43022.60.	2.5
1016	476	3	12		269.8540	37046.082	0.042	9497.52	3.5	46543.56	2.5
440	-130	4	48		269.8965	37040.249	0.079	1142.79	1.5	38182.96	0.5
535	-247		8	çs	269.9111	37038.245	0.115	10237.51	2.5	47275.64	3.5
946	-101		4	çs	269.9982	37026.298	-0.092	5297.92	1.5	42324.31	0.5
1614	557		3	çs	270.3861	36973.182	-0.008	9497.52	3.5	46470.71	3.5
682	-205		2	çs	270.6686	36934.595	-0.025	5965.45	2.5	42900.07	1.5
545	-491		2	çs	270.9803	36892.113	0.043	8827.00	3.5	45719.07	3.5
720	-224	2	12		271.2169	36859.931	0.051	1586.90	2.5	38446.78	1.5
285	-405	5	83		271.4192	36832.459	-0.011	2805.36	4.5	39637.83	4.5
339	-378	6	85		271.5494	36814.800	0.030	2805.36	4.5	39620.13	3.5
56	-322	8	42		271.5681	36812.265	0.065	1142.79	1.5	37954.99	1.5
56	-311	15	86		271.6096	36806.641	0.051	1586.90	2.5	38393.49	2.5
554	-287	5	31		272.0018	36753.572	-0.158	5965.45	2.5	42719.18	3.5
486	-322	6	48		272.2308	36722.657	0.027	1142.79	1.5	37865.42	1.5
485	-341	15	106		272.3983	36700.077	0.047	2154.11	3.5	38854.14	3.5
296	-247	2	28		272.5339	36681.818	-0.152	10237.51	2.5	46919.48	2.5
673	-91		5	çs	272.5592	36678.413	-0.227	4998.17	0.5	41676.81	0.5
336	-287	2	33		272.5680	36677.229	-0.221	5965.45	2.5	42642.90	2.5
350	-322	6	86		272.6079	36671.861	0.011	1142.79	1.5	37814.64	2.5
336	-539		21	çs	272.7429	36653.710	0.030	9328.88	4.5	45982.56	4.5
282	-311	6	94		272.8079	36644.978	0.028	1586.90	2.5	38231.85	3.5
416	-378	6	48		272.9830	36621.474	-0.006	2805.36	4.5	39426.84	3.5
362	-293		9	çs	273.0741	36609.257	0.027	2154.11	3.5	38763.34	2.5
348	-311		10	çs	273.1920	36593.459	0.039	1586.90	2.5	38180.32	2.5
482	-405		275	çs	273.3266	36575.439	0.029	2805.36	4.5	39380.77	4.5
321	-80	2	32		273.4033	36565.179	-0.031	9439.08	1.5	46004.29	0.5
240	-249	1	13		274.2793	36448.402	-0.018	5297.92	1.5	41746.34	2.5

EK 1 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	E_{alt} (cm^{-1})	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	J üst
411	-130	30	301		274.6908	36393.804	0.034	1142.79	1.5	37536.56	0.5
344	-503		9	çs	274.7177	36390.240	0.050	9328.88	4.5	45719.07	3.5
570	-205		3	çs	274.8398	36374.075	-0.035	5965.45	2.5	42339.56	1.5
516	-224	30	230		274.8847	36368.133	0.043	1586.90	2.5	37954.99	1.5
291	-287		9	çs	275.0111	36351.419	-0.031	5965.45	2.5	42316.9	2.5
608	-491		7	çs	275.0687	36343.807	-0.093	8827.00	3.5	45170.90	3.5
303	-249	3	30		275.2683	36317.455	-0.025	5297.92	1.5	41615.40	2.5
290	-247		13	çs	275.3546	36306.074	0.024	10237.51	2.5	46543.56	2.5
461	205	3	13		275.4408	36294.712	0.052	2154.11	3.5	38448.77	4.5
277	-491	20	336		275.5282	36283.200	0.070	8827.00	3.5	45110.13	4.5
395	-224	10	142		275.5636	36278.539	0.019	1586.90	2.5	37865.42	1.5
1262	340		6	çs	275.7500	36254.017	-0.143	9043.14	2.5	45297.30	2.5
552	-293	50	310		275.8609	36239.443	0.063	2154.11	3.5	38393.49	2.5
341	-247		8	çs	275.9082	36233.231	0.031	10237.51	2.5	46470.71	3.5
604	-311		3	çs	275.9501	36227.729	-0.011	1586.90	2.5	37814.64	2.5
315	-405	2	27		276.0440	36215.407	-0.043	2805.36	4.5	39020.81	5.5
734	71		5	çs	276.1602	36200.169	-0.051	8705.32	1.5	44905.54	2.5
314	-378	15	368		276.3379	36176.892	0.052	2805.36	4.5	38982.20	3.5
772	-691		4	çs	276.3814	36171.198	-0.152	695.25	3.5	36866.60	2.5
353	-579	7	66		276.6185	36140.196	-0.124	12102.12	4.5	48242.44	4.5
1645	-178		3	çs	276.7159	36127.476	0.196	10237.51	2.5	46364.79	1.5
860	185		6	çs	276.9265	36100.003	-0.037	10922.74	3.5	47022.78	3.5
742	-421		2	çs	277.0917	36078.481	-0.059	8827.00	3.5	44905.54	2.5
469	-341		5	çs	277.0973	36077.752	0.012	2154.11	3.5	38231.85	3.5
742	-600		2	çs	277.1699	36068.303	-0.047	391.99	2.5	36460.34	3.5
520	-378	50	304		277.3200	36048.781	0.001	2805.36	4.5	38854.14	3.5
429	-322		14	çs	277.3452	36045.506	0.016	1142.79	1.5	37188.28	2.5
442	-311	3	11		277.4053	36037.697	0.067	1586.90	2.5	37624.53	3.5
299	-293	3	19		277.4934	36026.256	0.046	2154.11	3.5	38180.32	2.5
532	-377		4	çs	277.5272	36021.869	0.009	695.25	3.5	36717.11	4.5
544	-322		76	çs	277.9360	35968.889	0.009	1142.79	1.5	37111.67	1.5
595	-311	4	23		278.0607	35952.759	-0.011	1586.90	2.5	37539.67	3.5

EK 1 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	E_{alt} (cm^{-1})	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	J üst
504	-600		2	çs	278.1418	35942.277	0.057	391.99	2.5	36334.21	3.5
478	-539	20	216		278.2357	35930.148	-0.002	9328.88	4.5	45259.03	5.5
245	-54	4	19		278.6387	35878.184	-0.046	10126.06	0.5	46004.29	0.5
940	-427		4	çs	278.7625	35862.251	0.181	154.19	1.5	36016.26	1.5
257	-195	6	28		278.7939	35858.212	-0.008	9439.08	1.5	45297.30	2.5
296	-503	3	24		278.9208	35841.899	-0.121	9328.88	4.5	45170.90	3.5
628	-249	3	9		279.3693	35784.361	0.041	5297.92	1.5	41082.24	1.5
320	-287	3	10		279.3971	35780.801	-0.089	5965.45	2.5	41746.34	2.5
294	-311	9	55		279.5863	35756.588	-0.012	1586.90	2.5	37343.50	3.5
281	-519	3	16		279.7209	35739.383	-0.087	12502.97	5.5	48242.44	4.5
345	-322	6	27		279.8426	35723.842	0.032	1142.79	1.5	36866.60	2.5
523	-341	7	28		279.9355	35711.987	0.037	2154.11	3.5	37866.06	4.5
535	-311		46	çs	280.0316	35699.732	0.012	1586.90	2.5	37286.62	2.5
598	-341		20	çs	280.2066	35677.437	-0.033	2154.11	3.5	37831.58	4.5
433	-427		3	çs	280.2235	35675.286	0.016	154.19	1.5	35829.46	1.5
1132	-333		4	çs	280.4010	35652.704	0.114	8410.90	0.5	44063.49	1.5
292	-287		29	çs	280.4231	35649.894	-0.056	5965.45	2.5	41615.40	2.5
470	-341		3	çs	280.7677	35606.141	-0.019	5965.45	2.5	41571.61	3.5
317	-311		60	çs	280.8052	35601.386	0.006	1586.90	2.5	37188.28	2.5
836	159		5	çs	280.9176	35587.142	0.082	10922.74	3.5	46509.80	2.5
316	-1481		70	çs	281.1627	35556.121	-0.059	11524.65	6.5	47080.83	5.5
858	60	1	4		281.4528	35519.475	0.055	12018.25	2.5	47537.67	1.5
404	-195		2	çs	281.6075	35499.963	-0.037	9439.08	1.5	44939.08	1.5
580	-205	2	7		281.6434	35495.438	-0.082	5965.45	2.5	41460.97	1.5
490	-247		3	çs	281.7536	35481.556	-0.004	10237.51	2.5	45719.07	3.5
630	-341		3	çs	281.8418	35470.453	0.033	2154.11	3.5	37624.53	3.5
302	-195	3	23		281.8740	35466.401	-0.059	9439.08	1.5	44905.54	2.5
314	-405	3	18		282.0370	35445.905	-0.015	2805.36	4.5	38251.28	5.5
414	-540	8	28		282.1925	35426.374	0.004	12102.12	4.5	47528.49	3.5
1003	476		3	çs	282.3390	35407.992	-0.028	9497.52	3.5	44905.54	2.5
301	-311	3	14		282.4643	35392.286	-0.014	1586.90	2.5	36979.20	3.5
551	-341	10	28		282.5182	35385.534	-0.026	2154.11	3.5	37539.67	3.5
400	-341	12	72		282.6470	35369.410	-0.010	2154.11	3.5	37523.53	4.5

EK 1 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	J üst
388	71		2	çs	282.7373	35358.115	-0.055	8705.32	1.5	44063.49	1.5
575	-405	3	6		282.8953	35338.368	-0.032	2805.36	4.5	38143.76	5.5
874	-1110		5	çs	283.0177	35323.085	0.195	12357.70	4.5	47680.59	4.5
536	-969		2	çs	283.3313	35283.990	0.040	1050.26	4.5	36334.21	3.5
286	-311		14	çs	283.3656	35279.720	0.020	1586.90	2.5	36866.60	2.5
535	-658		12	çs	283.5239	35260.023	-0.037	12982.38	3.5	48242.44	4.5
610	296		2	çs	283.6104	35249.269	-0.151	12288.25	1.5	47537.67	1.5
322	-341	10	67		284.0933	35189.356	-0.034	2154.11	3.5	37343.50	3.5
309	-249	6	31		284.2018	35175.922	-0.058	5297.92	1.5	40473.90	2.5
568	-293	2	5		284.5531	35132.497	-0.013	2154.11	3.5	37286.62	2.5
531	-205		3	çs	284.6810	35116.714	-0.076	5965.45	2.5	41082.24	1.5
295	-247	20	260		285.1444	35059.647	-0.143	10237.51	2.5	45297.30	2.5
295	-579	15	174		285.1974	35053.132	0.032	12102.12	4.5	47155.22	5.5
713	-84		5	çs	285.2503	35046.632	-0.068	11318.09	1.5	46364.79	1.5
418	-322	3	8		285.3265	35037.272	-0.068	1142.79	1.5	36180.13	2.5
332	-293		8	çs	285.3516	35034.191	0.021	2154.11	3.5	37188.28	2.5
565	-405	12	34		285.4168	35026.188	-0.032	2805.36	4.5	37831.58	4.5
282	-287	10	51		285.7293	34987.882	-0.028	5965.45	2.5	40953.36	3.5
808	-579		6	çs	285.8025	34978.921	0.211	12102.12	4.5	47080.83	5.5
342		10	55		285.8974	34967.311					
244	-405	15	190		285.9962	34955.232	-0.008	2805.36	4.5	37760.60	5.5
415	-247	2	14		286.1758	34933.295	-0.095	10237.51	2.5	45170.90	3.5
720	-311	1	6		286.2485	34924.424	-0.166	1586.90	2.5	36511.49	3.5
415	-249		2	çs	286.3522	34911.777	-0.023	5297.92	1.5	40209.72	2.5
462	-311	8	38		286.6675	34873.380	-0.060	1586.90	2.5	36460.34	3.5
583	-579		6	çs	286.8412	34852.263	-0.017	12102.12	4.5	46954.40	4.5
377	-204	2	10		286.8960	34845.606	0.056	12692.12	2.5	47537.67	1.5
328	-341	5	12		287.0652	34825.068	-0.022	2154.11	3.5	36979.20	3.5
352	-54		2	çs	287.1648	34812.990	-0.030	10126.06	0.5	44939.08	1.5
582	-1110	1	3		287.2920	34797.577	0.057	12357.70	4.5	47155.22	5.5
763	-1110	2	8		287.3680	34788.375	0.015	12357.70	4.5	47146.06	4.5
521	-130	15	56		287.4564	34777.677	0.017	1142.79	1.5	35920.45	0.5

EK 1 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	J üst
772	-378	3	6		287.8157	34734.264	-0.046	2805.36	4.5	37539.67	3.5
808	-161		12	çs	287.8743	34727.194	-0.046	13515.20	3.5	48242.44	4.5
326	-491	3	47		287.8816	34726.313	0.143	8827.00	3.5	43553.17	3.5
350	-405	8	37		287.9493	34718.149	-0.021	2805.36	4.5	37523.53	4.5
289	-293	1	8		287.9960	34712.519	0.029	2154.11	3.5	36866.60	2.5
627	-249		5	çs	288.0011	34711.905	-0.015	5297.92	1.5	40009.84	2.5
553	-503		7	çs	288.3025	34675.618	-0.102	12136.86	3.5	46812.58	2.5
349	-1280	1	13		288.3615	34668.523	0.133	13012.20	5.5	47680.59	4.5
493	-247		3	çs	288.3661	34667.970	-0.060	10237.51	2.5	44905.54	2.5
637	-1036	1	6		288.3903	34665.061	-0.019	12357.70	4.5	47022.78	3.5
384	-519	12	70		288.4966	34652.289	0.039	12502.97	5.5	47155.22	5.5
480	-195	6	11		288.7293	34624.362	-0.048	9439.08	1.5	44063.49	1.5
443	-311	10	28		288.9898	34593.153	-0.077	1586.90	2.5	36180.13	2.5
251	-287	6	19		289.0178	34589.802	-0.028	5965.45	2.5	40555.28	3.5
430	-378		3	çs	289.4509	34538.048	-0.092	2805.36	4.5	37343.50	3.5
847	-995	1	7		289.4761	34535.042	0.162	13145.71	4.5	47680.59	4.5
251		3	19		289.4904	34533.336					
513	-421		3	çs	289.6377	34515.774	-0.106	8827.00	3.5	43342.88	2.5
322	-287		17	çs	289.7000	34508.352	-0.098	5965.45	2.5	40473.90	2.5
965	-491		3	çs	289.7214	34505.803	0.143	8827.00	3.5	43332.66	3.5
250	-287	6	25		289.7345	34504.243	-0.017	5965.45	2.5	40469.71	3.5
310	-333		3	çs	289.9093	34483.440	0.100	8410.90	0.5	42894.24	1.5
760	84	1	2		290.1708	34452.365	-0.095	12018.25	2.5	46470.71	3.5
308	-224	10	130		290.3652	34429.300	-0.060	1586.90	2.5	36016.26	1.5
462	-287	3	7		290.6422	34396.488	-0.062	5965.45	2.5	40362.00	3.5
615	-503		3	çs	290.8411	34372.966	0.026	12136.86	3.5	46509.8	2.5
579	-421		4	çs	290.9513	34359.948	-0.052	8827.00	3.5	43187.00	2.5
873	-311	2	4		291.1080	34341.453	0.003	1586.90	2.5	35928.35	2.5
625	-283		2	çs	291.1980	34330.840	0.180	12692.12	2.5	47022.78	3.5
636	-353	2	2		291.5056	34294.615	0.015	1050.26	4.5	35344.86	5.5
953	-658	1	4		291.5174	34293.227	-0.033	12982.38	3.5	47275.64	3.5
341		5	16		291.6505	34277.577					
621	-503		2	çs	292.1047	34224.281	-0.009	9328.88	4.5	43553.17	3.5
876	-341	10	8		292.4831	34180.005	-0.095	2154.11	3.5	36334.21	3.5

EK 1 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	J üst
280	-378	8	29		292.5361	34173.813	-0.027	2805.36	4.5	36979.20	3.5
479	-405		7	çs	292.5618	34170.811	0.071	2805.36	4.5	36976.10	5.5
1363	340	2	5		292.9128	34129.866	0.006	9043.14	2.5	43173.00	3.5
571	-253	4	6		292.9655	34123.727	0.007	13404.77	2.5	47528.49	3.5
664	-283		2	çs	292.9942	34120.384	-0.076	12692.12	2.5	46812.58	2.5
709	-503	1	4		293.2947	34085.427	-0.133	9328.88	4.5	43414.44	3.5
767	296		3	çs	293.3715	34076.504	-0.036	12288.25	1.5	46364.79	1.5
418	-421	5	9		293.4988	34061.725	-0.115	8827.00	3.5	42888.84	2.5
626	-658		4	çs	293.6828	34040.385	-0.015	12982.38	3.5	47022.78	3.5
405	-293	15	82		293.8074	34025.950	-0.070	2154.11	3.5	36180.13	2.5
625	-503		3	çs	294.0001	34003.649	-0.131	9328.88	4.5	43332.66	3.5
624	84		2	çs	294.0917	33993.058	-0.172	12018.25	2.5	46011.48	2.5
1213	-84	1	4		294.2106	33979.321	0.111	11318.09	1.5	45297.30	2.5
380	-54	6	17		294.5744	33937.359	-0.071	10126.06	0.5	44063.49	1.5
587	-311	2	5		294.8072	33910.561	-0.019	1586.90	2.5	35497.48	2.5
518	-195		5	çs	294.8668	33903.707	-0.093	9439.08	1.5	43342.88	2.5
345	-579	2	15		295.0690	33880.475	0.035	12102.12	4.5	45982.56	4.5
390	-503		3	çs	295.1204	33874.574	-0.046	12136.86	3.5	46011.48	2.5
550	-283		3	çs	295.3225	33851.394	-0.046	12692.12	2.5	46543.56	2.5
515	-178	5	8		295.5452	33825.887	-0.093	10237.51	2.5	44063.49	1.5
550	-283		2	çs	295.6166	33817.717	0.037	12692.12	2.5	46509.80	2.5
434	-293	3	9		295.9975	33774.201	-0.039	2154.11	3.5	35928.35	2.5
776	-161		35	çs	296.1173	33760.538	0.098	13515.20	3.5	47275.64	3.5
433	-195	1	5		296.2286	33747.854	-0.066	9439.08	1.5	43187.00	2.5
364	-91	5	10		296.3686	33731.913	-0.077	4998.17	0.5	38730.16	0.5
546	-312		3	çs	296.4997	33716.998	-0.012	0.00	0.5	33717.01	1.5
318	-91	10	51		296.5480	33711.507	0.017	4998.17	0.5	38709.66	1.5
442	-130	1	3		296.9593	33664.817	0.037	1142.79	1.5	34807.57	0.5
271	-84		17	çs	297.3468	33620.948	-0.042	11318.09	1.5	44939.08	1.5
362	-540	1	6		297.3820	33616.968	0.018	12102.12	4.5	45719.07	3.5
643	-311		2	çs	297.6033	33591.971	0.051	1586.90	2.5	35178.82	3.5
800	-587		3	çs	297.6917	33581.997	-0.213	12136.86	3.5	45719.07	3.5

EK 1 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	J üst
529	-224	1	3		298.1277	33532.886	0.136	1586.90	2.5	35119.65	1.5
484	-378	15	38		298.1640	33528.804	-0.046	2805.36	4.5	36334.21	3.5
382	-203	5	15		298.3139	33511.957	-0.043	1142.79	1.5	34654.79	2.5
1168	340		3	çs	298.3454	33508.419	-0.001	9043.14	2.5	42551.56	2.5
640	-130	4	7		298.4082	33501.367	-0.063	1142.79	1.5	34644.22	0.5
595	-519	1	4		298.6019	33479.636	0.046	12502.97	5.5	45982.56	4.5
897	-405	3	5		298.6853	33470.288	-0.122	2805.36	4.5	36275.77	5.5
314	-249	15	62		298.7284	33465.459	0.039	5297.92	1.5	38763.34	2.5
302	-195	6	34		298.8694	33449.672	-0.088	9439.08	1.5	42888.84	2.5
269	-91	6	22		298.8791	33448.586	-0.024	4998.17	0.5	38446.78	1.5
590	-161	1	2		298.9624	33439.267	0.067	13515.20	3.5	46954.40	4.5
1275	-101		48	çs	299.0260	33432.155	-0.085	5297.92	1.5	38730.16	0.5
346	-249	5	10		299.2084	33411.775	0.035	5297.92	1.5	38709.66	1.5
324	-253		36	çs	299.2432	33407.890	0.080	13404.77	2.5	46812.58	2.5
857	-80	6	9		299.6488	33362.671	0.081	9439.08	1.5	42801.67	0.5
312	-293	5	8		299.8223	33343.366	-0.004	2154.11	3.5	35497.48	2.5
466	-247	4	5		300.0715	33315.677	0.017	10237.51	2.5	43553.17	3.5
609	-311	9	11		300.5144	33266.578	-0.022	1586.90	2.5	34853.50	3.5
353	-195		21	çs	301.0837	33203.679	-0.141	9439.08	1.5	42642.90	2.5
683	-91	5	6		301.2551	33184.788	-0.002	4998.17	0.5	38182.96	0.5
419	-691	3	5		301.3275	33176.815	-0.115	695.25	3.5	33872.18	2.5
440	-21		2	çs	301.4274	33165.820	0.020	1586.90	2.5	34752.70	1.5
812	-322	2	2		301.9339	33110.186	0.016	1142.79	1.5	34252.96	1.5
515	-247	3	7		301.9788	33105.263	-0.107	10237.51	2.5	43342.88	2.5
471	-249	20	20		302.0669	33095.608	0.038	5297.92	1.5	38393.49	2.5
383	-253	2	3		302.3380	33065.934	-0.006	13404.77	2.5	46470.71	3.5
710	-341	1	3		302.7168	33024.559	-0.151	2154.11	3.5	35178.82	3.5
316	-287	7	19		302.7881	33016.783	0.033	5965.45	2.5	38982.20	3.5
447	-579	7	21		302.8688	33007.985	-0.025	12102.12	4.5	45110.13	4.5
654	373	4	8		302.9160	33002.842	0.012	2154.11	3.5	35156.94	4.5
774	-421	3	5		302.9230	33002.080	-0.030	8827.00	3.5	41829.11	2.5
467	-91	5	7		303.3390	32956.823	0.003	4998.17	0.5	37954.99	1.5

EK 1 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	E_{alt} (cm^{-1})	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	J üst
348	-161		2	çs	303.3509	32955.530	0.020	13515.20	3.5	46470.71	3.5
422	-287	20	28		303.9677	32888.660	-0.030	5965.45	2.5	38854.14	3.5
606	84		3	çs	303.9800	32887.330	0.040	12018.25	2.5	44905.54	2.5
465	-249	3	4		304.0253	32882.430	0.030	5297.92	1.5	38180.32	2.5
249	-91	5	8		304.1658	32867.241	-0.009	4998.17	0.5	37865.42	1.5
562	-539	5	6		304.1880	32864.843	0.023	9328.88	4.5	42193.70	4.5
539	-405	5	18		304.5556	32825.176	-0.084	2805.36	4.5	35630.62	5.5
291	-287	20	85		304.8091	32797.878	-0.012	5965.45	2.5	38763.34	2.5
462	-130	6	10		305.1669	32759.425	-0.025	1142.79	1.5	33902.24	0.5
891	-519	8	6		305.1988	32756.001	-0.059	12502.97	5.5	45259.03	5.5
343	-84	6	22		305.2983	32738.613	-6.787	11318.09	1.5	44063.49	1.5
268	-205	10	44		305.3088	32744.199	-0.011	5965.45	2.5	38709.66	1.5
364	-322	1	2		305.4474	32729.342	-0.048	1142.79	1.5	33872.18	2.5
961	-224	5	4		306.0387	32666.108	0.048	1586.90	2.5	34252.96	1.5
288	-503	8	17		306.1103	32658.468	-0.002	9328.88	4.5	41987.35	3.5
523	-249	10	6		306.1230	32657.113	0.043	5297.92	1.5	37954.99	1.5
435	-322	10	12		306.9031	32574.107	-0.113	1142.79	1.5	33717.01	1.5
690	-249		8	çs	306.9665	32567.379	-0.121	5297.92	1.5	37865.42	1.5
720	-490		2	çs	307.2174	32540.783	-0.107	13629.15	0.5	46170.04	1.5
540	279	7	7		307.2300	32539.449	-0.051	2805.36	4.5	35344.86	5.5
540	-91	10	6		307.2401	32538.379	-0.011	4998.17	0.5	37536.56	0.5
317	-249	3	3		307.4447	32516.726	0.006	5297.92	1.5	37814.64	2.5
422	-205	3	2		307.7805	32481.250	-0.080	5965.45	2.5	38446.78	1.5
695	-287	10	3		308.2857	32428.024	-0.016	5965.45	2.5	38393.49	2.5
420	-1037	4	2		308.7631	32377.887	-0.053	1050.26	4.5	33428.20	5.5
482	-378	9	9		308.8057	32373.421	-0.039	2805.36	4.5	35178.82	3.5
762	-195	5	6		309.4371	32307.366	0.106	9439.08	1.5	41746.34	2.5
804	-708	2	2		309.5212	32298.588	0.088	14211.3	1.5	46509.80	2.5
282	-311	10	16		309.6493	32285.227	-0.053	1586.90	2.5	33872.18	2.5
562	-204	3	2		310.0170	32246.936	-0.024	12692.12	2.5	44939.08	1.5
300	-224	20	39		311.1449	32130.045	-0.065	1586.90	2.5	33717.01	1.5
268	-247	15	18		311.6364	32079.373	-0.017	10237.51	2.5	42316.90	2.5
411	-378	6	2		311.9402	32048.132	-0.008	2805.36	4.5	34853.50	3.5
328	-195	5	3		312.1962	32021.854	-0.036	9439.08	1.5	41460.97	1.5

EK 1 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	J üst
646	-341	15	7		312.2651	32014.788	-0.042	2154.11	3.5	34168.94	3.5
480	-322	4	2		312.9552	31944.195	0.005	1142.79	1.5	33086.98	1.5
316	-421	15	13		313.3089	31908.134	-0.046	8827.00	3.5	40735.18	2.5
488	-130	15	7		313.6974	31868.619	-0.041	1142.79	1.5	33011.45	0.5
314	-708		2	çs	314.3722	31800.215	0.035	14211.30	1.5	46011.48	2.5
272	-293	30	26		315.1871	31718.001	-0.069	2154.11	3.5	33872.18	2.5
308	-130	12	4		317.2509	31511.674	-0.016	1142.79	1.5	32654.48	2.5
699	-91	15	2		318.6542	31372.907	0.027	4998.17	0.5	36371.05	1.5
443	-378	40	9		318.7491	31363.567	-0.013	2805.36	4.5	34168.94	3.5
540	-84		3	çs	319.1427	31324.888	0.078	11318.09	1.5	42642.90	2.5
576	-293	15	3		320.0539	31235.708	-0.052	2154.11	3.5	33389.87	2.5
291	-503	15	2		321.0283	31140.904	0.074	9328.88	4.5	40469.71	3.5
502	-249	30	2		321.7288	31073.103	-0.027	5297.92	1.5	36371.05	1.5
811	-43	20	5		321.7860	31067.580	0.000	1586.90	2.5	32654.48	2.5
424	-224	15	4		322.1121	31036.129	0.009	1586.90	2.5	32623.02	1.5
587	40	50	5		324.9506	30765.032	0.082	1142.79	1.5	31907.74	1.5
435	-86	30	4		325.1632	30744.918	0.028	2154.11	3.5	32899.00	3.5
414	-55	20	2		326.0134	30664.742	-0.018	1142.79	1.5	31807.55	2.5
610	-405	40	2		326.4582	30622.963	0.123	2805.36	4.5	33428.20	5.5
486	18	25	4		327.2072	30552.867	-0.013	1586.90	2.5	32139.78	2.5
521	5	50	4		327.7671	30500.678	-0.002	1586.90	2.5	32087.58	3.5
482	138	60	3		328.5664	30426.482	-0.018	1586.90	2.5	32013.40	2.5
497	-8	80	5		329.6016	30330.922	-0.018	2805.36	4.5	33136.30	4.5
639	340		2	çs	330.9741	30205.149	-0.011	9043.14	2.5	39248.30	2.5
474	185	120	4		331.2604	30179.044	-0.026	2154.11	3.5	32333.18	3.5
262	-539	50	2		332.6619	30051.904	0.014	9328.88	4.5	39380.77	4.5
895	227	200	4		334.1987	29913.716	-0.094	1142.79	1.5	31056.6	2.5
277	26	150	11		334.3709	29898.311	0.011	1586.90	2.5	31485.20	3.5
401	-281	200	8		334.9063	29850.516	-0.004	2154.11	3.5	32004.63	4.5
329	1	80	3		335.4739	29800.012	-0.018	2805.36	4.5	32605.39	4.5
488	-405	250	5		335.8417	29767.378	0.018	2805.36	4.5	32572.72	5.5
499	-35	40	2		338.0399	29573.813	0.103	1142.79	1.5	30716.50	2.5
492	-270	400	2		358.0282	27922.789	-0.071	1050.26	4.5	28973.12	3.5

EK 2: Sınıflandırılan Nb II spektral çizgileri. W: Çizgi genişliği, S/N: Spektral geçişin FT’de gözlenen sinyal/gürültü oranı, λ_{hava} : Havadaki ağırlık merkezi dalgaboyu, σ_{vakum} : Vakumdaki dalgasayısı, $\Delta\sigma = \sigma_{\text{vak}} - |E_{\text{üst}} - E_{\text{alt}}|$, E_{alt} : Alt seviyenin enerjisi, J_{alt} : Alt seviyenin J kuantum sayısı, $E_{\text{üst}}$: Üst seviyenin enerjisi, $J_{\text{üst}}$: Üst seviyenin J kuantum sayısı, yç: Yeni çizgi, ys: yeni sınıflandırma, çs: Hem yeni çizgi hem yeni sınıflandırma.

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	E_{alt} (cm^{-1})	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	J üst
517	0		4	çs	224.2294	44583.348	0.067	20657.775	2	65241.056	2
656	162	50	2		224.2580	44577.663	0.013	1224.823	4	45802.473	3
1226	0	60	2	ys	224.8282	44464.617	-0.011	21072.981	5	65537.609	4
849	-610	100	3		225.0463	44421.529	0.011	7505.765	2	51927.283	2
690	0	250	9		225.2210	44387.076	0.007	16052.672	5	60439.741	5
433	146	60	3		225.4952	44333.106	-0.024	438.361	2	44771.491	3
589	-343	200	13		225.5597	44320.430	0.022	2629.132	2	46949.540	3
645	-539	80	4		226.2131	44192.426	-0.009	9509.604	4	53702.039	3
605	180	15	2		226.3312	44169.368	-0.018	801.326	3	44970.712	4
16	0	150	3		226.4556	44145.107	-0.019	15949.370	4	60094.496	4
1265	-1070	100	3		226.6732	44102.733	0.026	10918.474	5	55021.181	5
1164	-195	150	4		227.0180	44035.755	0.067	7900.644	3	51936.332	3
580	180	150	15		227.3566	43970.179	0.014	801.326	3	44771.491	3
1314	20	100	3		227.4128	43959.314	0.097	8320.373	4	52279.590	4
445	0	60	9		227.4198	43957.961	0.011	15551.252	3	59509.202	3
672	-544	30	3		228.1136	43824.276	-0.019	10604.229	4	54428.524	4
326	0	80	9	ys	228.1830	43810.949	0.030	21072.981	5	64883.960	4
345	146	300	25		228.3004	43788.422	-0.107	438.361	2	44226.890	2
881	180	60	6		228.5223	43745.906	0.017	1224.823	4	44970.712	4
398	162	300	62		229.5680	43546.658	-0.010	1224.823	4	44771.491	3
1098	-984	50	3		229.7611	43510.063	0.013	10918.474	5	54428.524	4

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	E_{alt} (cm^{-1})	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	J üst
963	0	30	4		230.0339	43458.468	0.027	12263.221	2	55721.662	2
718	0	50	8		230.0785	43450.045	0.054	0.000	0	43449.991	2
302	144	200	51		230.2086	43425.492	0.009	801.326	3	44226.809	2
999	162	40	2		230.2695	43414.008	0.079	1224.823	4	44638.752	3
469	82	100	20		230.9239	43290.990	-0.017	158.984	1	43449.991	1
825	0		2	çs	230.9278	43290.259	-0.006	16218.937	4	59509.202	3
840	87	15	3		231.3526	43210.779	-0.053	438.361	2	43649.193	1
429	-136	50	10		231.4853	43186.010	-0.014	7261.324	2	50447.348	2
821	146	20	4		231.5173	43180.041	0.011	438.361	2	43618.391	2
613	-489	25	6		231.9593	43097.769	-0.141	10604.229	4	53702.139	3
1020	-24	30	4		232.1996	43053.171	0.013	6192.310	1	49245.468	2
944	0	10	4	ys	232.3515	43025.028	-0.050	19689.438	3	62714.516	2
1036	0	40	4		232.4064	43014.865	0.013	17424.889	6	60439.741	5
389	87	60	19		232.4237	43011.663	0.033	438.361	2	43449.991	1
942	0	20	6		232.6225	42974.909	0.011	21472.467	4	64447.365	3
848	0		2	çs	232.8240	42937.719	0.047	19351.948	2	62289.620	3
788	0	30	4		233.5619	42802.076	0.059	17292.479	5	60094.496	4
1546	-317		4	çs	234.4517	42639.645	0.001	38024.336	5	80663.980	6
799	-136	50	5		234.6537	42602.942	-0.030	7261.324	2	49864.296	3
1271	0	3	3	ys	234.6691	42600.147	-0.035	19689.438	3	62289.620	3
668	-136	60	6		235.2340	42497.853	-0.017	7261.324	2	49759.194	3
3088	-984	60	6		235.2837	42488.877	0.082	10918.474	5	53407.269	4
794	-526	50	3		235.4040	42467.166	0.028	9812.452	5	52279.590	4

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	J üst
450	-489	40	4		235.6011	42431.641	0.048	10604.229	4	53035.390	3
900	-82	50	2		235.6295	42426.527	0.139	7261.324	2	49687.712	1
736	-885	80	8		236.0302	42354.507	0.062	14790.755	4	57145.200	4
893	-610	70	3		236.5215	42266.536	0.054	7505.765	2	49772.247	2
736	-885	80	8		236.0302	42354.507	0.062	14790.755	4	54145.200	4
911	18	3	3		236.5305	42264.928	0.048	38291.252	4	80556.132	5
1018	0	20	2	ys	236.6198	42248.979	0.015	19351.948	2	61600.912	2
1299	-366	100	5		236.9954	42182.026	0.079	7505.765	2	49687.712	1
531	0	100	29		237.6396	42067.687	0.008	11339.590	3	53407.269	4
900		10	2		238.0148	42001.378					
811	82	3	2		238.1717	41973.711	0.049	158.984	1	42132.646	1
860	0	80	12		238.7101	41879.049	-0.006	10835.837	2	52714.892	3
298	-156	80	30		238.7527	41871.577	-0.026	7900.644	3	49772.247	2
701	-195	40	7		238.8269	41858.569	0.019	7900.644	3	49759.194	3
280	-517		9	çs	239.0459	41820.224	-0.185	38984.387	2	80804.796	2
926	-100	20	3		239.1912	41794.821	0.027	13665.686	4	55460.480	3
1020	0	20	3	ys	240.4210	41581.049	-0.019	19689.438	3	61270.506	2
847	0		1	çs	240.4292	41579.631	-0.031	20437.503	1	62017.165	1
1538	0	50	5		240.5344	41561.448	-0.094	10653.427	1	52214.969	1
1399	0	60	8		240.5850	41552.707	-0.016	10835.837	2	52388.560	2
948		20	5		240.7685	41521.040					

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	J üst
516	0	20	3		241.0278	41476.375	0.072	10653.427	1	52129.730	0
619	-1568		3	çs	241.0309	41475.842	-0.018	4146.037	5	45621.897	4
739	0	5	3	ys	241.2279	41441.973	-0.054	30193.693	4	71635.720	4
464	0	150	24		241.2465	41438.778	-0.040	12263.221	2	53702.039	3
497	0		2	çs	241.5938	41379.213	0.081	10835.837	2	52214.969	1
1627	0	30	5		241.6169	41375.257	-0.045	11339.590	3	52714.892	3
651	-545	3	4		241.6247	41373.921	0.093	13054.696	3	54428.524	4
531	-91	2	4		241.6677	41366.560	0.002	12805.965	2	54172.527	1
462	-984	150	39		241.6990	41361.204	0.088	10918.474	5	52279.590	4
736	-110	20	7		241.7323	41355.506	0.011	13665.686	4	55021.181	5
393	-489	150	49		241.8690	41332.135	0.032	10604.229	4	51936.332	3
837	-506	10	3		241.9473	41318.760	-0.086	12805.965	2	54124.811	2
695	0	8	3	ys	242.8603	41163.439	0.030	20437.503	1	61600.912	2
981	0	30	2	ys	243.1679	41111.373	-0.008	21511.376	2	62622.757	1
388	-539	60	18		243.3800	41075.548	-0.076	9509.604	4	50585.228	3
725	0	10	4		243.5077	41054.008	0.009	13118.528	1	54172.527	1
573	0	5	2		243.5374	41049.002	0.032	11339.590	3	52388.560	2
934	-526	50	5		243.5952	41039.263	0.052	9812.452	5	50851.663	4
875	-366	50	4		243.7420	41014.548	-0.061	7505.765	2	48520.374	1
721	-545	8	3		244.0976	40954.802	0.013	13054.696	3	54009.485	3
1190	0	30	2		244.1856	40940.044	0.044	11339.590	3	52279.590	4
453	-33	40	13		244.2150	40935.116	-0.054	10246.955	3	51182.125	2

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	E_{alt} (cm^{-1})	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	J üst
955	0	40	6		244.2680	40926.235	-0.028	16218.937	4	57145.200	4
920	-506	10	5		244.4481	40896.084	0.010	12805.965	2	53702.039	3
334	0		12	çs	244.5819	40873.713	-0.010	30193.693	4	71067.416	5
1151	20	15	2		244.7981	40837.617	-0.103	8320.373	4	49158.093	4
1117	0	20	2	ys	244.8258	40832.997	-0.006	20437.503	1	61270.506	2
661	0	5	3		245.0075	40802.717	-0.036	18819.520	1	59622.273	1
866	0	10	7		245.0256	40799.703	-0.022	14660.755	2	55460.480	3
716	0	10	4		245.0437	40796.690	0.021	5562.241	0	46358.910	1
715	0	60	9		245.1881	40772.665	-0.044	12263.221	2	53035.930	3
1146	-526	15	4		245.3863	40739.735	-0.050	9812.452	5	50552.237	4
448	-420	20	14		245.3950	40738.291	-0.005	13690.228	3	54428.524	4
498	0		5	çs	245.4054	40736.564	-0.012	31762.197	3	72498.773	2
662	-797	55	12		245.8090	40669.683	-0.042	14790.755	4	55460.480	3
1209	-430	6	3		245.6676	40693.090	0.023	13479.460	2	54172.527	1
379	-41	60	19		246.2047	40604.323	0.02	29432.159	3	70036.462	4
1167	-717	8	3		246.6563	40529.987	-0.038	13479.460	2	54009.485	3
835	0	20	8		247.1262	40452.926	0.213	29432.159	3	69884.872	3
687	-337	20	7		247.2384	40434.569	-0.014	13690.228	3	54124.811	2
358	-24	150	38		247.7386	40352.935	-0.006	6192.310	1	46545.251	2
1058	-311	20	6		247.7947	40343.800	0.001	13665.686	4	54009.485	3
667	-41	60	12		247.8283	40338.331	0.058	10246.955	3	50585.228	3
569	-171	80	19		247.9933	40311.494	0.043	10186.390	6	50497.841	5
1021	-610	15	2		248.3720	40250.034	0.043	7505.765	2	47755.756	2

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	J _{alt}	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	J _{üst}
972	-544	50	6		248.3878	40247.474	0.040	10604.229	4	50851.663	4
939	-506	30	5		248.4931	40230.420	-0.006	14790.755	4	55021.181	5
809	-717	8	3		248.5420	40222.505	-0.074	13479.460	2	53702.039	3
727	-195	5	3		248.8234	40177.020	-0.015	7900.644	3	48077.679	3
1032	0	30	7	ys	249.0111	40146.737	-0.071	29004.877	2	69151.685	3
1064	0	30	6		249.0217	40145.029	-0.017	19351.948	2	59496.994	2
1043	-341	3	2	ys	249.6806	40039.094	-0.051	21039.529	1	61078.674	1
786	-100	4	2		249.6976	40036.369	0.016	13665.686	4	53702.039	3
785	0	30	8		249.8244	40016.049	-0.007	19689.438	3	59705.494	3
752	-312	10	4		250.0437	39980.956	-0.043	10604.229	4	50585.228	3
990	-544	40	4		250.2500	39947.999	-0.009	10604.229	4	50552.237	4
763	0		3	çs	250.8069	39859.303	0.020	39791.900	0	79651.183	2
285	0	120	34		251.1004	39812.716	-0.013	5562.241	0	45374.970	1
618	-136		2	çs	251.1077	39811.559	-0.082	7261.324	2	47072.965	2
1057	0	10	4		251.7487	39710.198	0.015	19689.438	3	59399.621	4
393	-599	150	36		252.1400	39648.575	0.086	9509.604	4	49158.093	4
660	0		3	çs	252.1664	39644.425	0.224	5562.241	0	45206.442	0
629	-984	8	5		252.2344	39633.738	-0.025	10918.474	5	50552.237	4
628	0	3	2		252.2885	39625.239	-0.014	15395.928	6	55021.181	5
360	-506		18	çs	252.5606	39582.551	-0.044	12805.965	2	52388.560	2
533	-1070	100	25		252.5806	39579.417	0.050	10918.474	5	50497.841	5
751	-717	4	9		252.7277	39556.382	-0.088	13479.460	2	53035.930	3

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	E_{alt} (cm^{-1})	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	J üst
876	0	30	6		252.7914	39546.415	0.087	14626.199	1	54172.527	1
516	0		15	çs	252.9307	39524.652	0.056	12263.221	2	51787.817	1
359	0	80	30		253.0975	39498.590	-0.022	14626.199	1	54124.811	2
406	0	80	15		253.1255	39494.221	0.012	14678.318	0	54172.527	1
748	0	30	7		253.3193	39464.008	-0.048	14660.755	2	54124.811	2
791	-100	10	3		253.9224	39370.282	0.038	13665.686	4	53035.930	3
449	0	80	35		254.0611	39348.790	0.060	14660.755	2	54009.485	3
619	34	50	13		254.1424	39336.203	0.008	1224.823	4	40561.018	4
324	-136	200	100		254.4803	39283.976	0.049	7261.324	2	46545.251	2
816	0		8	çs	254.5658	39270.783	0.130	44771.491	3	84042.144	4
431	0	2	2		254.7556	39241.527	-0.016	16218.937	4	55460.480	3
800	-797	30	6		254.8635	39224.930	0.036	13054.696	3	52279.590	4
570	0		3	çs	254.9330	39214.221	-0.032	44532.344	6	83746.597	7
307	-24	120	31		255.1382	39182.685	0.025	6192.310	1	45374.970	1
659	-506	8	4		255.4793	39130.374	0.007	12805.965	2	51936.332	3
429	-599	60	18		255.5626	39117.620	0.032	9509.604	4	48627.192	4
352	-82	120	48		255.6940	39097.519	-0.067	7261.324	2	46358.910	1
549	0	20	12		256.0622	39041.303	0.019	14660.755	2	53702.039	3
335	0	120	35		256.2402	39014.184	0.052	6192.310	1	45206.442	0
761	0		4	çs	256.2458	39013.332	-0.022	25353.523	3	64366.842	2
685	0		4	çs	256.3805	38992.836	0.039	43290.338	2	82283.135	3
608	-599	10	5		256.3913	38991.194	0.034	9509.604	4	48500.764	5

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	E_{alt} (cm^{-1})	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	J üst
1566	0	15	4		256.4070	38988.806	0.035	18819.520	1	57808.291	2
638	0		2	çs	256.4659	38979.853	-0.177	24332.792	2	63312.822	3
1140	524		2	çs	256.4749	38978.485	-0.108	801.326	3	39779.919	3
517	0	15	10		256.4842	38977.072	-0.009	21117.415	3	60094.496	4
1595	0	20	4		256.5485	38967.303	0.029	21472.467	4	60439.741	5
668	0	4	3		256.5675	38964.418	-0.080	20657.775	2	59622.273	1
394	-287		13	çs	256.7286	38939.969	0.086	10246.955	3	49186.838	4
818	-610	10	3		256.8409	38922.944	0.064	7505.765	2	46428.645	3
832	512	60	10		257.1330	38878.731	-0.051	1224.823	4	40103.605	5
800	-491	5	2		257.3027	38853.090	-0.055	7505.765	2	46358.910	1
513	0	15	8		257.3136	38851.445	0.018	20657.775	2	59509.202	3
1418	-610	5	3		257.4074	38837.288	-0.040	7505.765	2	46343.093	2
694	393	40	13		257.4843	38825.690	0.003	19689.438	3	58515.125	4
708	0	6	3		257.5965	38808.780	0.025	13118.528	1	51927.283	2
541	-599	30	13		258.0284	38743.824	0.015	9509.604	4	48253.413	4
255	-572	250	390		258.3990	38688.260	-0.052	9812.452	5	48500.764	5
1362	0		3	çs	2584.104	38686.554	0.129	18819.520	1	57505.945	2
478	-156	4	2		258.6911	38644.578	-0.029	7900.644	3	46545.251	2
956	0	8	2		258.7409	38637.141	-0.067	18507.992	3	57145.200	4
627	18	4	13		258.7965	38628.840	-0.072	46949.540	3	85578.452	4
1193	-110	8	2		258.8966	38613.906	0.002	13665.686	4	52279.590	4
283.3	-427		50	çs	258.9264	38609.462	0.022	45655.797	2	84265.237	3
387.2	-171	200	144		259.0940	38584.488	0.040	10186.390	6	48770.838	6

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	J üst
506	-539	4	6		259.2044	38568.056	-0.019	9509.604	4	48077.679	3
758	-544		7	çs	259.2990	38553.852	-0.012	10604.229	4	49158.093	4
1248	0		4	çs	259.3764	38542.482	0.021	19351.948	2	57894.409	3
1426	622	10	3		259.4337	38533.969	0.025	801.326	3	39335.270	4
445	-15	50	24		259.4736	38528.044	0.043	7900.644	3	46428.645	3
490	0		17	çs	259.5651	38514.463	-0.024	45655.797	2	84170.284	2
1022	0	6	3		259.8037	38479.094	-0.060	15949.370	4	54428.524	4
755	0		4	çs	259.9006	38464.749	0.025	41710.143	2	80174.867	3
858	0	3	2		259.9500	38457.440	-0.025	21039.529	1	59496.994	2
562	0		4	çs	259.9903	38451.479	-0.021	36553.238	3	75004.738	4
1109	-24	10	3		260.0153	38447.782	-0.041	13479.460	2	51927.283	2
488	-171	100	35		260.1285	38431.052	0.038	10186.390	6	48617.404	6
340	0		11	çs	2602.011	38420.330	0.083	45621.897	4	84042.144	4
487	-610	4	2		260.2485	38413.333	0.036	7505.765	2	45919.062	3
796	-195	10	3		260.3731	38394.951	-0.010	7900.644	3	46295.605	4
928	0	10	6		260.4777	38379.534	-0.045	21117.415	3	59496.994	2
1252	-506	10	3		260.5013	38376.057	-0.086	43449.991	1	81826.134	2
648	0	5	2		260.5077	38375.114	-0.061	14660.755	2	53035.930	3
529	-491		2	çs	260.8886	38319.090	-0.008	43290.338	2	81609.436	3
837	-432	10	6		260.8958	38318.032	0.009	9812.452	5	48130.475	5
514	0		4	çs	261.0161	38300.373	0.078	27282.109	2	65582.404	3
880	0		4	çs	261.1334	38283.170	-0.117	45342.236	5	83625.523	6

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	E_{alt} (cm^{-1})	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	J üst
997	0		3	çs	261.1410	38282.056	-0.150	2117.415	3	59399.621	4
542	0		4	çs	261.3574	38250.361	-0.008	45655.797	2	83906.166	3
1068	-797	6	4		261.3927	38245.195	0.020	14790.755	4	53035.930	3
1097	-427	8	2		261.4304	38239.680	0.009	45802.473	3	84042.144	4
965	0	10	5		261.4759	38233.027	0.000	21472.467	4	59705.494	3
482	0		19	çs	261.5852	38217.052	0.054	27794.022	1	66011.128	1
438	0	15	10		261.6219	38211.692	-0.022	12263.221	2	50474.935	1
1445	0	10	3		261.7427	38194.057	-0.061	21511.376	2	59705.494	3
394	0		3	çs	261.8114	38184.036	-0.091	12263.221	2	50447.348	2
801	0	80	3		262.0398	38150.756	-0.031	1551.252	3	53702.039	3
655	-610	80	15		262.0440	38150.144	0.112	7505.765	2	45655.797	2
378	-82	20	9		262.2952	38113.610	-0.036	7261.324	2	45374.970	1
1220	671	5	2		262.3170	38110.443	-0.004	1224.823	4	39335.270	4
769	18	6	4		262.3321	38108.249	-0.023	8320.373	4	46428.645	3
566	0	2	2		262.4330	38093.598	-0.036	6192.310	1	44285.944	0
624	0		2	çs	262.4962	38084.427	-0.007	36553.238	3	74637.672	2
899	0	4	2		262.6401	38063.562	-0.035	13118.528	1	51182.125	2
88	0	4	7		262.6636	38060.157	0.042	15949.370	4	54009.485	3
955	-24	3	3		262.8408	38034.499	0.000	6192.310	1	44226.809	2
954	-544	3	3		262.9205	38022.970	0.007	10604.229	4	48627.192	4
361	0		21	çs	262.9885	38013.139	0.215	45621.897	4	83634.821	4
722	-885	20	6		263.0983	37997.276	-0.017	14790.755	4	52788.048	5

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	J üst
881	-136		3	çs	263.1163	37994.677	-0.205	35520.822	2	73515.704	3
1011	-479		4	çs	263.1285	37992.915	0.017	34632.033	4	72624.931	4
563	0	3	3		263.1442	37990.649	-0.121	17469.77	4	55460.54	3
923	20	60	11		263.2510	37975.237	0.027	8320.4	4	46295.61	4
735	0		3	çs	263.3315	37963.629	-0.042	47345.114	4	85308.785	4
822	0		7	çs	263.3543	37960.342	-0.060	43618.391	2	81578.793	3
548	0		2	çs	263.3597	37959.564	0.205	25353.523	3	63312.822	3
577	0		2	çs	263.3633	37959.045	0.098	27282.109	2	65241.056	2
461	0		3	çs	263.3787	37956.826	-0.002	24332.792	2	62289.62	3
735	0		3	çs	263.3874	37955.572	0.041	25357.291	4	63312.822	3
288	0		13	çs	263.4975	37939.714	-0.002	41710.143	2	79649.859	3
1236	-820		4	çs	263.7585	37902.173	0.030	33351.09	2	71253.233	2
531	0		4	çs	263.8131	37894.329	-0.049	41710.143	2	79604.521	2
8615	0	7	8		263.8574	37887.967	0.217	5562.241	0	43449.991	1
1463	-250		5	çs	264.0114	37865.868	0.062	34886.354	1	72752.16	0
903	0		4	çs	264.0284	37863.430	-0.115	42868.874	4	80732.419	4
444	0		3	çs	264.2454	37832.338	-0.010	45802.473	3	83634.821	4
1761	-479		3	çs	264.2702	37828.788	0.152	34632.033	4	72460.669	5
673	0		2	çs	264.3097	37823.135	0.022	42596.554	0	80419.667	1
757	-492		4	çs	264.5326	37791.267	0.006	33919.244	3	71710.505	2
814	-506	200	2		264.6172	37779.185	-0.145	12805.965	2	50585.228	3
827	0		3	çs	264.7194	37764.601	-0.030	44638.752	3	82403.383	4
583.7	0		2	çs	264.9929	37725.626	-0.053	43618.391	2	81344.07	2

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	J üst
370	-82		9	çs	265.1196	37707.598	-0.015	35520.822	2	73228.435	1
867	0		2	çs	265.1497	37703.318	-0.184	44970.712	4	82674.214	3
909	0		3	çs	265.2658	37686.817	0.055	29634.139	4	67320.901	3
994	0		5	çs	265.3275	37678.054	0.107	46499.603	5	84177.55	5
1531	-544	2	2		265.5314	37649.122	-0.038	10604.229	4	48253.418	4
751	-375	8	11		265.5870	37641.241	0.086	35474.197	5	73115.352	5
312	82	80	310		265.6080	37638.265	-0.067	158.984	1	37797.316	2
779	-221		3	çs	265.6827	37627.683	-0.154	37376.901	3	75004.738	4
651	0		3	çs	265.7828	37613.513	0.014	46428.645	3	84042.144	4
1019	0		3	çs	265.7963	37611.603	-0.029	36553.238	3	74164.87	4
665	-221		4	çs	265.8475	37604.359	0.011	37376.901	3	74981.249	3
778	0	1	2		265.8712	37601.007	-0.068	12263.221	2	49864.296	3
1428	18	5	5		265.8875	37598.702	0.013	8320.373	4	45919.062	3
1286	-402		3	çs	265.9452	37590.545	0.160	36731.805	1	74322.19	1
1639	-1070	15	4		266.0043	37582.194	-0.096	10918.474	5	48500.764	5
720	0		8	çs	266.1590	37560.351	0.032	36553.238	3	74113.557	2
790	-431		3	çs	266.2252	37551.012	-0.045	34632.033	4	72183.09	3
480	-820		21	çs	266.2722	37544.384	-0.030	33351.09	2	70895.504	3
310	-526	10	13		266.3554	37532.658	-0.004	9812.452	5	47345.114	4
704	-545	2	2		266.3707	37530.502	-0.030	13054.696	3	50585.228	3
760	0		4	çs	266.5043	37511.689	0.045	44771.491	3	82283.135	3
605	-136		3	çs	266.5154	37510.126	-0.041	7261.324	2	44771.491	3
324	-33	80	106		266.5250	37508.775	-0.026	10246.955	3	47755.756	2

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	J üst
1111	-85		3	çs	266.5618	37503.597	0.066	14626.199	1	52129.73	0
942	0	2	3		266.6159	37495.988	0.015	12263.221	2	49759.194	3
352	180	50	45		266.6595	37489.858	0.238	801.380	3	38291.000	4
394	0	5	17		266.7080	37483.040	-0.062	16218.937	4	53702.039	3
633	18	6	12		266.7149	37482.071	-0.029	8320.373	4	45802.473	3
267	-155	30	102		266.7293	37480.047	-0.029	0.00	0	37480.076	1
337	-489	35	101		266.7764	37473.431	-0.019	10604.229	4	48077.679	3
674	0		7	çs	266.7879	37471.815	-0.060	42132.646	1	79604.521	2
703	0	4	4		266.7995	37470.186	-0.050	12263.221	2	49733.457	1
702	0	5	3	ys	266.8499	37463.110	-0.090	25357.291	4	62820.491	4
505	-41		2	çs	266.8615	37461.481	-0.018	10246.955	3	47708.454	4
393	-169		13	çs	266.9231	37452.837	-0.030	37528.382	4	74981.249	3
520	0		3	çs	266.9448	37449.792	0.077	42132.646	1	79582.361	1
590	-230		17	çs	266.9500	37449.063	-0.075	42868.874	4	80318.012	5
1038	-539	3	6		267.0153	37439.905	0.105	9509.604	4	46949.540	3
490	446		20	çs	267.0522	37434.732	0.034	44771.491	3	82206.189	4
449	0		2	çs	267.0633	37433.176	-0.028	47708.454	4	85141.658	3
435	0	12	11		267.1254	37424.474	-0.017	12263.221	2	49687.712	1
840	-610	2	2		267.1662	37418.759	-0.079	7505.765	2	44924.603	2
294	180	200	188		267.1927	37415.048	-0.013	801.326	3	38216.387	3
518	-292		8	çs	267.3013	37399.848	-0.012	38024.336	5	75424.196	4
294	0	250	143		267.3566	37392.113	-0.007	15395.928	6	52788.048	5

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	E_{alt} (cm^{-1})	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	J üst
978	0	3	4	ys	267.4825	37374.514	0.096	25353.523	3	62727.941	3
643	0		3	çs	267.4991	37372.195	-0.033	43567.902	5	80940.130	5
450	146	80	93		267.5941	37358.928	-0.027	438.361	2	37797.316	2
489	0	5	8		267.6123	37356.387	-0.020	13118.528	1	50474.935	1
586	0		3	çs	267.6239	37354.768	-0.037	43449.991	1	80804.796	2
1047	0		6	çs	267.6650	37349.033	-0.024	48500.764	5	85849.821	5
432	-984	15	13		267.7662	37334.918	-0.026	10918.474	5	48253.418	4
1059	0	6	5		267.8100	37328.812	-0.008	13118.528	1	50447.348	2
432	0		3	çs	267.8139	37328.268	-0.058	44066.665	1	81394.991	1
1491	0	15	46		267.8693	37320.549	-0.096	44771.491	3	82092.136	2
974	20	50	14		268.0048	37301.681	0.157	8320.373	4	45621.897	4
834	0	8	4	ys	268.2462	37268.114	-0.006	24332.792	2	61600.912	2
1083	-177		4	çs	268.2994	37260.725	-0.046	37376.901	3	74637.672	2
708	-24	6	5		268.3215	37257.656	-0.025	6192.310	1	43449.991	1
624	-136		4	çs	268.6011	37218.875	-0.015	35520.822	2	72739.712	3
402	0	100	38		268.6389	37213.638	-0.032	18507.992	3	55721.662	2
291	-1070		14	çs	268.6497	37212.142	0.141	10918.474	5	48130.475	5
1177	-287		4	çs	268.6814	37207.752	-0.057	38216.387	3	75424.196	4
498	0		3	çs	268.8537	37183.908	-0.025	37797.316	2	74981.249	3
622	0	2	2		269.0150	37161.614	-0.004	14626.199	1	51787.817	1
442	-67	4	8		269.0934	37150.788	0.001	2629.132	2	39779.919	3
290	0	60	94		269.1770	37139.250	-0.008	158.984	1	37298.242	0

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	J üst
690	0	10	9		269.2005	37136.008	-0.037	17292.479	5	54428.524	4
304	0		22	çs	269.2228	37132.933	-0.011	38291.252	4	75424.196	4
552	203	3	3		269.2646	37127.169	-0.039	30193.693	4	67320.901	3
455	0		9	çs	269.3358	37117.354	0.093	44226.809	2	81344.070	2
537	0		2	çs	269.3921	37109.598	0.099	14678.318	0	51787.817	1
675	0		7	çs	269.4072	37107.518	-0.031	48770.838	6	85878.387	6
1130	-155	4	3	ys	269.4313	37104.199	-0.026	10604.229	4	47708.454	4
771	-24	4	3		269.4757	37098.086	0.058	6192.310	1	43290.338	2
785	0		3	çs	269.4817	37097.260	-0.059	47072.965	2	84170.284	2
386	0		15	çs	269.4904	37096.062	-0.016	43567.902	5	80663.98	6
344	180	200	387		269.7061	37066.396	-0.033	1224.823	4	38291.252	4
646	-506	2	3		269.7651	37058.290	-0.041	12805.965	2	49864.296	3
426	-479		37	çs	269.8049	37052.823	-0.017	34632.033	4	71684.873	5
302	87	100	147		269.8861	37041.676	-0.039	438.361	2	37480.076	1
439	0	15	23		270.0154	37023.939	-0.009	37298.242	0	74322.190	1
1385	20	3	2		270.0306	37021.855	-0.008	8320.373	4	45342.236	5
1727	-249	7	7		270.0552	37018.483	-0.017	3542.561	4	40561.018	4
507	-545	10	9		270.0872	37014.097	-0.006	13054.696	3	50068.799	3
274	0	60	140		270.2196	36995.962	-0.011	44226.809	2	81222.782	3
274	162	40	76		270.2518	36991.555	-0.009	1224.823	4	38216.387	3
479	-375		11	çs	270.2890	36986.464	-0.008	35474.197	5	72460.669	5

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	E_{alt} (cm^{-1})	J_{alt}	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	$J_{\text{üst}}$
506	0		16	çs	270.3185	36982.428	0.181	12263.221	2	49245.468	2
574	0		4	çs	270.4119	36969.655	-0.021	43449.991	1	80419.667	1
834	-717	20	10		270.4250	36967.864	-0.024	13479.460	2	50447.348	2
943	-506		3	çs	270.4368	36966.251	-0.031	12805.965	2	49772.247	2
820	-136	5	2		270.4430	36965.403	-0.082	7261.324	2	44226.809	2
670	0		2	çs	270.4519	36964.187	-0.006	44226.809	2	81191.002	3
1435	0		5	çs	270.4673	36962.083	0.223	25414.104	2	62375.964	2
724	-506	4	3		270.5326	36953.161	-0.068	12805.965	2	49759.194	3
628	-481		3	çs	270.5465	36951.263	0.003	48627.192	4	85578.452	4
587	322	20	12		270.6397	36938.539	-0.001	438.361	2	37376.901	3
833	0		3	çs	270.6461	36937.665	-0.049	24332.792	2	61270.506	2
914	0		5	çs	270.6576	36936.096	-0.001	25353.523	3	62289.62	3
519	0		3	çs	270.6636	36935.277	-0.014	48500.764	5	85436.055	5
627	-304	3	3		270.7215	36927.378	-0.114	12805.965	2	49733.457	1
410	-539	20	12		270.7828	36919.019	-0.022	9509.604	4	46428.645	3
641	0		2	çs	270.8224	36913.621	-0.207	11339.590	3	48253.418	4
858	0		2	çs	270.9116	36901.467	-0.064	44924.603	2	81826.134	2
790	0		4	çs	270.9214	36900.133	0.006	43449.991	1	80350.118	2
762	-420	3	3		270.9600	36894.876	-0.124	13690.228	3	50585.228	3
640	0		3	çs	271.0361	36884.518	-0.011	43290.338	2	80174.867	3
816	0		7	çs	271.0903	36877.144	-0.022	44532.344	6	81409.51	6

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	J üst
503	-195	5	3		271.1369	36870.806	-0.041	7900.644	3	44771.491	3
1017	-33		7	çs	271.4672	36825.947	-0.063	10246.955	3	47072.965	2
76	0		35	çs	271.5318	36817.186	0.188	37298.242	0	74115.24	0
434	-545	40	37		271.5883	36809.527	-0.073	13054.696	3	49864.296	3
610	262	15	14		271.6305	36803.809	0.019	158.984	1	36962.774	2
705	471	150	78		271.6623	36799.501	-0.012	1224.823	4	38024.336	5
500	-984	10	28	ys	271.7329	36789.941	-0.039	10918.474	5	47708.454	4
352	-599	8	10		271.7622	36785.974	-0.027	9509.604	4	46295.605	4
893	0		7	çs	271.8778	36770.334	-0.140	43649.193	1	80419.667	1
311	0		8	çs	271.9184	36764.844	-0.018	38216.387	3	74981.249	3
378	-375		47	çs	271.9732	36757.437	-0.024	35474.197	5	72231.658	6
1067	-538	7	6		272.0259	36750.316	0.026	3029.629	3	39779.919	3
810	-544	6	7		272.0959	36740.862	-0.023	10604.229	4	47345.114	4
419	-195	6	8		272.1161	36738.135	0.027	7900.644	3	44638.752	3
594	-177		2	çs	272.1266	36736.718	0.062	37376.901	3	74113.557	2
1188	0	8	10		272.1647	36731.575	-0.152	43618.391	2	80350.118	2
567	348	150	102		272.1985	36727.014	-0.042	801.326	3	37528.382	4
877	-436	6	3		272.2690	36717.505	-0.046	13054.696	3	49772.247	2
580	0		3	çs	272.2987	36713.500	0.014	38291.252	4	75004.738	4
377	-223		25	çs	272.3568	36705.669	-0.018	36455.456	6	73161.143	6
539	-545	40	11		272.3659	36704.442	-0.056	13054.696	3	49759.194	3
1105	-41		2	çs	272.3797	36702.583	-0.002	10246.955	3	46949.54	3

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	J üst
633	-572	6	3		272.4947	36687.094	-0.057	9812.452	5	46499.603	5
390	0		2	çs	272.6572	36665.231	0.014	48770.838	6	85436.055	5
713	-223		6	çs	272.6970	36659.880	-0.015	36455.457	6	73115.352	5
444	-317		4	çs	272.7286	36655.632	-0.024	38024.336	5	74679.992	6
363	0		11	çs	272.7725	36649.733	-0.012	45342.236	5	81991.981	6
967	0		4	çs	272.8812	36635.135	-0.029	37480.076	1	74115.24	0
497	-136	2	3		272.9513	36625.727	-0.027	7261.324	2	43887.078	3
496	0	60	16		273.0321	36614.888	-0.041	13118.528	1	49733.457	1
375	0		19	çs	273.3010	36578.865	-0.018	44532.344	6	81111.227	7
709	484	8	16		273.3464	36572.790	-0.031	158.984	1	36731.805	1
1097	0	15	7		273.3740	36569.098	-0.013	16218.937	4	52788.048	5
1056	-366	15	5		273.4355	36560.873	-0.027	7505.765	2	44066.665	1
615	-91		3	çs	273.4680	36556.528	0.052	43618.391	2	80174.867	3
561	0	4	4		273.4724	36555.940	0.014	14626.199	1	51182.125	2
881	446	60	24		273.7078	36524.502	0.089	438.361	2	36962.774	2
600	0		3	çs	273.9766	36488.670	0.069	49389.786	7	85878.387	6
333	-526	100	75		274.0184	36483.104	-0.049	9812.452	5	46295.605	4
691	0		6	çs	274.2584	36451.180	0.016	45374.970	1	81826.134	2
691	-506	8	4		274.3462	36439.515	0.012	12805.965	2	49245.468	2
292	0		11	çs	274.4836	36421.275	-0.010	38216.387	3	74637.672	2
531	0	30	11		274.4965	36419.563	0.025	10653.427	1	47072.965	2
332	0		12	çs	274.5013	36418.927	-0.023	48130.475	5	84549.425	6

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	E_{alt} (cm^{-1})	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	J üst
1605	-1354	20	9		274.5310	36414.987	0.006	4146.037	5	40561.018	4
371	-539	40	56		274.5728	36409.444	-0.014	9509.604	4	45919.062	3
345	-223		64	çs	274.6002	36405.811	-0.002	36455.457	6	72861.27	7
636	-82	3	6		274.7360	36387.817	-0.052	7261.324	2	43649.193	1
861	-717	5	2		274.7586	36384.824	-0.012	13479.460	2	49864.296	3
847	-420	7	4		274.8057	36378.588	0.017	13690.228	3	50068.799	3
727	-136	4	7		274.9686	36357.037	-0.030	7261.324	2	43618.391	2
542	174	5	9		274.9825	36355.199	-0.056	2629.132	2	38984.387	2
450	-489	15	26		275.0575	36345.287	-0.024	10604.229	4	46949.54	3
277	0		11	çs	275.0831	36341.905	-0.001	44771.491	3	81113.397	4
1597	-156	6	4		275.2006	36326.389	0.224	7900.644	3	44226.809	2
712	18	3	3		275.2610	36318.418	0.039	8320.373	4	44638.752	3
343	-171		106	çs	275.3006	36313.195	-0.018	10186.390	6	46499.603	5
673	-354		3	çs	275.3268	36309.739	0.026	34886.354	1	71196.067	1
1489	-717	5	9		275.4543	36292.933	0.146	13479.460	2	49772.247	2
738	0		2	çs	275.4792	36289.653	-0.010	45802.473	3	82092.136	2
474	-180		80	çs	275.6619	36265.603	-0.058	36962.774	2	73228.435	1
263	-199	40	39		275.7263	36257.133	-0.020	12263.221	2	48520.374	1
1300	-845	50	8		275.8765	36237.394	0.045	3542.561	4	39779.91	3
394	0		13	çs	275.8845	36236.343	0.164	29004.877	2	65241.056	2
328	-375		3	çs	276.0799	36210.697	0.021	35474.197	5	71684.873	5
394	-430		102	çs	276.1000	36208.062	-0.190	13479.460	2	49687.712	1

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	J üst
669	0		2	çs	276.1528	36201.139	-0.053	43449.991	1	79651.183	1
459	-436	8	8		276.2321	36190.747	-0.025	13054.696	3	49245.468	2
576	-136		4	çs	276.2405	36189.647	-0.036	35520.822	2	71710.505	2
629	-82	3	4		276.2483	36188.625	-0.042	7261.324	2	43449.991	1
904	0		6	çs	276.2649	36186.450	-0.024	36553.238	3	72739.712	3
432	0		13	çs	276.3131	36180.138	-0.046	43887.078	3	80067.262	4
340	-420	15	18		276.3594	36174.077	0.009	13690.228	3	49864.296	3
615	0		3	çs	276.4213	36165.977	-0.067	44638.752	3	80804.796	2
628	382	9	10		276.5277	36152.062	-0.016	1224.823	4	37376.901	3
1111	0		4	çs	276.5411	36150.310	0.065	29432.159	3	65582.404	3
1490	-366	6	17		276.5942	36143.371	-0.057	7505.765	2	43649.193	1
418	0		2	çs	276.7044	36128.977	0.014	46545.251	2	82674.214	3
352	146	100	123		276.8125	36114.869	-0.008	438.361	2	36553.238	3
861	-610		2	çs	276.8300	36112.586	-0.040	7505.765	2	43618.391	2
404	-33	10	25		276.9563	36096.118	-0.020	10246.955	3	46343.093	2
691	-100	1	3		276.9755	36093.616	0.108	13665.686	4	49759.194	3
560	0	50	17		277.1406	36072.116	-0.103	21072.981	5	57145.2	4
403	-420	20	8		277.1646	36068.992	0.026	13690.228	3	49759.194	3
560	0		3	çs	277.1779	36067.262	-0.012	45342.236	5	81409.51	6
532	-136		4	çs	277.5167	36023.232	-0.047	35520.822	2	71544.101	3
467	0		2	çs	277.7376	35994.582	0.013	21511.376	2	57505.945	2
440	-169		2	çs	277.7924	35987.482	0.160	37528.382	4	73515.704	3

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	J üst
479	0		8	çs	277.9834	35962.756	-0.204	48500.764	5	84463.724	4
1591	-1344	150	20		278.0234	35957.583	0.015	4146.037	5	40103.605	5
711	0	4	3	ys	278.0961	35948.183	-0.082	29634.139	4	65582.404	3
375	0		4	çs	278.2122	35933.182	0.014	43649.193	1	79582.361	1
412	-136		19	çs	278.5275	35892.507	-0.083	35520.822	2	71413.412	2
732	0	8	6	ys	278.9739	35835.077	-0.039	30193.693	4	66028.809	4
437	-489	10	11		279.0570	35824.406	-0.010	10604.229	4	46428.645	3
385	0		20	çs	279.0787	35821.621	-0.024	44970.712	4	80792.357	5
680	0		2	çs	279.1250	35815.679	-0.075	49158.093	4	84973.847	3
975	0	5	3		279.1355	35814.332	-0.126	12263.221	2	48077.679	3
321	-526	80	32		279.1736	35809.444	-0.001	9812.452	5	45621.897	4
590	0		3	çs	279.2660	35797.597	-0.022	47708.454	4	83506.073	5
1038	-830	80	12		279.3044	35792.675	-0.034	3542.561	4	39335.270	4
461	0		105	çs	279.4220	35777.612	0.068	46428.645	3	82206.189	4
1241	-717		4	çs	279.5119	35766.106	0.098	13479.460	2	49245.468	2
525	0		3	çs	279.5385	35762.702	-0.079	43887.078	3	79649.859	3
1890	0	100	9		279.7685	35733.303	-0.072	11339.590	3	47072.965	2
817	0		5	çs	279.8265	35725.897	-0.048	45802.473	3	81528.418	4
791	-156	25	10		279.8907	35717.703	-0.044	7900.644	3	43618.391	2
891	-492	2	4		280.2707	35669.278	-0.190	39335.270	4	75004.738	4
343	-244		19	çs	280.3415	35660.270	0.016	49389.786	7	85050.072	8
878	-208	15	7		280.3805	35655.310	-0.021	3029.629	3	38684.96	3

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	J üst
394	0	3	11	ys	280.5810	35629.833	-0.019	36553.238	3	72183.09	3
354	-337	15	9		281.1699	35555.211	-0.029	13690.228	3	49245.468	2
455	0		2	çs	281.2088	35550.293	-0.065	48627.192	4	84177.55	5
404	0		4	çs	281.5765	35503.871	0.000	44638.752	3	80142.623	3
580	-110	30	9		281.6677	35492.376	-0.031	13665.686	4	49158.093	4
490	-186		2	çs	281.7310	35484.402	0.060	16052.672	5	51537.014	5
715	382	12	4		282.0804	35440.451	-0.049	2356.816	1	37797.316	2
490	0		2	çs	282.2563	35418.366	0.011	48253.418	4	83671.773	5
602	-33	10	3		282.3323	35408.833	-0.009	10246.955	3	45655.797	2
540	0	10	3		282.3883	35401.811	-0.035	13118.528	1	48520.374	1
590	0		4	çs	282.4220	35397.587	0.098	46428.645	3	81826.134	2
351	0		17	çs	282.4783	35390.532	-0.021	45655.797	2	81046.35	2
902	-984	8	5		282.5850	35377.170	0.039	10918.474	5	46295.605	4
564	0		4	çs	282.5975	35375.605	0.007	48130.475	5	83506.073	5
326	0		2	çs	282.6805	35365.219	-0.020	44285.944	0	79651.183	1
838	-221		4	çs	282.7009	35362.667	-0.144	37376.901	3	72739.712	3
425	164	30	47		282.7076	35361.829	-0.009	158.984	1	35520.822	2
337	162	15	8		282.9753	35328.378	-0.037	1224.823	4	36553.238	3
824	0	20	4		283.0571	35318.169	-0.064	45621.897	4	80940.13	5
412	-489	3	3		283.0836	35314.863	0.092	10604.229	4	45919	3
337	0		3	çs	283.2368	35295.762	-0.009	44771.491	3	80067.262	4
399	0		3	çs	283.3970	35275.811	-0.021	45621.897	4	80897.729	4

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	J üst
1231	-883	50	5		283.5106	35261.677	0.054	3029.629	3	38291.252	4
547	237	4	5	ys	283.6064	35249.766	-0.055	29634.139	4	64883.96	4
311	20		358	çs	283.6239	35247.592	0.063	8320.373	4	43567.902	5
770	0		6	çs	283.8955	35213.872	-0.024	45342.236	5	80556.132	5
372	0	6	11		283.9789	35203.531	-0.010	14660.755	2	49864.296	3
1177	-883	80	16		284.1141	35186.780	0.022	3029.629	3	38216.387	3
631	-343	100	30		284.2642	35168.201	0.017	2629.132	2	37797.316	2
457	-171	20	10		284.3644	35155.809	-0.037	10186.39	6	45342.236	5
395	0	40	9		284.4435	35146.034	-0.014	14626.199	1	49772.247	2
432	-317		18	çs	284.5183	35136.794	-0.013	38024.336	5	73161.143	6
383	-539	20	13		284.5803	35129.139	-0.009	9509.604	4	44638.752	3
296	0		8	çs	284.6160	35124.733	-0.026	48500.764	5	83625.523	6
580	382	60	29		284.6280	35123.253	-0.007	2356.816	1	37480.076	1
913	0	15	4		284.7250	35111.287	0.184	45802.473	3	80913.576	3
432	0	6	6		284.8012	35101.894	-0.019	15395.928	6	50497.841	5
407	0	20	15		284.8294	35098.418	-0.021	14660.755	2	49759.194	3
296	-188		18	çs	284.8446	35096.546	-0.003	37528.382	4	72624.931	4
394	-317		14	çs	284.8897	35090.990	-0.026	38024.336	5	73115.352	5
986	0		6	çs	284.8946	35090.386	-0.179	52788.048	5	87878.613	6
370	-300		3	çs	284.9460	35084.057	0.010	36962.774	2	72046.821	2
738	0	5	3		285.1290	35061.540	0.027	14626.199	1	49687.712	1
455	0		3	çs	285.1553	35058.307	0.038	47345.114	4	82403.383	4

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	J üst
528	0		2	çs	285.2668	35044.605	0.024	48627.192	4	83671.773	5
540	-587	8	3		285.5540	35009.360	-0.034	14678.318	0	49687.712	1
491	0		4	çs	285.5644	35008.085	-0.034	48617.404	6	83625.523	6
490	0		2	çs	285.6756	34994.458	-0.056	45919.062	3	80913.576	3
441	0	7	2		285.7351	34987.172	0.061	17292.479	5	52279.59	4
673	0		6	çs	285.8286	34975.727	-0.032	48770.838	6	83746.597	7
759	-342		2	çs	285.9092	34965.868	0.099	44638.752	3	79604.521	2
623	0	100	33		286.1090	34941.451	0.025	2356.816	1	37298.242	0
513	-436		2	çs	286.1359	34938.166	-0.048	50497.841	5	85436.055	5
574	0	3	3	ys	286.1650	34934.614	-0.069	29432.159	3	64366.842	2
305	-188		15	çs	286.1842	34932.270	-0.017	37528.382	4	72460.669	5
500	0		2	çs	286.2029	34929.988	0.042	45802.473	3	80732.419	4
500	0		4	çs	286.3678	34909.875	-0.032	46499.603	5	81409.510	6
609	0	60	14		286.5609	34886.352	-0.002	0.00	0	34886.354	1
890	-214		2	çs	286.7514	34863.177	-0.001	40561.018	4	75424.196	4
705	-206	300	51		286.8520	34850.950	0.006	2629.132	2	37480.076	1
728	-110	3	2		286.9815	34835.225	0.147	13665.686	4	48500.764	5
789	-675		4	çs	287.0187	34830.710	-0.034	38684.960	3	73515.704	3
619	-492		5	çs	287.0278	34829.606	0.006	39335.270	4	74164.870	4
558	0		6	çs	287.0732	34824.098	-0.002	38291.252	4	73115.352	5
437	-469		8	çs	287.1243	34817.900	0.108	46295.605	4	81113.397	4
533	0	7	3		287.2808	34798.934	-0.057	16052.672	5	50851.663	4

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	E_{alt} (cm^{-1})	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	J üst
1173	-706	300	48		287.5386	34767.735	0.048	3029.629	3	37797.316	2
568	0		14	çs	287.6329	34756.337	-0.211	50552.237	4	85308.785	4
302	-345		8	çs	287.6509	34754.163	-0.043	39779.919	3	74534.125	3
979	0		3	çs	287.6757	34751.167	-0.178	46499.603	5	81250.948	5
1618	-166	200	71		287.7039	34747.761	-0.008	2629.132	2	37376.901	3
1437	0	10	6		287.7603	34740.951	-0.022	25353.523	3	60094.496	4
1932	-544	10	7		287.7847	34738.005	-0.002	10604.229	4	45342.236	5
700	-572	15	10		287.9357	34719.789	-0.103	9812.452	5	44532.344	6
591	0		3	çs	288.0623	34704.530	0.000	49759.194	3	84463.724	4
1229	-984	100	7		288.0715	34703.422	-0.001	10918.474	5	45621.897	4
1144	0		7	çs	288.1328	34696.039	-0.076	45621.897	4	80318.012	5
350	0		2	çs	288.1811	34690.224	-0.043	30193.693	4	64883.96	4
878	0	10	4		288.2500	34681.933	-0.200	21039.529	1	55721.662	2
1599	-1189	300	45		288.3168	34673.898	0.072	3542.561	4	38216.387	3
756	0	7	2		288.6332	34635.890	0.032	15949.370	4	50585.228	3
900	-366	8	2		288.7083	34626.881	0.000	7505.765	2	42132.646	1
874	562	150	23		288.8836	34605.870	-0.088	2356.816	1	36962.774	2
1089	-110	10	4		289.0358	34587.648	-0.084	13665.686	4	48253.418	4
802	0	5	5		289.0553	34585.314	-0.027	17202.476	0	51787.817	1
335	-300		9	çs	289.0886	34581.331	0.004	36962.774	2	71544.101	3
371	-362		16	çs	289.1302	34576.355	-0.032	40103.605	5	74679.992	6
1088	0		4	çs	289.1813	34570.246	-0.237	46343.093	2	80913.576	3

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	J üst
275	-221		11	çs	289.2912	34557.113	0.012	37376.901	3	71934.002	4
346	-492		16	çs	289.4808	34534.481	-0.022	39335.270	4	73869.773	5
859	-517		7	çs	289.5076	34531.284	-0.033	38984.387	2	73515.704	3
621	0	5	3		289.5357	34527.933	-0.005	18507.992	3	53035.93	3
715	0		6	çs	289.5750	34523.247	-0.078	38216.387	3	72739.712	3
525	-402		4	çs	289.5908	34521.364	-0.064	36731.805	1	71253.233	2
274	0		16	çs	289.7601	34501.195	0.096	46545.251	2	81046.35	2
905	-714	200	24		289.7803	34498.790	0.037	3029.629	3	37528.382	4
536	0		2	çs	289.8292	34492.969	-0.021	49772.247	2	84265.237	3
1213	-1030	200	18		289.9230	34481.810	0.035	3542.561	4	38024.336	5
440	0		2	çs	290.0301	34469.078	-0.006	464.28.645	3	80897.729	4
392	-675		14	çs	290.0534	34466.309	-0.006	38684.960	3	731.51.275	4
724	0		4	çs	290.2038	34448.447	-0.013	38291.252	4	72739.712	3
285	-214		9	çs	290.2436	34443.724	0.004	40561.018	4	75004.738	4
499	0		2	çs	290.2705	34440.532	0.005	46499.603	5	80940.13	5
558	-317		2	çs	290.3062	34436.297	-0.036	38024.336	5	72460.669	5
297	0		2	çs	290.4063	34424.427	0.036	47072.965	2	81497.356	2
474	0		3	çs	290.5402	34408.563	0.019	38216.387	3	72624.931	4
272	-214		14	çs	290.6650	34393.790	-0.007	40561.018	4	74954.815	5
414	-41		9	çs	290.6816	34391.826	0.029	10246.955	3	44638.752	3
308	-345		9	çs	290.7400	34384.918	-0.033	39779.919	3	74164.87	4
461	783	200	39		290.8221	34375.212	0.223	2356.816	1	36731.805	1

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	J üst
874	-885	80	7		290.8888	34367.330	-0.008	14790.755	4	49158.093	4
378	-863	20	7		290.8980	34366.243	-0.048	16218.937	4	50585.228	3
508	0		4	çs	290.9778	34356.819	0.008	49389.786	7	83746.597	7
885	-662	400	39		291.0588	34347.258	-0.014	3029.629	3	37376.901	3
590	-171		7	çs	291.0700	34345.936	-0.018	10186.390	6	44532.344	6
377	-43	200	82		291.1745	34333.610	-0.032	2629.132	2	36962.774	2
436	0		2	çs	291.2225	34327.952	0.021	37797.316	2	72125.247	3
400	-545	10	2		291.5416	34290.381	-0.037	13054.696	3	47345.114	4
1505	0	100	7		291.7053	34271.138	0.033	47072.965	2	81344.07	2
329	0		3	çs	291.7958	34260.510	-0.017	46295.605	4	80556.132	5
528	0	10	5	ys	291.8540	34253.678	0.006	30193.693	4	64447.365	3
505	0	3	3		291.8897	34249.489	-0.016	37797.316	2	72046.821	2
820	0	6	2		292.2481	34207.488	0.097	45374.970	1	79582.361	1
561	0		5	çs	292.5736	34169.433	0.016	38291.252	4	72460.669	5
619	-188		3	çs	292.6849	34156.440	-0.051	37528.382	4	71684.873	5
455	50		3	çs	292.7236	34151.924	0.013	25357.291	4	59509.202	3
1901	-1568	600	41		292.7804	34145.299	0.084	4146.037	5	38291.252	4
467	272		3	çs	292.7970	34143.363	-0.108	25353.523	3	59496.994	2
570	0	7	4		293.0645	34112.200	0.075	17424.889	6	51537.014	5
651	0	30	5		293.2116	34095.087	-0.011	25414.104	2	59509.202	3
546	-599	20	4		293.5279	34058.348	0.050	9509.604	4	43567.902	5
870	0	20	4		293.6659	34042.344	0.014	25357.291	4	59399.621	4

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	J üst
545	-489	25	5		293.7331	34034.556	0.033	10604.229	4	44638.752	3
486	0	4	2		294.0848	33993.856	-0.002	15395.928	6	49389.786	7
1352	-1134	500	33		294.1536	33985.905	0.084	3542.561	4	37528.382	4
2060	0	100	7		294.5871	33935.896	0.242	10835.837	2	44771.491	3
852	-406	60	7		294.6111	33933.131	-0.014	3029.629	3	36962.774	2
541	-343	80	9		294.6899	33924.058	-0.048	2629.132	2	36553.238	3
368	0		2	çs	294.8484	33905.822	-0.012	47345.114	4	81250.948	5
414	-393		3	çs	294.9702	33891.822	-0.016	38291.252	4	72183.09	3
1561	-1389	800	42		295.0876	33878.339	0.040	4146.037	5	38024.336	5
906	0		3	çs	295.3582	33847.302	-0.084	45802.473	3	79649.859	3
653	-885	20	4		295.4535	33836.385	-0.052	14790.755	4	48627.192	4
470	0	4	5		295.4744	33833.992	-0.003	38291.252	4	72125.247	3
776	-156	20	6		295.6890	33809.437	-0.062	7900.644	3	41710.143	2
480	0	3	2		296.0295	33770.551	0.026	49864.296	3	83634.821	4
488	0	10	4		296.8251	33680.037	0.028	50585.228	3	84265.237	3
385	-420	10	3		297.0473	33654.845	-0.041	13690.228	3	47345.114	4
306	-136		3	çs	297.1634	33641.696	0.019	35520.822	2	69162.499	3
713	-41		2	çs	297.1781	33640.032	-0.091	10246.955	3	43887.078	3
555	0		2	çs	297.2442	33632.552	0.035	10653.427	1	44285.944	0
1607	-129	200	30		297.2568	33631.126	0.004	11339.590	3	44970.712	4
520	-615		2	çs	297.3713	33618.178	-0.033	33919.244	3	67537.455	3
351	0		3	çs	297.3896	33616.109	0.109	37797.412	2	71413.412	2

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)	$\Delta\sigma$ (cm ⁻¹)	E_{alt} (cm ⁻¹)	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm ⁻¹)	J üst
588	-1070	400	30		297.4097	33613.837	-0.033	10918.474	5	44532.344	6
350	0	10	63		297.4722	33606.775	-0.066	15551.252	3	49158.093	4
271	0	150	8		297.7675	33573.448	0.066	10653.427	1	44226.809	2
383	0	80	8		297.8942	33559.170	-0.014	17292.479	5	50851.663	4
327	0	80	12		297.9871	33548.708	-0.006	21472.467	4	55021.181	5
506	0	150	9		298.0714	33539.220	-0.032	12263.221	2	45802.473	3
1327	-883	100	5		298.2098	33523.655	0.046	3029.629	3	36553.238	3
560	0		3	çs	298.4619	33495.340	-0.119	48907.924	5	82403.383	4
650	-885	9	2		298.7535	33462.648	-0.015	14790.755	4	48253.418	4
560	0		4	çs	298.8884	33447.546	-0.078	36553.238	3	70000.862	4
369	0	80	5		299.1951	33413.261	0.023	10653.427	1	44066.665	1
681	0	20	2		299.3808	33392.536	-0.040	12263.221	2	45655.797	2
1817	-1381	300	11		299.4726	33382.300	-0.045	4146.037	5	37528.382	4
367	0	8	2		299.7469	33351.853	0.143	20657.775	2	54009.485	3
1021	0		3	çs	300.1069	33311.747	0.011	49687.712	1	82999.448	2
566	0	50	7		300.1130	33311.070	-0.039	21117.415	3	54428.524	4
1386	0	40	3		300.2212	33299.065	-0.097	11339.590	3	44638.752	3
4756	0	3	4		300.5763	33259.727	-0.031	17292.479	5	50552.237	4
552	0	7	3		300.8944	33224.567	0.002	13118.528	1	46343.093	2
5401	0	25	2		301.0684	33205.366	0.004	17292.479	5	50497.841	5
551	-492		4	çs	301.1582	33195.465	0.022	33919.244	3	67114.687	2
353	0		12	çs	301.2138	33189.338	0.063	47708.454	4	80897.729	4

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	E_{alt} (cm^{-1})	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	J üst
671	463	15	2		301.4432	33164.082	0.076	2356.816	1	35520.822	2
517	0		3	çs	301.4990	33157.944	0.110	25357.291	4	58515.125	4
1042	0	100	3		301.8860	33115.440	-0.018	17469.770	4	50585.228	3
460	-197		4	çs	302.0726	33094.984	-0.017	14660.755	2	47755.756	2
1127	0	200	9		302.2746	33072.934	-0.018	17424.889	6	50497.841	5
1453	0	250	12		302.4726	33051.220	-0.021	10835.837	2	43887.078	3
470	0	40	3		302.5365	33044.239	-0.025	20657.775	2	53702.039	3
1504	-1189	300	13		302.8436	33010.732	0.055	3542.561	4	36553.238	3
980	-506	60	4		302.9746	32996.459	-0.049	12805.965	2	45802.473	3
446	-544	400	28		303.2759	32963.679	0.006	10604.229	4	43567.902	5
510	0		3	çs	303.5020	32939.123	-0.033	16218.937	4	49158.093	4
400	-431		6	çs	303.8131	32905.396	-0.026	34632.033	4	67537.455	3
574	-207	10	3		303.9402	32891.636	-0.054	2629.132	2	35520.822	2
863	-110	150	3		304.4746	32833.908	-0.009	13665.686	4	46499.603	5
516	0	80	3		304.8203	32796.673	0.109	10653.427	1	43449.991	1
428	0		12	çs	305.4676	32727.178	0.061	48077.679	3	80804.796	2
867	0	200	4		305.5520	32718.138	-0.028	16052.672	5	48770.838	6
267	0	40	3		306.3122	32636.942	0.031	10653.427	1	43290.338	2
746	-110	120	3		306.3785	32629.880	-0.039	13665.686	4	46295.605	4
480	-345		5	çs	306.3963	32627.984	-0.016	35474.197	5	68102.197	4
948	-41	250	8		306.4528	32621.969	0.050	10246.955	3	42868.874	4
447	0	100	3		306.5250	32614.285	0.131	10835.837	2	43449.991	1

EK 2 (devam):

W (mK)	ΔW (mK)	Şiddet	S/N	Yorum	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm^{-1})	$\Delta\sigma$ (cm^{-1})	E_{alt} (cm^{-1})	J alt	$E_{\text{üst}}$ (cm^{-1})	J üst
362	0		2	çs	306.5333	32613.402	-0.033	21511.376	2	54124.811	2
521	-420	60	3		306.6091	32605.340	-0.037	13690.228	3	46295.605	4
498	-214	80	9		307.0894	32554.346	0.012	40561.018	4	73115.352	5
1208	0	90	4		307.1529	32547.616	0.128	11339.590	3	43887.078	6
530	0		2	çs	307.2533	32536.981	-0.037	21472.467	4	54009.485	3
703	-392	90	2		308.7861	32375.475	-0.056	12263.221	2	44638.752	3
366	0	6	8		309.2904	32322.689	-0.037	48617.404	6	80940.13	5
554	-223		4	çs	309.3410	32317.402	-0.069	36455.457	6	68772.928	5
1618	-1483	2000	30		309.4171	32309.454	0.034	4146.037	5	36455.457	6
572	147	100	5		309.9185	32257.184	-0.038	2629.132	2	34886.354	1
1462	-774	500	4		312.7528	31964.867	-0.030	17424.889	6	49389.786	7
1132	-977	1500	18		313.0780	31931.666	0.030	3542.561	4	35474.197	5
355	0		9	çs	314.1332	31824.409	-0.086	48907.924	5	80732.419	4
698	352	500	7		314.5405	31783.201	-0.031	8320.373	4	40103.605	5
630	-452	1000	12		316.3404	31602.369	-0.035	3029.629	3	34632.033	4
534	247	400	5		318.0293	31434.550	-0.076	7900.644	3	39335.27	4
256	0		2	çs	318.8739	31351.293	0.094	50474.935	1	81826.134	2
441	149	700	9		319.4979	31290.064	-0.048	2629.132	2	33919.244	3
477	-70	300	3		320.6348	31179.120	-0.075	7505.765	2	38684.96	3
317	874	500	2		322.5471	30994.274	0.000	2356.816	1	33351.09	2
221	35		2	çs	329.2724	30361.246	-0.093	50552.237	4	80913.576	3
398	-292		21	çs	332.3739	30077.943	0.082	38024.336	5	68102.197	4

EK 3: İlk kez gözlenen Nb veya Ne olabilecek sınıflandırılmamış çizgiler. W: Çizgi genişliği, S/N: Spektral geçişin FT’de gözlenen sinyal/gürültü oranı, λ_{hava} : Havadaki ağırlık merkezi dalgaboyları, σ_{vakum} : Vakumdaki dalga sayısı.

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
630	5	232.2999	43034.584
883	3	233.1216	42882.910
606	3	233.2793	42853.923
862	10	233.4786	42817.345
769	3	233.6413	42787.531
639	3	234.0296	42716.544
1270	3	234.7185	42591.182
1136	6	235.4898	42451.694
375	55	236.7053	42233.719
748	3	236.9887	42183.219
675	6	237.2068	42144.436
391	107	237.3123	42125.702
408	13	237.3352	42121.638
631	3	238.8586	41853.014
-578	3	239.0086	41826.750
716	3	239.2627	41782.333
852	3	239.7305	41700.807
677	3	240.0056	41653.012
813	3	240.3341	41596.083

EK 3 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
327	10	241.0786	41467.636
566	9	241.4200	41409.000
564	5	241.8168	41341.056
780	4	242.4437	41234.166
561	5	242.5340	41218.815
458	8	242.6775	41194.444
509	3	242.7505	41182.057
865	5	242.7631	41179.919
591	3	243.3569	41079.446
590	6	243.5023	41054.919
590	4	243.5154	41052.710
926	5	243.6262	41034.041
670	3	244.3104	40919.132
515	3	245.4236	40733.544
531	4	245.4604	40727.437
464	6	245.6834	40690.473
1192	3	245.6994	40687.823
611	25	245.8581	40661.561
887	5	246.7637	40512.348
673	2	246.8500	40498.186
442.4	3	247.0093	40472.070

EK 3 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
819	4	247.0659	40462.799
572	39	247.3389	40418.141
718	2	247.5256	40387.657
554	5	247.7730	40347.333
730	7	248.3272	40257.295
421	23	248.5795	40216.438
468	4	248.8142	40178.506
419	5	248.9480	40156.913
677	3	249.0515	40140.226
532	3	249.0645	40138.131
612	339	249.2146	40113.957
467	7	249.2415	40109.628
883	3	249.5209	40064.719
433	4	249.6685	40041.035
529	6	249.7264	40031.752
689	5	249.8140	40017.715
497	6	249.8368	40014.063
1840	4	249.9764	39991.719
431	3	250.2141	39953.730
938	8	250.6272	39887.880
684	4	250.6899	39877.905

EK 3 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
716	2	250.6963	39876.887
397	3	250.8215	39856.983
381	15	250.8606	39850.771
601	4	251.4317	39760.261
268	13	251.6113	39731.882
773	3	251.6783	39721.305
710	4	251.7372	39712.012
584	4	251.7577	39708.779
535	6	252.0806	39657.918
456	11	252.1805	39642.208
597	4	252.2849	39625.805
612	3	252.3890	39609.462
596	6	252.4107	39606.057
721	6	252.5204	39588.852
548	4	252.6454	39569.266
642	3	252.6983	39560.984
788	2	252.7450	39553.674
735	5	252.8214	39541.722
657	5	252.8508	39537.125
1199	4	253.3812	39454.368
575	4	253.6017	39420.066

EK 3 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
466.2	3	253.6371	39414.564
792.4	4	253.6470	39413.026
885.4	2	253.6851	39407.107
573.7	3	253.9087	39372.406
464.5	30	254.1020	39342.457
495.4	3	254.1063	39341.791
712	6	254.1299	39338.138
355.9	3	254.1842	39329.735
882	3	254.2044	39326.610
1051.2	5	254.2936	39312.816
973.4	3	254.3563	39303.126
817.6	7	254.5614	39271.461
292.1	8	254.9748	39207.793
860.8	2	255.0140	39201.767
338.1	12	255.0225	39200.460
550.5	6	255.6856	39098.803
519.4	22	255.8113	39079.592
335.9	9	255.8767	39069.605
442.4	3	255.9900	39052.314
564	3	256.0911	39036.898
594.2	3	256.1511	39027.754

EK 3 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
761	3	256.2880	39006.908
638	3	256.5106	38973.060
562	4	256.5857	38961.654
364	120	256.7984	38929.385
564	3	256.0911	39036.898
594	3	256.1511	39027.754
777	5	256.1797	39023.397
503	14	256.2123	39018.433
761	3	256.2880	39006.908
638	3	256.5106	38973.060
562	4	256.5857	38961.654
364	120	256.7984	38929.385
833	7	256.9801	38901.862
302.3	9	257.1643	38873.999
665	5	257.2777	38856.866
332	218	257.5096	38821.875
392	25	257.5398	38817.323
902	3	257.8458	38771.259
375	13	258.1463	38726.130
765	7	258.1973	38718.481
599	5	258.3650	38693.351

EK 3 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
374	18	258.4448	38681.405
539	3	258.4879	38674.955
1331	5	258.5638	38663.603
462	40	258.9997	38598.536
432	3	259.0357	38593.172
580	11	259.2012	38568.532
536	5	259.2299	38564.262
610	5	259.2329	38563.816
431	30	259.3556	38545.572
697	2	259.6257	38505.474
237	17	259.6492	38501.989
799	2	259.8821	38467.487
740	3	259.8898	38466.347
414	4	259.8931	38465.859
518	13	260.0271	38446.038
768	4	260.1108	38433.667
354	2	260.2117	38418.765
676	5	260.8629	38322.865
484	37	261.0008	38302.618
806	7	261.1293	38283.771

EK 3 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
645	3	261.1498	38280.766
439	5	261.4712	38233.714
511	4	261.5584	38220.968
920	8	261.6130	38212.992
1881	2	261.8178	38183.102
467	26	261.8367	38180.346
394	8	261.8586	38177.153
684	5	262.0748	38145.661
566	4	262.4500	38091.131
839	3	262.8552	38032.416
578	4	263.1209	37994.013
693	2	263.1416	37991.024
765	7	263.1546	37989.147
289	23	263.2413	37976.636
260	10	263.2751	37971.761
476	2	263.3597	37959.564
677	2	263.4192	37950.990
850	4	263.4550	37945.834
1109	5	263.5050	37938.634
1208	4	263.6264	37921.164
403	3	263.6672	37915.296

EK 3 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
1179	4	263.6895	37912.090
775	4	263.8641	37887.005
876	10	263.8703	37886.115
660	6	263.9080	37880.703
703	3	263.9169	37879.426
588	3	264.0375	37862.125
961	5	264.0475	37860.691
789	3	264.0545	37859.688
1362	19	264.1072	37852.134
473	2	264.1639	37844.010
1873	7	264.4264	37806.444
1044	3	264.4424	37804.156
443	3	264.4803	37798.739
1100	3	264.6372	37776.330
514	11	264.6628	37772.676
698	3	264.8783	37741.947
641	2	264.8928	37739.881
641	8	265.0308	37720.231
611	5	265.1873	37697.972
327	48	265.2477	37689.388
1193	96	265.3469	37675.299
822	4	265.6580	37631.182

EK 3 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
552	2	265.6646	37630.247
326	16	265.6898	37626.678
736	2	265.8212	37608.080
311	102	266.0388	37577.321
283	10	266.1332	37563.992
677	2	266.1538	37561.085
901	6	266.4520	37519.051
715	3	267.0595	37433.709
500	3	268.2919	37261.767
777	7	268.3522	37253.394
486	4	268.4274	37242.958
651	4	268.5778	37222.104
415	17	268.9174	37175.115
650	3	268.9300	37173.359
522	2	269.8181	37051.011
700	5	269.8309	37049.253
1001	3	269.9684	37030.384
1905	12	270.0968	37012.782
754	2	270.1321	37007.945
781	2	270.1398	37006.890
573	3	270.7582	36922.373
695.4	2	270.7648	36921.473

EK 3 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
504	2	270.8689	36907.284
708	2	271.0131	36887.648
939	2	271.0704	36879.851
748	2	271.1633	36867.216
462	4	271.3508	36841.743
1492	3	271.4952	36822.149
420	4	271.5567	36813.810
460	2	271.7723	36784.607
609	2	271.8311	36776.651
514	4	271.9027	36766.967
662	3	272.0756	36743.603
473	3	272.0904	36741.605
526	4	272.1736	36730.374
700	3	272.4568	36692.197
1370	4	272.7899	36647.395
1074	3	272.8473	36639.686
846	2	272.8731	36636.222
630	3	272.9349	36627.927
509	3	273.2354	36587.647
534	3	273.7658	36516.765
293	8	273.8350	36507.537
638	2	274.0538	36478.392

EK 3 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
971	68	274.1149	36470.301
625	5	274.1345	36467.654
372	12	274.1460	36466.124
625	23	274.1712	36462.772
555	2	275.1751	36329.755
370	70	275.3134	36311.506
540	2	275.3912	36301.249
343	87	275.4072	36299.140
514	2	275.4186	36297.637
987	8	275.6149	36271.787
986	2	275.7812	36249.915
473	5	275.8318	36243.266
367	8	276.0901	36209.360
367	8	276.1161	36205.950
956	2	276.3045	36181.264
1661	6	276.4581	36161.163
706	3	276.4977	36155.984
889	14	276.5589	36147.984
1554	7	276.6945	36130.270
547	3	276.9670	36094.724

EK 3 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
652	2	276.9885	36091.922
313	3	276.9962	36090.919
313	14	277.0794	36080.083
390	7	277.5874	36014.057
506	3	277.6401	36007.222
467	3	277.6692	36003.448
402	29	277.7630	35991.291
713	4	277.7968	35986.912
375	161	277.9718	35964.257
367	8	276.0901	36209.360
367	8	276.1161	36205.950
956	2	276.3045	36181.264
706	3	276.4977	36155.984
1554	7	276.6945	36130.270
391	3	276.8866	36105.204
547	3	276.9670	36094.724
555	3	278.2079	35933.738
1033	4	278.2988	35922.001
735	4	278.3954	35909.538
1340	4	278.5078	35895.136
837	4	278.6128	35881.519

EK 3 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
631	4	278.6838	35872.378
541	4	278.6943	35871.027
682	11	278.7692	35861.389
450	3	278.8105	35856.077
489	2	278.8378	35852.567
1269	3	279.2818	35795.572
1114	4	279.3857	35782.260
627	4	279.4815	35769.996
588	2	279.6332	35750.592
817	3	279.7793	35731.924
675	2	280.0130	35702.103
331	3	280.1995	35678.341
1897	2	280.2406	35673.109
330	3	280.6297	35623.650
787	4	280.7253	35611.519
596	2	280.7957	35602.591
1306	3	280.8152	35600.119
406	4	280.8477	35595.999
7478	2	280.8707	35593.085
317	3	280.8767	35592.324
785	3	280.9266	35586.002

EK 3 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
608	2	281.0040	35576.201
405	2	281.0451	35570.999
1417	16	281.0824	35566.279
595	5	281.1237	35561.054
405	2	281.2742	35542.027
430	2	281.3481	35532.692
517	10	281.6185	35498.577
303	2	281.6758	35491.356
277	100	281.9210	35460.489
327	2	282.1618	35430.228
377	2	282.2896	35414.188
764	65	282.4369	35395.720
439	2	282.5322	35383.781
1115	5	282.5584	35380.500
287	19	282.9372	35333.135
725	4	282.9663	35329.501
324	2	283.1584	35305.534
548	3	283.3058	35287.166
374	16	283.3502	2833.502
610	3	283.4071	35274.554
386	3	283.4227	35272.612

EK 3 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
249	2	283.4612	35267.822
323	70	283.6292	35246.933
893	3	283.9665	35205.068
360	2	284.0723	35191.957
520	2	284.0841	35190.495
434	3	284.0878	35190.037
445	4	284.3323	35159.778
520	2	284.4245	35148.381
654	6	284.6735	35117.639
284	3	284.6934	35115.184
690	5	284.7894	35103.348
2216	10	284.9550	35082.942
505	3	285.0488	35071.405
837	2	285.0912	35066.189
652	3	285.0985	35065.291
295	82	285.2126	35051.264
516	2	285.3839	35030.226
771	2	285.8557	34972.412
1650	3	285.9566	34960.072
550	2	285.9785	34957.395
489	2	286.1174	34940.425

EK 3 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
342	2	286.2281	34926.913
915	4	286.2737	34921.349
341	163	286.4320	34902.051
560	4	286.4578	34898.907
487	2	286.5290	34890.236
426	22	286.6722	34872.808
791	2	286.7393	34864.648
353	2	286.7458	34863.857
667	3	287.1454	34815.342
1322	2	287.1739	34811.887
630	2	287.4458	34778.959
483	5	287.8504	34730.077
470	3	288.0254	34708.976
542	2	288.0947	34700.628
325	14	288.1172	34697.918
686	6	288.1579	34693.017
1057	3	288.5448	34646.501
516	3	288.7516	34621.689
911	23	288.7684	34619.674
780	3	288.8018	34615.671
971	3	288.8654	34608.050

EK 3 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
561	3	289.3453	34550.653
645	2	289.3497	34550.127
382	2	289.4482	34538.370
918	11	289.6255	34517.228
632	2	289.6501	34514.296
441	4	289.6658	34512.426
333	2	289.9044	34484.022
393	4	289.9121	34483.107
487	7	290.0782	34463.362
852	4	290.5891	34402.773
355	2	290.7360	34385.391
414	2	290.7632	34382.175
518	3	291.5856	34285.206
682	2	291.6159	34281.644
365	3	291.6199	34281.174
1103	2	291.9519	34242.192
516	2	292.1624	34217.522
468	3	292.3194	34199.145
328	2	292.3412	34196.595
491	4	292.5171	34176.032
1075	3	292.5894	34167.588

EK 3 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
653	2	292.7639	34147.223
548	3	292.8500	34137.184
769	2	292.9883	34121.071
1035	15	293.1466	34102.647
1198	3	293.1622	34100.832
523	2	293.2628	34089.135
500	3	293.3074	34083.951
500	2	293.3546	34078.467
882	4	293.4392	34068.643
393	3	294.0213	34001.197
659	2	294.0979	33992.342
312	8	294.2895	33970.212
276	8	294.5953	33934.951
367	18	295.4022	33842.261
458	3	295.4372	33838.252
480	2	295.6553	33813.291
500	3	296.5880	33706.961
555	2	297.2394	33633.095
474	5	297.5476	33598.259
451	8	297.6156	33590.583
1287	2	297.6271	33589.285

EK 3 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
440	6	297.7628	33573.978
631	2	297.9056	33557.885
676	4	297.9460	33553.335
653	2	297.9573	33552.063
676	3	298.0190	33545.117
484	2	298.0409	33542.652
473	12	298.0648	33539.962
574	12	298.0928	33536.812
675	2	298.1900	33525.881
314	3	298.4580	33495.778
1412	2	298.7395	33464.216
359	2	298.7818	33459.479
548	5	299.1363	33419.828
480	5	299.1909	33413.730
458	6	299.2000	33412.713
701	2	299.7363	33352.933
355	9	300.0119	33322.295
356	2	300.0292	33320.374
632	3	300.3207	33288.033
431	5	300.6965	33246.433
365	2	300.7857	33236.574
298	3	300.7888	33236.231

EK 3 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
441	2	301.0780	33204.307
331	2	301.1358	33197.934
407	13	301.2961	33180.273
628	3	301.3807	33170.959
341	10	301.5230	33155.305
626	7	301.7356	33131.945
460.2	2	302.0380	33098.775
295	11	302.6525	33031.575
479	2	303.1209	32980.534
346	37	303.9182	32894.017
714	3	303.9867	32886.605
346	16	304.1354	32870.526
562	2	304.1420	32869.813
398	3	305.0070	32776.598
333	2	305.1778	32758.255
311	10	305.2721	32748.136
547	22	305.2983	32745.326
268	11	305.4145	32732.868
289	20	305.6608	32706.493
578	5	305.7144	32700.759
522	2	306.5204	32614.775

EK 3 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
510	3	306.5293	32613.828
787	5	306.6583	32600.109
360	3	307.1605	32546.811
540	3	307.1734	32545.444
413	2	307.2494	32537.394
466	3	307.3216	32529.750
593	2	307.3265	32529.232
264	3	307.5819	32502.222
990	120	308.2153	32435.431
504	3	308.4545	32410.279
293	193	309.2711	32324.706
303	23	309.2839	32323.368
316	2	313.2595	31913.166
422	3	315.3993	31696.662
371	2	319.9753	31243.381
312	2	320.1761	31223.787
513	4	321.4325	31101.746
386	2	321.7020	31075.692
346	4	322.4818	31000.550
298	3	322.5420	30994.764
307	10	322.6198	31978.466
316	2	323.2595	31913.166

EK 3 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
422	3	325.3993	31696.662
699	4	326.4663	31589.797
317	2	327.7685	31460.348
266	2	330.3505	30262.165
135	2	345.1394	28965.500
227	2	345.1427	28965.223
159	2	345.7243	28916.497

EK 4: Ne I' e ait gözlenen çizgilerin listesi. W: Çizgi genişliği, S/N: Spektral geçişin FT'de gözlenen sinyal/gürültü oranı, λ_{hava} : Havadaki ağırlık merkezi dalgaboyları, σ_{vakum} : Vakumdaki dalga sayısı,

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
447	11	259.0529	38590.610
609	5	259.4561	38530.643
534	3	259.5263	38520.221
483	27	261.3418	38252.644
497	3	261.4175	38241.567
816	4	264.2419	37832.839
1428	4	264.5644	37786.724
754	3	265.1042	37709.788
698	3	267.5515	37364.876
1282	76	267.7935	37331.112
740	3	270.2449	36992.499
943	4	270.4744	36961.112
388	12	273.2489	36585.839
614	7	273.6179	36536.502
328	2	275.9126	36232.653
614	8	276.6370	36137.779
665	3	276.7921	36117.530
402	9	277.5052	36024.725
710	3	278.1974	35935.094
372	17	279.2320	35801.955
461	5	279.4597	35772.786

EK 4 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
384	9	279.5531	35760.835
461	9	279.5960	35755.348
353	16	281.4691	35517.418
639	5	282.5265	35384.495
498	3	283.2924	35288.835
403	3	286.2071	34929.475
340	13	287.2667	34800.642
603	3	288.0294	34708.494
661	4	291.1470	34336.853
318	28	291.3174	34316.769
548	3	292.9328	34127.536
395	24	293.2726	34087.996
380	26	294.7303	33919.408
310	3	294.9327	33896.132
249	27	297.4553	33608.684
395	9	297.5525	33597.706
349	16	297.9811	33549.383
766	5	298.0040	33546.805
371	42	298.2672	33517.204
626	6	301.7310	33132.450
600	3	302.6796	33028.617

EK 4 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
773	3	303.0339	32990.003
391	27	303.5923	32929.326
310	60	305.7394	32698.085
373	3	306.3698	32630.806
475	7	307.6978	32489.980
307	10	312.6198	31978.466
317	2	317.7685	31460.348
303	2	344.7701	28996.525
293	2	345.4196	28942.004
436	5	352.0473	28397.153

EK 5: Ne II' ye ait gözlenen çizgilerin listesi. W: Çizgi genişliği, S/N: Spektral geçişin FT'de gözlenen sinyal/gürültü oranı, λ_{hava} : Havadaki ağırlık merkezi dalgaboyları, σ_{vakum} : Vakumdaki dalga sayısı.

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
521	3	231.8437	43119.256
566	3	234.0022	42721.546
594	4	239.3107	41773.953
630	3	242.2968	41259.164
1038	4	242.3438	41251.163
729	3	242.8451	41166.015
729	4	242.8705	41161.711
914	3	243.0012	41139.573
691	4	243.5646	41056.870
763	2	245.5175	40717.966
515	2	253.2152	39480.231
621	5	253.8503	39381.463
777	5	256.1797	39023.397
503	14	256.2123	39018.433
1456	5	256.7125	38942.411
955	6	256.7383	38938.498
740	3	257.2902	38854.978
800	6	257.4133	38836.398

EK 5 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
568	4	262.0540	38148.688
378	14	262.3106	38111.372
668	4	262.3458	38106.259
783	4	262.5987	38069.563
419	14	262.9723	38015.481
1486	3	263.1956	37983.230
589	3	263.6947	37911.343
675	5	263.8099	37894.789
1206	6	263.8293	37892.002
702	3	264.0671	37857.881
802	3	264.1527	37845.614
500	3	264.3624	37815.596
544	2	264.3686	37814.709
725	4	265.2596	37687.698
546	3	267.3421	37394.141
746	5	267.4752	37375.534
883	6	269.2448	37129.899
620	4	269.3540	37114.847
721	2	271.1448	36869.732
952	3	271.1752	36865.599
815	2	271.3082	36847.528

EK 5 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
823	6	272.2163	36724.613
458	92	276.2921	36182.888
416	17	277.0574	36082.947
526	234	279.2017	35805.841
520	116	280.9484	35583.241
668	6	286.9957	34833.501
363	8	287.2960	34797.093
495	12	287.6468	34754.658
324	3	288.8419	34610.865
702	3	289.7679	34500.266
784	2	290.1104	34459.537
555	19	291.0060	34353.489
508	18	291.0408	34349.382
390	8	291.1139	34340.757
553	3	291.5120	34293.862
527	3	292.1984	34213.307
257	34	292.3030	34201.064
576	3	294.6044	33933.903
378	130	295.5726	33822.751
343	2	296.0461	33768.657
342	90	296.3236	33737.035

EK 5 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
341	122	296.7185	33692.137
498	3	297.2275	33634.442
385	12	297.2996	33626.285
587	3	297.6556	33586.069
372	3	297.9422	33553.763
415	2	298.6060	33479.177
435	3	299.4027	33390.093
377	70	300.1670	33305.078
321	3	300.7832	33236.850
360	33	302.7016	33026.217
403	31	302.8865	33006.057
403	12	303.0789	32985.105
347	85	303.4461	32945.191
368	29	303.7720	32909.847
519	25	303.9586	32889.645
421	10	304.4088	32841.005
334	37	304.7558	32803.614
420	2	305.0471	32772.290
429	5	305.4345	32730.724
321	9	305.9107	32679.776
554	7	306.2493	32643.645

EK 5 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
458	4	306.3303	32635.014
435	2	307.1090	32552.268
392	2	307.2654	32535.700
455	6	307.3798	32523.591
497	3	307.5739	32503.067
486	2	307.6354	32496.570
326	2	308.1344	32443.946
295	6	308.4927	32406.266
304	16	308.8166	32372.278
595	29	309.4006	32311.177
616	7	309.5106	32299.694
500	9	309.7133	32278.556
432	6	311.7980	32062.748
370	10	311.8159	32060.907
699	4	316.4663	31589.797
353	2	319.4576	31294.011
460	5	319.8588	31254.760
349	2	321.3738	31107.426
357	8	321.8192	31064.375
489	5	322.9571	30954.927
374	12	323.0071	30950.136

EK 5 (devam):

W(mK)	S/N	λ_{hava} (nm)	σ_{vakum} (cm ⁻¹)
354	8	323.2373	30928.095
681	7	331.9728	30114.283
438	8	334.5454	29882.717
375	2	334.5831	29879.350
517	5	337.8216	29592.923
470	2	339.2801	29465.713

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Yasemin ŞENGÜL
Doğum Yeri	Malatya
Doğum Tarihi	02.01.1992
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	
E-Posta Adresi	yaseminsngl@hotmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Fen Fakültesi
Bölümü	Fizik Bölümü
Mezuniyet Yılı	08.07.2013
Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Fizik Anabilim Dalı
Programı	Atom ve Molekül Fiziği Programı
Mezuniyet Tarihi	05.07.2019

Makale ve Bildiriler
 Şengül Y., Taşkın G., Er A., 2017, Bakır (Cu II) elementinin $3d^9 4p$, $3d^8 4s 4p$, $3d^9 5p$, $3d^9 6p$, $3d^9 7p$ konfigürasyonlarının ince yapısının incelenmesi, *Adım fizik günleri VI*, 19-21 Temmuz 2017, Balıkesir, Türkiye, 140.

Er A., Şengül Y., 2017, Landé g factors calculation of the configurations $3d^5 4s$, $3d^4 4s^2$, $3d^5 5s$ and $3d^6$ atomic chromium, *Turkish physical society 33rd international physics congress*, 6-10 Eylül 2017, Muğla, Türkiye, 563.

Şengül Y., Er A., 2017, Fine structure parameters determination of the configurations $3d^6 4s$ and $3d^7$ of Fe II, *Turkish physical society 33rd international physics congress*, 6-10 Eylül 2017, Muğla, Türkiye, 557. |