

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

**DÖRT KEZ İYONLAŞMIŞ PRASEODİMİN (Pr V)
TEORİK OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sevda ÖZMEN

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK BÖLÜMÜ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Betül USTA

Haziran 2017

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DÖRT KEZ İYONLAŞMIŞ PRASEODİMİN (Pr V)
TEORİK OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sevda ÖZMEN

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK BÖLÜMÜ

Bu tez 01.06.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Seda SAĞDINÇ
Jüri Başkanı


Prof. Dr.
Leyla ÖZDEMİR
Üye


Yrd. Doç. Dr.
Betül USTA
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Sevda ÖZMEN

01.06.2017

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Betül USTA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bugüne kadar maddi ve manevi her konuda destek veren anneme, babama ve kardeşime çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
HESAPLAMA YÖNTEMİ.....	4
2.1. Çok Elektronlu Atomlar için Relativistik Olmayan Hamiltonyen.....	4
2.2. Merkezi Alan Yaklaşıklığı ve Çarpım Dalga Fonksiyonları.....	5
2.3. Hartree-Fock (HF) Yaklaşıklığı.....	8
2.4. Çok Elektronlu Atomlarda Elektronların Karşılıklı Etkileşmesi	10
2.5. Relativistik Hartree-Fock (HFR) Yöntemi.....	11
2.5.1. Bir-elektron ve toplam bağlanma enerjileri.....	12
2.5.2. Enerji seviyelerinin Landé g -çarpanları.....	15
2.5.3. Relativistik düzeltmeler.....	16
2.6. Işımalı Geçişler.....	19
2.6.1. Elektrik dipol geçişleri.....	19
2.7. HFR ile Atomik Yapı Hesaplama Adımları.....	22

BÖLÜM 3.

TARTIŞMA VE SONUÇ	25
3.1. Pr V'in Bazı Seviyelerinin Enerjileri ve Landé g -çarpanları.....	26
3.2. Pr V'in Elektrik Dipol Geçişleri için Dalga Boyları, Ağırlıklı Salınıcı Şiddetleri ve Geçiş Olasılıkları.....	34
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	72



KISALTMALAR LİSTESİ

CSFs	: Konfigürasyon hal fonksiyonları (Configuration state functions)
DHF	: Dirac Hartree-Fock
EHF	: Genişletilmiş Hartree-Fock (Extended Hartree-Fock)
HF	: Hartree-Fock
HFR	: Relativistik Hartree-Fock (Relativistic Hartree-Fock)
NHF	: Ortogonal olmayan Hartree-Fock (Nonorthogonal Hartree-Fock)
NIST	: National institute of standards and technology's web site
QED	: Kuantum elektrodinamik (Quantum electrodynamic)
SCF	: Öz-uyum alan (Self-consistent field)
SDHF	: Tekli-determinant Hartree-Fock (Single-determinant Hartree-Fock)
SPHF	: Spin-kutuplanmış Hartree-Fock (Spin-polarized Hartree-Fock)
SUHF	: Spin-kısıtlamasız Hartree-Fock (Spin-unrestricted Hartree-Fock)
UHF	: Kısıtlanmamış Hartree-Fock (Unrestricted Hartree-Fock)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. HFR ile atomik yapı hesap adımları.....	24
--	----



TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Pr V'in düşük seviyelerinin E enerjileri (cm^{-1}) ve Landé g - çarpanları.....	27
Tablo 3.2. Pr V'in yüksek uyarılmış seviyelerinin E enerjileri (cm^{-1}) ve Landé g -çarpanları.....	30
Tablo 3.3. Pr V'in elektrik dipol (E1) geçişleri için λ dalga boyları ($\text{\AA}$), f salınıcı şiddetleri ve A_{ki} geçiş olasılıkları (s^{-1})	36
Tablo 3.4. Pr V'in elektrik dipol (E1) geçişleri için λ ($\text{\AA}$), $\log (gf)$ ve gA_{ki} (s^{-1}).....	39

ÖZET

Anahtar kelimeler: HFR yöntemi, enerji seviyeleri, Landé g -çarpanları, dalga boyları, salınıcı şiddetleri, geçiş olasılıkları

Bu çalışmada, relativistik Hartree-Fock (Relativistic Hartree-Fock–HFR) yöntemi kullanılarak dört kez iyonlaşmış praseodimun (Pr V, $Z = 59$) bazı uyarılmış seviyelerinin relativistik enerjileri ve Landé g -çarpanları ve bu seviyeler arasındaki elektrik dipol (E1) geçişine ait dalga boyları, salınıcı şiddetleri ve geçiş olasılıkları gibi geçiş parametreleri hesaplanmaktadır.

İlk bölümde, Pr V ile ilgili yapılmış mevcut çalışmalar; ikinci bölümde, relativistik Hartree-Fock yöntemi hakkında özet bilgiler verilmektedir. Elde edilen sonuçlar diğer deneysel ve teorik çalışmalar ile karşılaştırmalı olarak son bölümde sunulmaktadır.

THEORETICAL INVESTIGATION OF QUADRUPLY IONIZED PRASEODYMIUM (Pr V)

SUMMARY

Keywords: HFR method, energy levels, Landé g -factors, wavelengths, oscillator strengths, transition probabilities

In this study, the relativistic energies and Landé g -factors for some excited levels and the transition parameters, such as wavelengths, oscillator strengths, and transition probabilities (or rates), for the electric dipole (E1) transitions between these levels in quadruply ionized praseodymium (Pr V, $Z = 59$) have been calculated using the relativistic Hartree-Fock (HFR) method.

In the first chapter previous works on Pr V have been given. Second chapter deals with relativistic Hartree-Fock method. Results obtained have been compared with other experimental and theoretical works in the last chapter.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Lantanitlerin ve iyonlarının ışıma özellikleri, bu atomların ve iyonlarının atomik hesaplamalarını çok zor hale getiren dolu olmayan 4f tabakasının karmaşık elektronik yapılarıyla karakterize edilmesi laboratuvar analizlerinin eksik hatta kayıp olması nedeniyle az incelenmiştir. Lantanitler için dalga boyları, ışımalı geçiş oranları ve bununla ilgili güvenilir spektroskopik verilerin (salıncı şiddeti, dallanma kesirleri, ışımalı yarı ömür nicelikleri, aşırı ince yapı ve izotop kayması gibi) kesin bilgisine ihtiyaç giderek artmaktadır. Güneşinkileri de içeren spektrumlar nadir toprak çizgilerini içerdikleri için astrofizikte çok önemlidir. Nadir toprak elementlerinin spektrumlarının detaylı analizleri, farklı türdeki yıldızların kimyasal bileşenlerinde bulunanlar hakkında yararlı bilgiler sağlar. Genelde, bazı manyetik yıldızlardaki lantanitlerin bollukları, güneş sistemindeki değerlerinden oldukça fazladır. Aşırı bolluklarının anlaşılması çok miktarda yüksek nitelikli atomik verileri gerektirir. Astrofizik dışında, lantanit iyonları görünür bölgede zengin yayınlanma spektrumuna sahip oldukları için de ilgi çekmektedir. Nadir toprak element tuzları, birçok ticari metal-halojenür yüksek-yoğunluklu boşaltım lambalarında kullanılmaktadır. Lambaların diyazni ve sistem kontrolleri için kullanılan modellerde doğru atomik verilere ihtiyaç vardır [1].

Praseodim (Pr) atom numarası tek sayı olan lantanitlerden biridir ($Z = 59$). Kararlı bir izotopu (^{141}Pr) ve kısa ömürlü 14 izotopu vardır. Farklı yıldız türlerindeki praseodimin bolluğunun doğru olarak belirlenmesi, hızlı ve yavaş nötron yakalama yöntemleri tarafından üretildiği için nükleosenteze bağlı olarak astrofizikte önemlidir [2]. Lantanit atomları değişik teknoloji alanlarında da önemlidirler. Cam ve emaye renklendirmede, film stüdyolarında ışıklandırma ve projeksiyonda, kaynakçılar ve cam yapımcı veya işleyicileri için koruyucu gözlüklerin (didymium camı) yapımında kullanımı praseodim atomunun bilinen kullanım alanlarındadır.

Bu çalışmada praseodimin dört kez iyonlaşmış hali (Pr V, $Z = 59$) için atomik yapı hesaplamaları yapıldı. Sezyum (Cs) benzer elektron diziliminin bir üyesi olarak, dört kez iyonlaşmış praseodim (Pr V) iyonu tam dolu $5p^6$ alt kabuğunun dışında tek değerlik (valans) elektronuyla basit bir elektronik yapıya sahiptir. Pr V'in taban konfigürasyonu $[Cd]5p^64f$ ve uyarılmış halleri de $[Cd]5p^6nl$ şeklindedir.

Pr V ile ilgili mevcut çalışmalar nötral ya da diğer iyonlaşmış hallerine göre oldukça azdır. İlk çalışmalardan biri, Kaufman ve Sugar [3] tarafından 840–2250 Å bölgesinde Pr V'in 12 spektral çizgisinin sunulduğu çalışmadır. Migdalek ve Baylis [4] Cs'dan Pr V'e kadar iyonlaşma potansiyellerinde, öz kutuplaşması, gevşeme ve relativistik etkilerin önemini çalıştılar ve $6s-6p$ geçişleri için relativistik tek-konfigürasyonlu Hartree-Fock salıncı şiddetlerini sundular [5]. Tek-konfigürasyonlu Hartree-Fock iyonlaşma potansiyelleri, Migdalek ve Bojara [6] tarafından öz kutuplaşmalı hesaplamalar için yaklaşımlar kullanılarak hesaplandı. Migdalek ve Wyrozumska [7], $6s-6p$, $5d-6p$, $4f-5d$, $5d-5f$, $5d-6f$, $6p-6d$ ve $6p-7d$ geçişleri için üç farklı şekilde relativistik model potansiyel yaklaşımını kullanarak salıncı şiddetlerini hesapladılar. Bunlar öz kutuplaşmasını içeren fakat değerlik-öz elektron değiş-tokuşu olmayan bir model potansiyeli öz kutuplaşması ve yarı klasik değiş-tokuşu içeren potansiyel ve öz kutuplaşması ve deneysel olarak ayarlanmış değiş-tokuşu içeren potansiyeli olan hesaplama türleridir. Pr V için enerjiler, geçiş oranları ve elektron dipol moment artış faktörleri, Savukov ve çalışma arkadaşları [8] tarafından relativistik çok-cisim pertürbasyon (katkı) teorisi kullanılarak hesaplanmış ve sunulmuştur. Zilitis [9] Pr V'in rezonans geçişlerinin salıncı şiddetlerini Dirac-Fock yöntemiyle hesapladı. Glushkov [10] Cs ve Rb benzeri iyonların salıncı şiddetlerini sundu.

Bu çalışmada Pr V için atomik özellikler, konfigürasyon etkileşimi ve relativistik etkileri içeren hesaplama yöntemlerinden biri olan ve Cowan tarafından geliştirilen relativistik Hartree-Fock (Relativistic Hartree-Fock-HFR) [11] yaklaşıklığı kullanılarak hesaplandı. Pr V'in $5p^6nf$ ($n = 4-30$), $5p^6np$ ($n = 6-30$), $5p^6nd$ ($n = 5-30$), $5p^6ng$ ($n = 5-30$) ve $5p^6ns$ ($n = 6-30$) seviyelerinin relativistik enerjileri, Landé g -çarpanları ve bu seviyeler arasındaki elektrik dipol (E1) geçişleri için dalga

boyları, salınıcı şiddetleri ve geçiş olasılıkları hesaplandı ve tablolar halinde sunuldu [12]. Hesaplamalarda Cowan’ın relativistik Hartree-Fock (HFR) program paketi [13] kullanıldı.



BÖLÜM 2. HESAPLAMA YÖNTEMİ

2.1. Çok Elektronlu Atomlar için Relativistik Olmayan Hamiltonyen

Kuantum mekaniğinde N -elektronlu bir atomun kararlı hali $\psi(q_1, \dots, q_N)$ dalga fonksiyonu ile tanımlanır. $q_i = (r_i, \sigma_i)$, i . elektronun uzay ve spin koordinatlarını gösterir. Dalga fonksiyonunun uzay değişkenlerine göre sürekli olduğu ve

$$H\psi(q_1, \dots, q_N) = E\psi(q_1, \dots, q_N) \quad (2.1)$$

dalga denkleminin bir çözümü olduğu kabul edilir. Burada H atomik sistemin Hamiltonyen işlemcisidir. Dalga denklemi bir özdeğer problemidir ve çözümleri yalnızca belirli E değerleri için vardır. Tüm özdeğerler takımı işlemcinin özdeğer spektrumunu olarak bilinir.

H işlemcisi belirli kuantum mekaniksel yapı kadar atomik sisteme de bağlıdır. Relativistik olmayan hesaplamalar için başlama noktası, Hamiltonyeni atomik birimlerde ($\hbar = c = e = 1$),

$$H = \sum_{i=1}^N \left(-\frac{1}{2} \nabla_i^2 - \frac{Z}{r_i} \right) + \sum_{i>j}^N \frac{1}{r_{ij}} \quad (2.2)$$

şeklinde verilen Schrödinger denklemdir. Burada Z atomun çekirdek yükü, r_i , i elektronunun çekirdekten uzaklığı ve r_{ij} , i ve j elektronları arasındaki uzaklıktır. Hamiltonyen, relativistik etkilerin ihmal edilebilmesi ve atomik çekirdeğin sonsuz kütleli bir nokta yük gibi davranabilmesi kabullenimleri altında geçerlidir.

2.2. Merkezi Alan Yaklaşıklığı ve Çarpım Dalga Fonksiyonları

Schrödinger denklemi yalnızca bir elektronlu sistemler için tam olarak çözülebilir. Çok elektronlu sistemler için özfonksiyonların gerçek şekilleri bilinmemektedir. Bu nedenle çok elektronlu atomların veya iyonların incelenmesi için bazı genel yöntemler ile yaklaşık dalga fonksiyonları elde edilir. Hartree-Fock yaklaşıklığı da bu yöntemlerden biridir. Bu yöntem merkezi alan yaklaşıklığına ve değişim yöntemine dayanır.

Merkezi alan yaklaşıklığında tam Hamiltonyen, H_0 ayrıştırılabilir Hamiltonyenle yer değiştirir:

$$H \approx H_0 = \sum_{i=1}^N \left(-\frac{1}{2} \nabla_i^2 - \frac{Z}{r_i} + V(r_i) \right) \quad (2.3)$$

Burada, $V(r_i)$ merkezi potansiyeli, elektronlar arası Coulomb itme etkilerini yaklaşık olarak kapsar.

Yaklaşık Hamiltonyen H_0 , tam Hamiltonyen gibi L^2 , L_z , S^2 ve S_z toplam açısal momentum işlemcileri ile sıra değiştirir ve daima H_0 'ın özfonksiyonları, bu işlemcilerin özfonksiyonları olarak seçilebilir.

$$H_0 \psi_0(q_1, \dots, q_N) = E_0 \psi_0(q_1, \dots, q_N) \quad (2.4)$$

olduğundan ve H_0 ayrıştırılabildiği için özdeğer ve özfonksiyonlar sırasıyla

$$E_0 = \sum_{i=1}^N E_i \quad (2.5)$$

ve

$$\psi_0(q_1, \dots, q_N) = \prod_{i=1}^N \phi(\alpha_i; q_i) \quad (2.6)$$

olarak yazılır. Schrödinger denklemi de böylece

$$\left[-\frac{1}{2} \nabla^2 + U(r) \right] \phi(\alpha; q) = E \phi(\alpha; q) \quad (2.7)$$

olur. Burada $U(r)$ potansiyeli

$$U(r) = -\left(\frac{Z}{r} \right) + V(r) \quad (2.8)$$

şeklinde verilir. $\phi(\alpha; q)$ ile gösterilen bireysel spin-yörüngeleri, bir-elektron denklemlerinin çözümleridir. $U(r)$ potansiyeli için E bir-elektron enerjisi, Coulomb halinin tersine n ve l 'ye bağlıdır.

H_0 Hamiltoniyeni elektron koordinatlarının yer değişiminden bağımsız olduğu için (2.6) çarpım fonksiyonundaki koordinatların yer değişimi ile bir özfonksiyon elde edilir. Yer değiştirmiş çarpım fonksiyonları birleştirilerek antisimetrik bir fonksiyon oluşturulur:

$$\Phi(q_1, \dots, q_N) = A \prod_{i=1}^N \phi(\alpha_i; q_i) \quad (2.9)$$

Bu fonksiyon

$$\Phi(q_1, \dots, q_N) = \frac{1}{\sqrt{N!}} \begin{vmatrix} \phi(\alpha_1; q_1) & \phi(\alpha_1; q_2) & \dots & \phi(\alpha_1; q_N) \\ \phi(\alpha_2; q_1) & \phi(\alpha_2; q_2) & \dots & \phi(\alpha_2; q_N) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi(\alpha_N; q_1) & \phi(\alpha_N; q_2) & \dots & \phi(\alpha_N; q_N) \end{vmatrix} \quad (2.10)$$

ile verilen bir Slater determinantıdır. Slater determinantındaki her bir spin-yörüngemsinin paritesi $(-1)^l$, Slater determinantının paritesi ise

$$\pi = (-1)^{l_1} (-1)^{l_2} \dots (-1)^{l_N} = (-1)^{\sum l_i} \quad (2.11)$$

dir. Parite, açısal momentum kuantum sayılarının toplamının tek veya çift oluşuna göre tek veya çifttir.

Merkezi alan yaklaşıklığında, yaklaşık enerji seviyeleri ve tamamen relativistik olmayan Hamiltonyenin yaklaşık özfonksiyonları elde edilir. Genelde, Slater determinantları şeklindeki bu yaklaşık özfonksiyonlar, toplam açısal momentum işlemcilerinin gerçek özfonksiyonları değildirler. Aynı elektron konfigürasyonuna ait determinantların lineer birleşimi ile açısal momentum işlemcilerinin özfonksiyonları oluşturulur. Bu şekilde elde edilen fonksiyonlar, Slater determinantlarından daha iyi bir şekilde relativistik olmayan Hamiltonyenin gerçek özfonksiyonlarına yaklaşır. Bu özfonksiyonlar ‘konfigürasyon hal fonksiyonları (CSFs)’ olarak adlandırılır. Konfigürasyon hal fonksiyonları, $\Phi(\gamma LM_L SM_S)$ veya $|\gamma LM_L SM_S\rangle$ ile gösterilir.

Merkezi alan yaklaşıklığında, belirli bir konfigürasyona ait tüm Slater determinantları ve bu determinantlardan oluşturulan CSF’ler de aynı enerji seviyesine karşılık gelir. Elektron etkileşmesinin merkezi olmayan kısmı

$$-\sum_{i=1}^N V(r_i) + \sum_{i<j}^N \frac{1}{r_{ij}} \quad (2.12)$$

dikkate alındığında, toplam açısal momentum kuantum sayılarına bağlı olan farklı CSF’ler, farklı enerjilere karşılık gelecektir. Bu enerji seviyelerine ‘konfigürasyonun LS terimleri’ denir. Farklı CSF’lerin beklenen değerleri

$$E = \langle \Phi(\gamma LM_L SM_S) | H | \Phi(\gamma LM_L SM_S) \rangle \quad (2.13)$$

şeklinde verilir. Beklenen değer, M_L ve M_S 'den bağımsızdır ve her bir LS terimi $(2L+1)(2S+1)$ kat dejeneredir.

LS terimleri M_L ve M_S kuantum sayılarından bağımsız olduğundan dejenerlik çoğunlukla ihmal edilir. M_L ve M_S kuantum sayılarının önemli olmadığı durumlarda CSF'ler kısaca $\Phi(\gamma LS)$ veya $\Phi(\gamma^{2S+1}L)$ olarak gösterilir. Burada L

$$\begin{array}{cccccccc} L = & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & \dots \\ & S & P & D & F & G & H & I & K & \dots \end{array} \quad (2.14)$$

şeklinde spektroskopik gösterimle verilir ve $2S+1$ terimin çokluğu olarak adlandırılır. Tek parite halleri için, bir 'o' üst indisi ve çift parite halleri için bir 'e' üst indisi, L 'yi gösteren sembolden sonra eklenir.

Çoğu durumlarda, CSF'ler tam Hamiltonyenin gerçek ψ özfonksiyonlarına sürpriz bir şekilde iyi bir yaklaşıklıkla. Daha iyi yaklaşıklıklar CSF'lerin lineer birleşimi olarak elde edilir:

$$\Psi(\gamma LS) = \sum_{i=1}^M c_i \Phi(\gamma_i LS) \quad (2.15)$$

Gerçek özfonksiyon genellikle açılımdaki baskın CSF ile benzer şekilde kodlanır. Elde edilen yaklaşık özfonksiyonlar için bu çok konfigürasyon yaklaşıklıkındaki zorluk, uygun bir $U(r)$ merkezi alan potansiyelinin seçiminde yatar. Bu problem büyük ölçüde, spin-yörüngemsileri belirlemek yerine değişim (varyasyon) yöntemi uygulandığında ortadan kalkar.

2.3. Hartree-Fock (HF) Yaklaşıklığı

Merkezi alan yaklaşıklığına göre her bir elektron aynı $(-Z/r) + V(r)$ potansiyelinde hareket ettiği için $V(r)$ 'nin seçimi önemlidir. Hartree, her bir elektronun kendi

potansiyeline sahip olduğunu ileri sürmüştür. Bir nl elektronu için potansiyel, sistemdeki diğer elektronların küresel olarak ortalama yük dağılımından (veya elektron bulutundan) belirlenir. Bu kabullenimden Hartree, Hartree denklemleri olarak bilinen denklemleri türetti. Bunlar bir elektronun bir diğerine bağlı yük dağılımı şeklinde katlı radyal denklemlerdir. Hartree bu denklemlerin ‘öz uyumlu alan’ denilen tekrarlamalı bir yöntem ile çözülebileceğini önermiştir. Hartree dalga denkleminin çözümü, radyal fonksiyonların çarpımı olan küresel simetrik bir dalga fonksiyonu verir. Fock, bu denklemlerin Pauli dışarlama ilkesini sağlamadığına dikkat çekmiştir. Basit sistemleri ele alarak, bir tek determinant ve değişim prensibini uygulayarak, ‘değiş tokuş terimleri’ denilen antisimetriklikten ortaya çıkan bazı ek terimler hariç Hartree denklemlerine benzer denklemler türetmiştir.

HF yaklaşıklığı, çok elektronlu sistemler için yaklaşık toplam dalga fonksiyonlarını elde eden bir yöntemdir. Bu yöntem, atom, molekül ve katıhal sistemlerini içeren kuantum mekaniğinin pek çok alanına başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Bu yöntem merkezi alan yaklaşıklığını ve değişim prensibini esas alır.

Hartree-Fock yöntemi yaklaşık toplam dalga fonksiyonunu elde etmek amacı ile özetle üç kısımdan oluşur. Birinci olarak, dalga fonksiyonu için bir fonksiyon seçilir ve daha sonra, belirlenecek olan baz (temel) fonksiyonları cinsinden tanımlanır. Sonra bu fonksiyonlar cinsinden toplam enerji için bir ifade türetilir. Son olarak, değişim prensibi uygulanır ve türetilen denklemlerin çözümleri toplam enerjiyi kararlı yapan fonksiyonlardır.

Yörüngeler $(n_1 l_1)^{q_1} (n_2 l_2)^{q_2} \dots (n_m l_m)^{q_m}$ şeklindeki tekli konfigürasyonun yörüngeleri olduğu zaman Hartree-Fock yöntemleri değişik şekilde sınıflandırılabilir. Bu yöntemler, esas olarak radyal fonksiyonun yörünge kuantum sayılarına bağlılığına göre değişiklik gösterir. Radyal fonksiyon sadece (nl) kuantum sayılarına bağlı ise dalga fonksiyonu bir tekli Slater determinantı şeklindedir. Bu durumda yaklaşıklığa ‘tekli-determinant Hartree-Fock (SDHF) yöntemi’ denir.

Bir tekli determinant ortogonalite şartını sağlamazsa bu ‘ortogonal olmayan Hartree-Fock (NHF)’ olarak adlandırılır. Bu yöntemin açık-tabaka için genişletilmiş hali de ‘genişletilmiş Hartree-Fock (EHF)’ olarak bilinir. Aslında, genişletilmiş Hartree-Fock yöntemi, ortogonal olmayan Hartree-Fock yönteminin özel bir durumudur. HF yönteminde olduğu gibi ortogonal olmayan ve genişletilmiş HF yöntemlerinin her ikisinde de toplam dalga fonksiyonu L^2 ve S^2 ’nin bir öz fonksiyonudur.

Tekli determinant şeklinde ifade edilen radyal fonksiyon spin bileşenine de bağlı ise, yöntem ‘spin-kutuplanmış Hartree-Fock (SPHF)’ veya ‘spin-kısıtlamasız Hartree-Fock (SUHF)’ yöntemi’ adını alır. Radyal fonksiyonun n, l, m_s kuantum sayılarının yanı sıra m_l kuantum sayısına da bağlı olması durumunda yöntem ‘kısıtlanmamış Hartree-Fock (UHF)’ yöntemi’ olarak adlandırılır. SUHF ve UHF’nin her ikisinde, radyal fonksiyonlar belirlendikten sonra yaklaşık izdüşüm işlemcileri L^2 ve S^2 ’nin özfonksiyonlarını elde etmek için uygulanabilir.

Aslında SUHF, UHF ve EHF yöntemleri tartışmalıdır. UHF’nin felsefesi kısıtlamayı gevşek tutmakta ve verilen bir nl için yörüngelerin m_l ve m_s kuantum sayıları serbesttir. Fakat pratikte m_s bağıllığı kısıtlanmaz ve biraz bu yaklaşım SUHF’ye benzer. İzdüşüm işlemcilerine bir değişim uygulandığında, UHF de EHF’ye benzerdir.

2.4. Çok Elektronlu Atomlarda Elektronların Karşılıklı Etkileşmesi

Hartree-Fock yöntemi pek çok atomik özelliğin oldukça iyi tahminlerini verir. Fakat dikkatli analiz yapıldığında, sistematik farklılıklar gözlenebilir. Gözlenen veriler relativistik etkiler, sonlu kütle ve çekirdek hacmi gibi diğer etkileri içerir ve hafif (küçük) atomlar için küçüktürler. Böyle sistemler için farklılığın en büyük kaynağı, Hartree-Fock çözümünün Schrödinger denkleminin gerçek çözümüne bir yaklaşıklık olması gerçeğinden ve elektronların hareketindeki karşılıklı etkileşme fikrinin ihmalinden ortaya çıkar. Hartree-Fock yönteminde, her bir elektronun diğer elektronlar tarafından belirlenen bir alanda bağımsız olarak hareket ettiği kabul

edilir. Bu nedenle enerjideki hata ‘karşılıklı etkileşme (korelasyon) enerjisi’ olarak tanımlanır:

$$E^{Kor.} = E^{Gerçek} - E^{HF} \quad (2.16)$$

Burada $E^{Gerçek}$, sadece gözlenen enerji değildir. Bu, bir dizi kabullenimleri esas alan Schrödinger denkleminin gerçek çözümüdür ve E^{HF} Hartree-Fock enerjisidir.

Enerji seviye değerlerini ve ışımalı geçiş parametrelerini de etkileyen elektronların karşılıklı etkileşmeleri genel olarak üç farklı şekilde sınıflandırılır. a ve b iki yörünge olmak üzere, ab yörüngelerinden elektron uyarılmaları gerçekleştiğinde, ab yörüngelerinin ikisi de değerlik (valans) yörüngesi ise bu korelasyona değerlik-değerlik korelasyonu, ab yörüngelerinin biri öz, diğeri değerlik yörüngesi ise bu korelasyona öz-değerlik korelasyonu denir. Yani öz-değerlik korelasyonunda değerlik yörüngesinin yanı sıra, kapalı alt tabakalardan da uyarılmalar olur. Elektron uyarılmalarının yapıldığı yörüngelerin her ikisi de öz yörüngesi ise bu korelasyona da öz-öz korelasyonu denir. Bu korelasyon modelinde tüm uyarılmalar kapalı yörüngelerden olur [14].

2.5. Relativistik Hartree-Fock (HFR) Yöntemi

Cowan tarafından geliştirilen bu yaklaşık yöntemde [11] Hamiltonyen atomik birimlerde

$$H = -\sum_i \nabla_i^2 - \sum_i \frac{2Z}{r_i} + \sum_{i>j} \frac{2}{r_{ij}} + \sum_i \xi_i(r_i)(\mathbf{l}_i \cdot \mathbf{s}_i) \quad (2.17)$$

olarak alınır. Burada $r_i = |\mathbf{r}_i|$ çekirdekten i . elektrona olan uzaklık, $r_{ij} = |\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|$, i . ve j . elektronlar arasındaki uzaklık ve $i > j$ üzerinden toplam elektronların tüm çiftleri üzerindendir. ξ_i , yörünge- ve spin-açısız momentum işlemcilerinin skaler çarpımının bir orantı sayısıdır:

$$\xi(r) = \frac{\alpha^2}{2} \frac{1}{r} \left(\frac{dV}{dr} \right) \quad (2.18)$$

Bu yaklaşıklıkta da amaç ilgilenilen her kararlı kuantum hali için atomun Ψ^k dalga fonksiyonunu ve E^k enerjisini elde etmek için

$$H\Psi^k = E^k\Psi^k \quad (2.19)$$

şeklindeki Schrödinger denklemini çözmektir. Ancak, dalga fonksiyonu $4N$ değişkenlidir (her bir elektron için üç uzay ve bir spin koordinatı) ve kuantum mekaniksel problem oldukça karmaşıktır. $N > 1$ için, gerçek çözümler tam bulunmayabilir ve bir tip ya da başka bir tip yaklaşıklıklar gereklidir. Genel bir yaklaşım, birkaç ayarlanabilen parametreler içeren dalga fonksiyonlarının birkaç şeklini kabul etmek ve bu parametrelerin değerlerini, mümkün en iyi fonksiyonu verecek şekilde değiştirmektir.

HFR yönteminde merkezi alan yaklaşıklığını esas alarak atomun dalga fonksiyonu antisimetrik bireysel dalga fonksiyonlarının çarpımından oluşur. Bu yöntemde bir konfigürasyonun ortalama enerjisi belirlenir. Sonra toplam ortalama enerji tüm konfigürasyonların ortalama enerjisinden elde edilir.

2.5.1. Bir-elektron ve toplam bağlanma enerjileri

(2.17)'deki Hamiltonyen işlemcisinin ilk iki ve sonuncu terimleri

$$\sum_{i=1}^N f_i \equiv \sum_i f(\mathbf{r}_i) \quad (2.20)$$

şeklindeki bir-elektron işlemcileridir. Bu işlemciler tüm N elektronların uzaysal ve spin koordinatlarında simetriktir ve son terim tüm $N(N-1)/2$ koordinat çiftleri için simetrik olan,

$$\sum_{i=2}^N \sum_{j=1}^{i-1} g_{ij} \equiv \sum_{i>j} \sum g(\mathbf{r}_i, \mathbf{r}_j) \quad (2.21)$$

şeklindeki iki elektron işlemcisidir. Hamiltonyenin spin-yörünge terimi için köşegen matris elemanı

$$\langle \Psi | \sum_i \xi_i(\mathbf{l}_i, \mathbf{s}_i) | \Psi \rangle = \sum_i \langle n_i l_i m_{l_i} m_{s_i} | \xi(\mathbf{l}, \mathbf{s}) | n_i l_i m_{l_i} m_{s_i} \rangle \quad (2.22)$$

dur. s elektronları için spin-yörünge etkileşimi sıfır olduğundan geriye kalan terimler için ortalama enerji

$$E_{ort.} = \sum_i \langle i | -\nabla^2 | i \rangle_{ort.} + \sum_i \langle i | -2Z/r_1 | i \rangle_{ort.} + \sum_{i>j} \left[\langle ij | 2/r_{12} | ij \rangle_{ort.} - \langle ij | 2/r_{12} | ji \rangle_{ort.} \right] \quad (2.23)$$

şeklinde yazılır. Böylece bir $n_i l_i$ yörüngesindeki bir elektronun konfigürasyon-ortalama bağlanma enerjisi

$$E^i = E_k^i + E_n^i + \sum_{j \neq i} E^{ij} \quad (2.24)$$

olur. Tüm N elektronun konfigürasyon-ortalama toplam bağlanma enerjisi

$$E_{ort.} = \sum_i E_k^i + \sum_i E_n^i + \sum_{i>j} \sum E^{ij} \quad (2.25)$$

$$= \frac{1}{2} \sum_i (E_k^i + E_n^i + E^i) \quad (2.26)$$

şeklinde yazılabilir. Yani, i yörüngesindeki bir elektronun ortalama bir-elektron bağlanma enerjisi, kinetik enerji, çekirdek ile etkileşimden oluşan potansiyel enerji ve atomdaki diğer $N-1$ elektronla etkileşim enerjisinin toplamıdır. Atomun ortalama bağlanma enerjisi, tüm kinetik enerji ve tüm elektron-çekirdek enerjileri

toplamı ve tüm elektron çiftleri üzerinden toplanan elektron-elektron Coulomb etkileşimlerinden oluşur. Elektron-elektron Coulomb etkileşimlerinden dolayı konfigürasyon-ortalama toplam bağlanma enerjisinin ($E_{ort.}$) $\sum E^i$ 'ye eşit olmadığı açıktır. (2.24)'deki terimler kısaca, kinetik enerji için

$$E_k^i \equiv \langle i | -\nabla^2 | i \rangle_{ort.} = \int_0^\infty P_{n_l i}^*(r) \left[-\frac{d^2}{dr^2} + \frac{l_i(l_i+1)}{r^2} \right] P_{n_l i}(r) dr, \quad (2.27)$$

elektron-çekirdek etkileşme enerjisi için

$$E_n^i \equiv \langle i | -2Z/r | i \rangle = \int_0^\infty (-2Z/r) |P_i(r)|^2 dr \quad (2.28)$$

ve elektron-elektron Coulomb etkileşim enerjisi, özdeş olmayan elektronlar için

$$E^{ij} = F^0(ij) - \frac{1}{2} \sum_k \begin{pmatrix} l_i & k & l_j \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^2 G^k(ij) \quad (2.29)$$

ve özdeş elektronlar için

$$E^{ii} = F^0(ii) - \frac{(2l_i+1)}{(4l_i+1)} \sum_{k>0} \begin{pmatrix} l_i & k & l_i \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^2 F^k(ii) \quad (2.30)$$

dir. Burada F^k ve G^k Slater integralleri, aşağıdaki şekilde tanımlanan daha genel R^k integralinin özel durumlarıdır:

$$R^k(\alpha, \beta; \alpha', \beta') = \int_0^\infty \int_0^\infty P(\alpha; r) P(\alpha'; r) U^k(r, s) P(\beta; s) P(\beta'; s) dr ds \quad (2.31)$$

Burada

$$\begin{aligned}
 U^k(r, s) &= \frac{s^k}{r^{k+1}}, \quad r \geq s \\
 &= \frac{r^k}{s^{k+1}}, \quad r < s
 \end{aligned} \tag{2.32}$$

şeklindedir. Bu durumda

$$F^k(nl, n'l') = R^k(nl, n'l'; nl, n'l') \tag{2.33}$$

ve

$$G^k(nl, n'l') = R^k(nl, n'l'; n'l', nl) \tag{2.34}$$

dir.

2.5.2. Enerji seviyelerinin Landé g -çarpanları

Zeeman etkisi, dış manyetik alan ile atomun manyetik momenti arasındaki

$$H_m = -\boldsymbol{\mu} \cdot \mathbf{B} \tag{2.35}$$

şeklindeki etkileşimden ortaya çıkar. Burada $\boldsymbol{\mu}$ manyetik moment ve $\mathbf{B}$ manyetik alandır. Breit-Pauli yaklaşıklığında manyetik momente iki katkı vardır: Elektronların spin hareketinden ve yörünge hareketinden gelen katkılar. Bu iki katkı eklendiğinde

$$\boldsymbol{\mu} = -\mu_B(\mathbf{L} + g_s \mathbf{S}) \tag{2.36}$$

elde edilir. Burada μ_B Bohr manyetonu ve g_s kuantum elektrodinamik (QED) etkiler için düzeltilen elektron spininin g çarpanıdır ($g_s = 2,00232$). Dış alanın yönü z -yönünde seçildiğinde, etkileşim enerjisi

$$\Delta E(\gamma JM) = \langle \gamma JM | H_m | \gamma JM \rangle = \mu_B B \langle \gamma JM | L_z + g_s S_z | \gamma JM \rangle \quad (2.37)$$

$$\begin{aligned} \Delta E(\gamma JM) &= \langle \Psi(\gamma JM) | H_m | \Psi(\gamma JM) \rangle \\ &= \mu_B B \sum_{j,k} c_j c_k \langle \Phi(\gamma_j L_j S_j JM) | L_z + g_s S_z | \Phi(\gamma_k L_k S_k JM) \rangle \end{aligned} \quad (2.38)$$

şeklindedir. CSF'ler arasındaki matris elemanları da

$$\langle \Phi(\gamma LS JM) | L_z + g_s S_z | \Phi(\gamma' L' S' JM) \rangle = \delta_{\gamma\gamma'} \delta_{LL'} \delta_{SS'} g_J(LS) M \quad (2.39)$$

olarak oluşturulabilir. Burada g , herhangi bir terim karışımı olmaksızın (yani saf LS çiftleniminde) Landé g -çarpanıdır:

$$g_J(LS) = 1 + (g_s - 1) \frac{J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)} \quad (2.40)$$

Bu ifade dikkate alındığında enerji yarılmaları

$$\Delta E(\gamma LS) = \mu_B B g_{\gamma J} M \quad (2.41)$$

olur.

2.5.3. Relativistik düzeltmeler

HFR yönteminde bir-elektron ve toplam bağlanma enerjileri için E_r^i ve E_r relativistik düzeltmeleri alınır:

$$E_r = \sum_{i=1}^N E_r^i = \sum_{i=1}^N (E_m^i + E_D^i) \quad (2.42)$$

Burada kütle-hız ve Darwin katkıları

$$E_m^i = -\frac{1}{4}\alpha^2 \int_0^\infty P_i(r) (\varepsilon_i - V^i(r))^2 P_i(r) dr \quad (2.43)$$

ve

$$E_D^i = -\delta_{l_0} \frac{1}{4}\alpha^2 \int_0^\infty P_i(r) \left[\frac{dV^i(r)}{dr} \right] \left[r \frac{dr^{-1}P_i(r)}{dr} \right] dr \quad (2.44)$$

şeklinde verilir. Burada $\alpha \cong 1/137,036$ ince yapı sabitidir ve tüm enerjiler Rydbergs birimindedir. Bu ifadeler $V^i(r)$ merkezi alan potansiyel enerji fonksiyonu içerirler. Büyük Z 'ler için katkı düzeltmeleri uygun olmayabildiğinden $P_{nl}(r)$ radyal fonksiyonlarına relativistik düzeltmeleri katmak istenebilir. Bu yaklaşıklıkta, Dirac Hartree-Fock (DHF) denklemlerine Pauli-tipi yaklaşıklık kullanılır. DHF denklemleri için yerel-potansiyel yaklaşımları

$$P'_\kappa = -\frac{\kappa}{r} P_\kappa + \frac{\alpha}{2} \left(\varepsilon_i - V^i + \frac{4}{\alpha^2} \right) Q_\kappa \quad (2.45)$$

ve

$$Q'_\kappa = \frac{\alpha}{2} (V^i - \varepsilon_i) P_\kappa + \frac{\kappa}{r} Q_\kappa \quad (2.46)$$

şeklinde dir. Burada P_κ ve Q_κ sırasıyla büyük ve küçük bileşenli radyal fonksiyonlardır. ε_i ve V^i Rydbergs biriminde ölçülür ve

$$\kappa = \begin{cases} l_i, & j = l_i - 1/2 \\ -l_i - 1, & j = l_i + 1/2 \end{cases} \quad (2.47)$$

dir. Q_κ için ilk denklem çözülüp ikinci denklemde yerine koyarak ve $\kappa(\kappa+1) = l_i(l_i+1)$ olduğuna dikkat ederek P_κ için bir denklem elde edilir. Bu

diferansiyel denklem yalnızca bir terimde κ 'yı içerir; o da κ/r 'dir. Bu katsayı $(2j+1)$ ağırlıklı ortalama ile yer değiştirilirse

$$\frac{2l_i l_i / r - (2l_i + 2)(l_i + 1)/r}{(4l_i + 2)} = -\frac{1}{r} \quad (2.48)$$

ve buradan da j 'den bağımsız radyal dalga fonksiyonu için

$$\left\{ -\frac{d^2}{dr^2} + \frac{l_i(l_i+1)}{r^2} + V^i(r) - \frac{\alpha^2}{4} [\varepsilon_i - V^i(r)]^2 \right. \\ \left. - \delta_{l_0} \frac{\alpha^2}{4} \left[1 + \frac{\alpha^2}{4} (\varepsilon_i - V^i(r)) \right]^{-1} \left(\frac{dV^i}{dr} \right) \left(\frac{dP_i/dr}{P_i} - \frac{1}{r} \right) \right\} P_i(r) = \varepsilon_i P_i(r) \quad (2.49)$$

diferansiyel denklemi elde edilir. Bu sonucun kütle-hız ve Darwin işlemcilerinin relativistik olmayan diferansiyel denkleme eklendiğinde basitçe elde edildiği görülebilir. Yalnızca fark $[]^{-1}$ 'li terimin bulunmasıdır. Bu spin-yörünge terimidir. Buradaki ek, $r=0$ 'da r^{-3} yerine r^{-2} Darwin terimindeki tekilleri barındırdığı için önemlidir. Spin-yörünge terimini (2.49)'dan çıkararak kütle bağımsız radyal fonksiyonlar elde edilir. (2.49)'dan elde edilen etki de $(2j+1)$ ağırlıklı ortalamının ilk P_κ relativistik fonksiyona alınmasıdır.

$$\left[-\frac{d^2}{dr^2} + \frac{l_i(l_i+1)}{r^2} + V^i(r) \right] P_i(r) = \varepsilon_i P_i(r) \quad (2.50)$$

ile karşılaştırma yapıldığında (2.49)'un sol parantez içindeki çarpan yalnızca V^i 'de P_i 'yi değil onun yanında ε_i 'yi de içerdiğini gösterir. Ancak relativistik terimlerin etkileri küçüktür ve SCF iterasyonuna yakınsamada problem oluşturmaz. HF denklemlerine iki relativistik terimin eklenmesi de 'HFR yöntemi' olarak adlandırılır.

2.6. Işımalı Geçişler

2.6.1. Elektrik dipol geçişleri

HFR yönteminde elektrik dipol momenti üç değişik şekilde incelenmektedir:

$$\left\langle \gamma JM \left| \sum_i \mathbf{r}(i) \right| \gamma' J'M' \right\rangle, \quad (2.51)$$

$$2(E' - E)^{-1} \left\langle \gamma JM \left| \sum_i \nabla_i \right| \gamma' J'M' \right\rangle \quad (2.52)$$

ve

$$2(E' - E)^{-2} \left\langle \gamma JM \left| \sum_i \nabla_i V \right| \gamma' J'M' \right\rangle \quad (2.53)$$

Burada E ve E' , γJM ve $\gamma' J'M'$ hallerinin enerjileri (Rydbergs olarak), V merkezi alan potansiyel enerjisidir ve tüm uzaklıklar (bunların gradyantı) Bohr birimindedir. (2.52) ve (2.53)'teki işlemciler sırasıyla klasik momentum ve kuvvettir. Bu üç alternatif, uzunluk, hız ve ivme şekilleri olarak adlandırılır. Gerçek dalga fonksiyonları kullanıldığında hepsi eşittir fakat yaklaşık dalga fonksiyonları kullanıldığında genellikle oldukça farklı sonuçlar verirler. İvme ve hız şekilleri yaklaşık fonksiyonların türevlerini içerir. Özellikle ivme şekli integrallenen küçük r değerine doğru yoğunlaştığı için kötü sonuçlar verir. Hız şekli, iyi değişim dalga fonksiyonları kullanıldığında ve $|E' - E|$ geçiş enerjisi küçük olmadığı zaman çok iyi sonuçlar verir. Uzunluk şekli büyük r değerleri için doğru sonuç verir. Ancak, bu HF radyal fonksiyonlar kullanıldığında bir dezavantaj sağlar. Uzunluk şekli hesapsal olarak en basittir ve genellikle bu şekil hesaplarda kullanılır.

Elektrik dipol çizgi şiddeti

$$S \equiv \left| \left\langle \gamma J \left\| \mathbf{P}^{(1)} \right\| \gamma' J' \right\rangle \right|^2 \quad (2.54)$$

olarak bilinir. Burada

$$\mathbf{P}_q^{(1)} \equiv \sum_{i=1}^N r_q^{(1)}(i) = \sum_{i=1}^N r_i C_q^{(1)}(i) \quad (2.55)$$

$-ea_0$ biriminde ölçülen atomun klasik dipol momentidir.

$\gamma' J' M'$ uyarılmış halden γJ seviyesinin tüm M hallere olan geçiş olasılığı

$$A = \frac{64\pi^4 e^2 a_0^2 \sigma^3}{3h} S \sum_{Mq} \begin{pmatrix} J & 1 & J' \\ -M & q & M' \end{pmatrix}^2 = \frac{64\pi^4 e^2 a_0^2 \sigma^3}{3h(2J'+1)} S \quad (2.56)$$

şeklinde yazılabilir. Bu nicelik M' 'den bağımsızdır. Ağırlıklı geçiş olasılığı da

$$gA = (2J'+1)A = \frac{64\pi^4 e^2 a_0^2 \sigma^3}{3h} S \quad (2.57)$$

dir. Burada $\sigma = (E_j - E_{j'})/hc$ 'dir ve S niceliği tüm mümkün M, M' geçişlerini içeren spektrum çizgisinin toplam şiddetinin bir ölçüsüdür. Spektrum çizgilerinin incelenmesi için çoğunlukla kullanılan bir diğer nicelik salıncı şiddetidir:

$$f_{ij} = \frac{8\pi^2 m c a_0^2 \sigma}{3h(2J+1)} S = \frac{2(E_j - E_i)}{3(2J+1)} S \quad (2.58)$$

Bu nicelik özel bir i düşük enerjili seviyeden j üst seviyenin tüm $(2J'+1)$ hallerine olan soğurmanın toplam olasılığını gösterir.

Yayınlama için karşılık gelen nicelik genellikle negatif olarak alınır. Ağırlıklı salıncı şiddeti de

$$gf = (2J + 1) f_{ij} = -(2J' + 1) f_{ji} \quad (2.59)$$

veya

$$gf = \frac{8\pi^2 m c a_0^2 \sigma}{3h} S \quad (2.60)$$

şeklindedir. Ağırlıklı geçiş olasılığı ile ağırlıklı salınıcı şiddeti arasındaki bağıntı da böylece

$$gA = \frac{8\pi^2 e^2 \sigma^2}{mc} gf \quad (2.61)$$

olur.

Verilen bir atomik hal fonksiyonuna ait bir açılımındaki tüm CSF'ler için ortak olan diğer bir özellik, toplam J değeri içindir. Bunun için tüm çok-kutuplu işlemcileri

$$\Delta J = J - J' = 0, \pm 1, \dots, \pm k, \quad k \leq J + J' \quad (2.62)$$

seçim kuralını verir. Bu kural $J \neq J' \neq 0$ kısıtlamasını içerecek şekildedir.

CSF'lerin farklı açısal momentumları geçişe katılıp katılmamalarına göre aktif veya pasif olarak sınıflandırılabilirler. Pasif momentumlar, aktifler (2.62)'deki kurala göre oluşurken değişmeyecektir. Dikkate alınacak ilk kural, uzaysal ve spin uzayını temsil eden farklı işlemcilerin ranklarına bağlıdır. $E^{(k)}$ işlemcisinin spinden bağımsız olduğu ve spinlerin daima elektrik çok-kutup geçişleri için pasif olduğu açıktır. Böylece spin için seçim kuralı,

$$E^{(k)} : \Delta S = 0 \quad (2.63)$$

olarak verilebilir.

Uzay açısal momentumlarına ait seçim kurallarını elde etmek için, $E^{(k)}$ işlemcisi

$$E^{(k)} : \Delta L = 0, \pm 1, \dots, \pm k, \quad k \leq L + L' \quad (2.64)$$

dir.

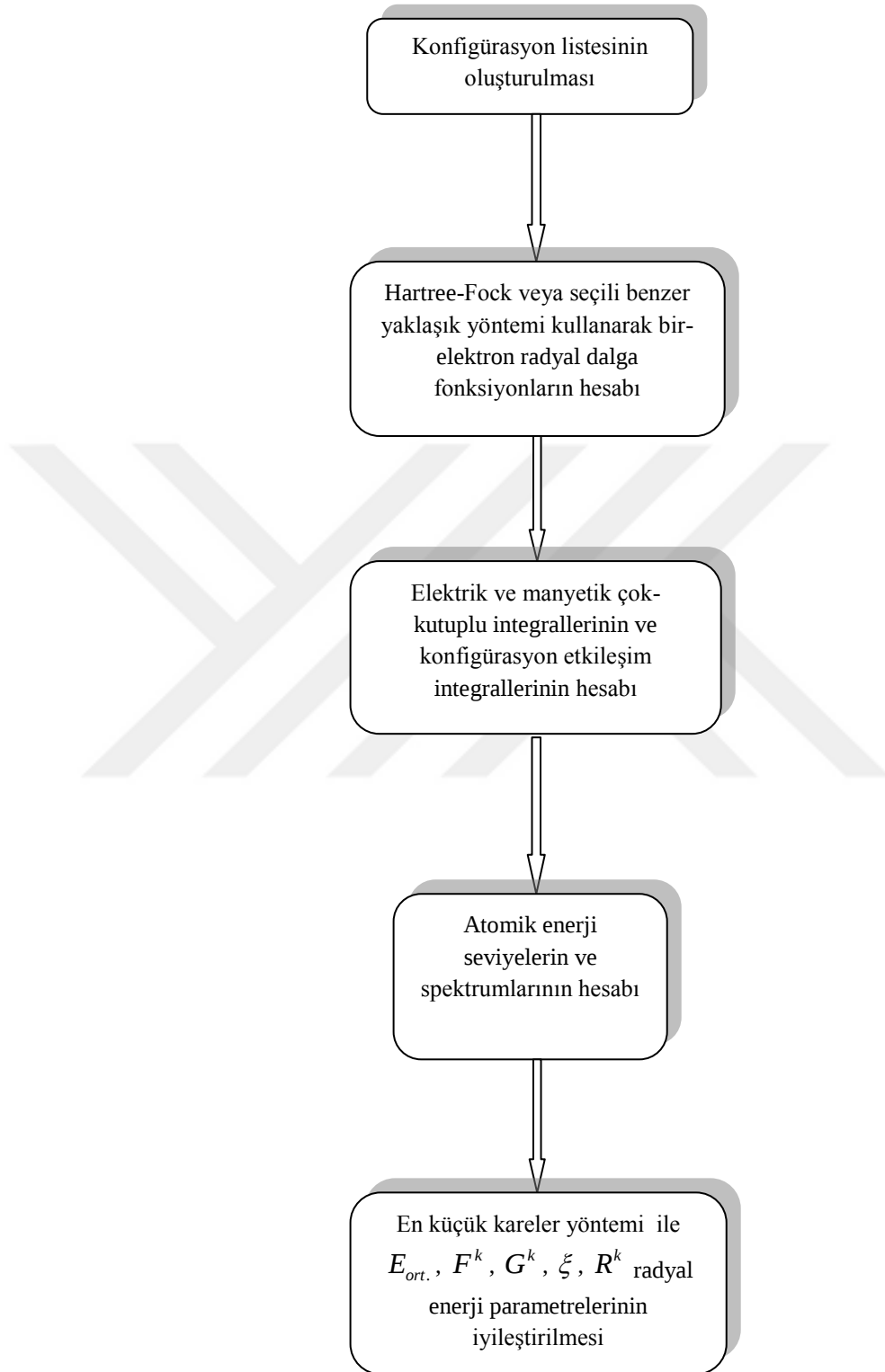
2.7. HFR ile Atomik Yapı Hesaplama Adımları

Cowan program paketi [13] ile hesaplama adımları aşağıdaki şekildedir:

1. Hartree-Fock veya herhangi bir yaklaşık yöntemi kullanarak özel elektron konfigürasyonlarının herhangi bir sayısının her biri için bir-elektron (bağlı veya serbest) radyal dalga fonksiyonları hesaplanır. Her konfigürasyon için çıkış dosyası konfigürasyonun ortalama enerjisini ($E_{ort.}$) ve bu konfigürasyonun enerji düzeylerini hesaplamakta gerekli olan radyal Coulomb (F^k ve G^k) ve spin-yörünge integrallerini içerir.
2. Konfigürasyonların her bir çiftleri arasındaki elektrik dipol ($E1$) radyal integralleri ve etkileşme konfigürasyonlarının her bir çifti arasındaki konfigürasyon-etkileşme Coulomb integrallerini (R^k) hesaplamak için gerekli dalga fonksiyonları kullanılır. Hesaplanan veriler atomik spektrumların hesaplanmasında kullanılır.
3. Özdeğer (enerji seviyeleri) ve özvektörleri hesaplamak için her bir matris köşegenleştirilerek J toplam açısal momentumun olası her değeri için enerji matrisi kurulur.
4. $E1$, ışımalı spektrumu için dalga boyları, salıncı şiddetleri ve geçiş olasılıkları hesaplanır.

5. Daha yüksek doğrulukta sonuçlar istenildiğinde, tekrarlamalı bir yöntemle deneysel enerji seviyelerine en-küçük kareler yöntemi ile bir uydurulmasını yaparak $E_{ort.}$, F^k , G^k , ξ ve R^k çeşitli radyal enerji parametreleri değiştirilir. En küçük kareler uydurma parametrelerinin sonuçları atomik enerji seviyelerinin ve spektrumlarının hesaplanmasında tekrar kullanılabilir.





Şekil 2.1. HFR ile atomik yapı hesap adımları

BÖLÜM 3. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, lantanit atomlarından olan praseodim ($Z = 59$) atomunun dört kez iyonlaşmış haline ait bazı atomik hesaplamalar yapıldı. Cowan [11] tarafından geliştirilen relativistik Hartree-Fock (HFR) yöntemi kullanılarak bazı seviye enerjileri, Landé g -çarpanları, dalga boyları, salıncı şiddetleri ve geçiş olasılıkları Cowan'ın relativistik Hartree-Fock program paketi [13] ile elde edildi.

Pr V'in taban seviyesi $[\text{Xe}]4f^2 F_{5/2}^0$ dir. Hesaplamalar için A, B ve C olarak isimlendirilen üç konfigürasyon seti seçildi. Bu konfigürasyon setleri (2.4)'de bahsedilen korelasyon etkilerine göre değerlik elektronun üst seviye uyarılmalarına ve öz-değerlik elektronları arasındaki karşılıklı etkileşmelere göre seçilmiştir. A hesabında $[\text{Xe}]$ özü dışında nf ($n = 4-30$), np ($n = 6-30$), nd ($n = 5-30$), ng ($n = 5-30$) ve ns ($n = 6-30$) konfigürasyonları, B hesabında $[\text{Cd}]$ özü dışında $5p^6nf$ ($n = 4-10$), $5p^6np$ ($n = 6-10$), $5p^54f6p$, $5p^6nd$ ($n = 5-10$), $5p^6ng$ ($n = 5-10$), $5p^6ns$ ($n = 6-10$), $5p^54f5d$, $5p^56s6p$, $5p^55d6p$ ve $5p^54f6s$ konfigürasyonları ve C hesabında ise $[\text{Cd}]$ özü dışında $5p^6nf$ ($n = 4-20$), $5p^6np$ ($n = 6-20$), $5p^54f^2$, $5p^56p^2$, $5p^54f6p$, $5p^6nd$ ($n = 5-20$), $5p^6ng$ ($n = 5-20$), $5p^6ns$ ($n = 6-20$), $5p^54f5d$, $5p^56s6p$, $5p^55d6p$ ve $5p^54f6s$ konfigürasyonları alınarak hesaplamalar yapıldı.

Cowan [11] tarafından geliştirilen relativistik Hartree-Fock yaklaşıklığı Schrödinger denkleminin dayalı olmasına rağmen spin-yörünge etkisi yanında kütle-hız düzeltmeleri ve Darwin katkıları gibi relativistik etkileri de içerir. HFR hesaplamalarında, Hamiltonyenin hesaplanan özdeğerleri mevcut deneysel enerji seviyeleri kullanılarak en küçük kareler yöntemi ile gözlenen enerji seviyelerine uydurma yaparak iyileştirildi. En küçük kareler yönteminde spin-yörünge parametrelerinin ölçeklendirme faktörü temel kuantum mekaniksel hesaptaki değerlerinde bırakılırken Slater parametreleri (F^k ve G^k) ve konfigürasyon etkileşme

integralleri (R^k) için ölçeklendirme faktörlerinin iyileştirilmemiş A, B ve C hesapları için 0,75 olarak seçildi. Ölçeklendirme faktörlerinin bu düşük değerleri ağır elementler için Cowan [11] tarafından öne sürülmüştür. En küçük kareler yöntemiyle elde edilen uydurma parametreleriyle elektrik dipol geçişleri tekrar hesaplandı.

3.1. Pr V'in Bazı Seviyelerinin Enerjileri ve Landé g -Çarpanları

HFR [13] program paketi ile Pr V'in $5p^6nf$ ($n = 4 - 30$), $5p^6np$ ($n = 6 - 30$), $5p^6nd$ ($n = 5-30$), $5p^6ng$ ($n = 5-30$) ve $5p^6ns$ ($n = 6 - 30$) konfigürasyonlarının relativistik enerjileri ve Landé g -çarpanları için elde edilen sonuçlar Tablo 3.1. ve Tablo 3.2.'de $4f \ ^2F^o_{5/2}$ taban hal seviyesine göre cm^{-1} birim sistemine göre verilmektedir. Tablolarda farklı konfigürasyon setlerine göre hesaplanan sonuçlar A, B ve C harfleriyle ve sadece tek pariteli seviyeler “^o” indisiyle belirtilmektedir.

Tablo 3.1.'de $5p^64f$ ($n = 4-6$), $5p^6np$ ($n = 6, 7$), $5p^6nd$ ($n = 5-7$) ve $5p^6ns$ ($n = 6, 7$) seviyeleri için deneysel [15] ve teorik [7, 8] sonuçları olduğundan sadece bu seviyeler için karşılaştırma yapılmıştır. Enerji sonuçlarının çoğu mevcut çalışmalarla iyi bir uyum içindedir. Elde edilen sonuçların doğruluğunu göstermek için yüzde farklar (hata) $[|E_b - E_d|/E_d] \times 100$ hesaplandı. Burada E_b , bu çalışmayı, E_d , diğer çalışmaları göstermektedir. Elde edilen sonuçlar ile diğer deneysel çalışmalardaki [15] sonuçlar arasındaki yüzde fark, $5p^66p$ seviyesi dışında, $5p^64f$, $5p^66p$, $5p^65d$ ve $5p^6ns$ ($n = 6, 7$) uyarılmış seviyelerinin enerjileri için % 0,00 olarak bulunmuştur. Diğer teorik sonuçlar [8] (Tablo 3.1.'de b üst indis ile gösterilmiştir) arasındaki yüzde farklar incelendiğinde A, B ve C hesaplamaları için sırasıyla %0,07–1,48, %0,07–2,36 ve %0,07–1,48 aralığındadır. $5p^64f \ ^2F^o_{7/2}$ ve $5p^66p$ uyarılmış seviyeleri için çok az farklılıklar vardır. Diğer teorik sonuçlar [7] arasındaki yüzde farklar ise (Tablo 3.1.'de c üst indis ile gösterilmiştir.) A, B ve C hesaplamaları için sırasıyla %0,00–1,44, %0,00–1,08 ve %0,00–1,12 aralığındadır. Uyuşma $5p^66d$ seviyelerindeki enerjiler için biraz zayıftır. Landé g -çarpanları sonuçları ilk kez bu çalışma ile sunulmuştur [12]. Landé g -çarpanlarının astrofizik gibi birçok bilimsel alanda önemi iyi bilinmektedir. Pr V için veri tabanlarında mevcut olmayan $5p^6nf$ ($n = 7 - 30$), $5p^6np$ ($n = 8 - 30$), $5p^6nd$ ($n = 8-30$), $5p^6ng$ ($n = 5-30$) ve $5p^6ns$ ($n = 8 -$

30) konfigürasyonlarının enerjileri ve Landé g -çarpanları Tablo 3.1. ve Tablo 3.2.'de sunulmaktadır.

Tablo 3.1. Pr V'in düşük seviyelerinin E enerjileri (cm^{-1}) ve Landé g -çarpanları

Seviye			E (cm^{-1})		Landé g -çarpanı
Konf.	Terim		Bu çalışma	Diğer çalışmalar	Bu çalışma
5p ⁶ 4f	² F _{5/2} ^o	A	0,00	0,00 ^{a,b,c}	0,857
		B	0,00		0,857
		C	0,19		0,857
	² F _{7/2} ^o	A	3027,400	3027,4 ^a	1,143
		B	3027,600	2985 ^b	1,143
		C	3027,594	3027,22 ^c	1,143
	5p ⁶ 5d ² D _{3/2}	A	115052,300	115052,3 ^a	0,800
		B	115052,200	113543 ^b	0,800
		C	115051,756	115052,31 ^c	0,800
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	A	118513,800	118513,8 ^a	1,200
		B	118513,900	116942 ^b	1,200
		C	118514,649	118513,87 ^c	1,200
	5p ⁶ 6s ² S _{1/2}	A	178971,100	178971,1 ^a	2,002
		B	178970,700	177604 ^b	2,002
		C	178979,231	178971,33 ^c	2,003
	5p ⁶ 6p ² P _{1/2} ^o	A	223478,100	223478,1 ^a	0,666
		B	223478,100	220398 ^b	0,666
		C	223478,141	223478,44 ^c	0,666
5p ⁶ 6p	² P _{3/2} ^o	A	230039,500	230039,5 ^a	1,334
		B	232039,600	226690 ^b	1,334
		C	230039,582	230039,87 ^c	1,334
	5p ⁶ 5f ² F _{5/2} ^o	A	290296,500	286885,21 ^c	0,857
		B	288629,300		0,857
		C	288627,179		0,857
	² F _{7/2} ^o	A	290533,400	287062,98 ^c	1,143
		B	289150,100		1,143
		C	289148,365		1,143
5p ⁶ 6d	5p ⁶ 6d ² D _{3/2}	A	291198,300	289591 ^b	0,800
		B	290145,405	287050,47 ^c	0,800
		C	290266,170		0,792
	² D _{5/2}	A	292092,500	290686 ^b	1,200
		B	291022,797	288112,29 ^c	1,200
		C	291098,959		1,198
	5p ⁶ 7s ² S _{1/2}	A	304511,500	304511,5 ^a	2,002
		B	304511,400	304736 ^b	2,002
		C	304512,133		2,002
5p ⁶ 7p	5p ⁶ 7p ² P _{1/2} ^o	A	322422,300	323243,22 ^c	0,666
		B	322570,297		0,666
		C	322570,267		0,659
	² P _{3/2} ^o	A	324951,300	326118,59 ^c	1,334
		B	324969,100		1,334
		C	324969,082		1,327
	5p ⁶ 5g ² G _{7/2}	A	351437,900	—	0,889
		B	351489,100		0,889
		C	351488,937		0,889

Tablo 3.1. (Devamı)

Seviye		E (cm ⁻¹)		Landé g-çarpamı
Konf.	Terim	Bu çalışma	Diğer çalışmalar	Bu çalışma
	² G _{9/2}	A	351442,800	—
		B	351499,300	1,111
		C	351499,115	1,111
5p ⁶ 7d	² D _{3/2}	A	356293,100	353088,53 ^c
		B	354047,000	0,800
		C	354051,013	0,775
	² D _{5/2}	A	356722,600	353604,29 ^c
		B	354501,700	1,200
		C	354506,118	1,191
5p ⁶ 6f	² F _{5/2} ^o	A	353815,800	352071,26 ^c
		B	354396,900	0,857
		C	354395,329	0,857
	² F _{7/2} ^o	A	353941,100	352174,85 ^c
		B	354620,200	1,143
		C	354618,216	1,143
5p ⁶ 8s	² S _{1/2}	A	360476,500	—
		B	360438,000	2,002
		C	360438,391	2,002
5p ⁶ 8p	² P _{1/2} ^o	A	370452,100	—
		B	370468,010	0,666
		C	370467,994	0,666
	² P _{3/2} ^o	A	371812,900	—
		B	371830,511	1,334
		C	371830,494	1,334
5p ⁶ 6g	² G _{7/2}	A	385778,400	—
		B	385812,200	0,889
		C	385812,346	0,889
	² G _{9/2}	A	385781,100	—
		B	385817,000	1,111
		C	385817,471	1,111
5p ⁶ 7f	² F _{5/2} ^o	A	387464,900	—
		B	387606,400	0,857
		C	387606,144	0,857
	² F _{7/2} ^o	A	387538,000	—
		B	387688,500	1,143
		C	387688,139	1,143
5p ⁶ 8d	² D _{3/2}	A	390069,300	—
		B	387855,400	0,800
		C	387858,682	0,800
	² D _{5/2}	A	390314,300	—
		B	388121,000	1,200
		C	388124,619	1,200
5p ⁶ 9s	² S _{1/2}	A	391424,900	—
		B	391399,800	2,002
		C	391400,153	2,002
5p ⁶ 9p	² P _{1/2} ^o	A	397361,300	—
		B	397364,766	0,666
		C	397364,599	0,666
	² P _{3/2} ^o	A	398180,500	—
		B	398184,479	1,334
		C	398184,399	1,334

Tablo 3.1. (Devamı)

Seviye		E (cm ⁻¹)		Landé g-çarpımı
Konf.	Terim	Bu çalışma	Diğer çalışmalar	Bu çalışma
5p ⁶ 7g	² G _{7/2}	A 406481,300	–	0,889
		B 406502,600		0,889
		C 406502,875		0,889
	² G _{9/2}	A 406483,100	–	1,111
		B 406505,100		1,111
		C 406505,658		1,111
5p ⁶ 8f	² F ^o _{5/2}	A 407668,800	–	0,857
		B 407733,200		0,857
		C 407733,074		0,857
	² F ^o _{7/2}	A 407715,000	–	1,143
		B 407782,200		1,143
		C 407782,172		1,143
5p ⁶ 9d	² D _{3/2}	A 410165,100	–	0,800
		B 407983,900		0,800
		C 407986,018		0,800
	² D _{5/2}	A 410318,800	–	1,200
		B 408156,500		1,200
		C 408159,701		1,200
5p ⁶ 10s	² S _{1/2}	A 410208,200	–	2,002
		B 410189,700		2,002
		C 410190,251		2,002
5p ⁶ 10p	² P ^o _{1/2}	A 414027,000	–	0,666
		B 414027,593		0,666
		C 414027,500		0,666
	² P ^o _{3/2}	A 414559,200	–	1,334
		B 414560,199		1,334
		C 414560,100		1,334
5p ⁶ 8g	² G _{7/2}	A 419907,600	–	0,889
		B 419920,300		0,889
		C 419921,260		0,889
	² G _{9/2}	A 419909,000	–	1,111
		B 419921,900		1,111
		C 419922,765		1,111
5p ⁶ 9f	² F ^o _{5/2}	A 420759,400	–	0,857
		B 420795,600		0,857
		C 420795,585		0,857
	² F ^o _{7/2}	A 420790,500	–	1,143
		B 420828,100		1,143
		C 420827,984		1,143
5p ⁶ 10d	² D _{3/2}	A 423141,500	–	0,800
		B 420975,700		0,800
		C 421560,947		0,800
	² D _{5/2}	A 423244,500	–	1,200
		B 421100,700		1,200
		C 421591,298		1,200
5p ⁶ 9g	² G _{7/2}	A 429105,900	–	0,889
		B 429103,096		0,889
		C 429694,829		0,890
	² G _{9/2}	A 429106,800	–	1,111
		B 429112,800		1,111
		C 430717,294		1,112

Tablo 3.1. (Devamı)

Seviye		E (cm ⁻¹)		Landé <i>g</i> -çarpanı
Konf.	Terim	Bu çalışma	Diğer çalışmalar	Bu çalışma
5p ⁶ 10f	² F _{5/2} ^o	A 429732,500	–	0,857
		B 429755,600		0,857
		C 429755,391		0,857
	² F _{7/2} ^o	A 429754,500	–	1,143
		B 429778,100		1,143
		C 429777,990		1,143
5p ⁶ 10g	² G _{7/2}	A 435674,000	–	0,889
		B 435682,100		0,889
		C 436580,302		0,889
	² G _{9/2}	A 435674,500	–	1,111
		B 435683,400		1,111
		C 436561,422		1,112

^aNIST Atomik Spektrum Veritabanı [15], ^bSavukov ve ark. [8], ^cMigdalek ve Wyrozumska [7]

Tablo 3.2. Pr V'in yüksek uyarılmış seviyelerinin E enerjileri (cm⁻¹) ve Landé *g*-çarpanları

Seviye		E (cm ⁻¹)		Landé <i>g</i> -çarpanı	
Konf.	Terim	Bu çalışma		Bu çalışma	
		A	C	A	C
5p ⁶ 11p	² P _{1/2} ^o	425086,200	425085,900	0,666	0,666
	² P _{3/2} ^o	425451,000	425451,000	1,334	1,334
5p ⁶ 11s	² S _{1/2}	422484,300	423628,714	2,002	2,002
5p ⁶ 12s	² S _{1/2}	430958,600	430949,968	2,002	2,002
5p ⁶ 12p	² P _{1/2} ^o	432804,400	432803,900	0,666	0,666
	² P _{3/2} ^o	433065,400	433065,200	1,334	1,334
5p ⁶ 11f	² F _{5/2} ^o	436143,200	436158,494	0,857	0,857
	² F _{7/2} ^o	436159,000	436174,893	1,143	1,143
5p ⁶ 13s	² S _{1/2}	437053,700	438111,314	2,002	2,002
5p ⁶ 11d	² D _{3/2}	432027,300	432994,985	0,800	0,800
	² D _{5/2}	432099,600	433142,175	1,200	1,200
5p ⁶ 12d	² D _{3/2}	438371,700	437589,040	0,800	0,819
	² D _{5/2}	438424,500	437442,652	1,200	1,208
5p ⁶ 13p	² P _{1/2} ^o	438415,300	438414,700	0,666	0,666
	² P _{3/2} ^o	438608,500	438608,200	1,334	1,334
5p ⁶ 11g	² G _{7/2}	440534,300	440743,329	0,889	0,889
	² G _{9/2}	440534,800	440747,638	1,111	1,112
5p ⁶ 12f	² F _{5/2} ^o	440887,700	440898,595	0,857	0,857
	² F _{7/2} ^o	440899,600	440910,895	1,143	1,143
5p ⁶ 14s	² S _{1/2}	441573,800	442041,815	2,002	2,002
5p ⁶ 14p	² P _{1/2} ^o	442610,900	442610,400	0,666	0,666
	² P _{3/2} ^o	442757,900	442757,600	1,334	1,334
5p ⁶ 13d	² D _{3/2}	443063,300	441454,319	0,800	0,810
	² D _{5/2}	443103,000	444433,730	1,200	1,200
5p ⁶ 12g	² G _{7/2}	444225,200	444621,791	0,889	0,891
	² G _{9/2}	444225,700	444603,935	1,111	1,116
5p ⁶ 13f	² F _{5/2} ^o	444504,300	444512,597	0,857	0,857
	² F _{7/2} ^o	444513,700	444521,996	1,143	1,143
5p ⁶ 15s	² S _{1/2}	445035,000	445033,584	2,002	2,002
5p ⁶ 15p	² P _{1/2} ^o	445840,200	445839,700	0,666	0,666
	² P _{3/2} ^o	445954,600	445954,400	1,334	1,334

Tablo 3.2. (Devamı)

Seviye		E (cm ⁻¹)		Landé <i>g</i> -çarpımı	
Konf.	Terim	Bu çalışma		Bu çalışma	
		A	C	A	C
5p ⁶ 14d	² D _{3/2}	446643,300	445620,866	0,800	0,809
	² D _{5/2}	446673,800	445619,632	1,200	1,201
5p ⁶ 13g	² G _{7/2}	447092,400	447880,754	0,889	0,890
	² G _{9/2}	447092,900	447882,755	1,111	1,112
5p ⁶ 14f	² F _{5/2}	447310,700	447316,997	0,857	0,857
	² F _{7/2}	447318,100	447324,397	1,143	1,143
5p ⁶ 16s	² S _{1/2}	447724,100	447722,078	2,002	2,002
5p ⁶ 16p	² P _{1/2}	448371,200	448370,800	0,666	0,666
	² P _{3/2}	448462,100	448461,800	1,334	1,334
5p ⁶ 14g	² G _{7/2}	449372,800	449385,906	0,889	0,889
	² G _{9/2}	449372,800	449388,110	1,111	1,112
5p ⁶ 15d	² D _{3/2}	449418,600	448339,484	0,800	0,821
	² D _{5/2}	449442,600	448299,622	1,200	1,202
5p ⁶ 15f	² F _{5/2}	449552,100	449556,998	0,857	0,857
	² F _{7/2}	449558,000	449562,998	1,143	1,143
5p ⁶ 17s	² S _{1/2}	449872,700	449870,837	2,002	2,002
5p ⁶ 17p	² P _{1/2}	450384,100	450383,800	0,666	0,666
	² P _{3/2}	450457,400	450457,200	1,334	1,334
5p ⁶ 15g	² G _{7/2}	451197,000	451202,992	0,889	0,889
	² G _{9/2}	451197,000	451204,863	1,111	1,111
5p ⁶ 18s	² S _{1/2}	451621,500	453047,483	2,002	2,002
5p ⁶ 16f	² F _{5/2}	451353,800	451357,598	0,857	0,857
	² F _{7/2}	451358,400	451362,398	1,143	1,143
5p ⁶ 16d	² D _{3/2}	451637,800	449795,723	0,800	0,802
	² D _{5/2}	451657,100	451394,875	1,200	1,201
5p ⁶ 18p	² P _{1/2}	452026,500	452026,200	0,666	0,666
	² P _{3/2}	452086,500	452086,300	1,334	1,334
5p ⁶ 16g	² G _{7/2}	452684,000	452688,003	0,889	0,889
	² G _{9/2}	452684,000	452689,377	1,111	1,111
5p ⁶ 17f	² F _{5/2}	452814,400	452817,499	0,857	0,857
	² F _{7/2}	452818,200	452821,499	1,143	1,200
5p ⁶ 19s	² S _{1/2}	453049,100	453127,233	2,002	0,889
5p ⁶ 19p	² P _{1/2}	453390,300	453390,100	0,666	0,666
	² P _{3/2}	453440,100	453439,900	1,334	0,857
5p ⁶ 17d	² D _{3/2}	453430,100	452502,802	0,800	0,800
	² D _{5/2}	453445,900	452437,538	1,200	2,002
5p ⁶ 17g	² G _{7/2}	453934,700	453937,678	0,889	0,666
	² G _{9/2}	453934,700	453938,746	1,111	1,334
5p ⁶ 18f	² F _{5/2}	454039,600	454042,099	0,857	0,857
	² F _{7/2}	454042,700	454045,499	1,143	1,143
5p ⁶ 20s	² S _{1/2}	454236,700	454235,454	2,002	2,002
5p ⁶ 20p	² P _{1/2}	454516,500	454516,300	0,666	0,666
	² P _{3/2}	454558,200	454558,100	1,334	1,334
5p ⁶ 18d	² D _{3/2}	454882,300	453241,471	0,800	0,793
	² D _{5/2}	454895,300	453217,428	1,200	1,200
5p ⁶ 18g	² G _{7/2}	454962,400	454964,754	0,889	0,889
	² G _{9/2}	454962,400	454965,646	1,111	1,111
5p ⁶ 19f	² F _{5/2}	455046,600	455048,799	0,857	0,857
	² F _{7/2}	455049,400	455051,599	1,143	1,143
5p ⁶ 21s	² S _{1/2}	455224,700	—	2,002	—

Tablo 3.2. (Devamı)

Seviye		E (cm ⁻¹)		Landé <i>g</i> -çarpımı	
Konf.	Terim	Bu çalışma		Bu çalışma	
		A	C	A	C
5p ⁶ 21p	² P _{1/2} ^o	455486,500	—	0,666	—
	² P _{3/2} ^o	455521,900	—	1,334	—
5p ⁶ 19g	² G _{7/2}	455862,900	455864,776	0,889	0,889
	² G _{9/2}	455862,900	455865,536	1,111	1,111
5p ⁶ 20f	² F _{5/2} ^o	455920,600	455922,499	0,857	0,857
	² F _{7/2} ^o	455923,100	455924,899	1,143	1,143
5p ⁶ 22s	² S _{1/2}	456042,800	—	2,002	—
5p ⁶ 19d	² D _{3/2}	456096,700	454153,594	0,800	0,797
	² D _{5/2}	456107,400	454145,681	1,200	1,200
5p ⁶ 22p	² P _{1/2} ^o	456269,600	—	0,666	—
	² P _{3/2} ^o	456299,700	—	1,334	—
5p ⁶ 20g	² G _{7/2}	456622,300	456623,849	0,889	0,889
	² G _{9/2}	456622,300	456624,511	1,111	1,111
5p ⁶ 21f	² F _{5/2} ^o	456685,800	—	0,857	—
	² F _{7/2} ^o	456687,900	—	1,143	—
5p ⁶ 23s	² S _{1/2}	456782,700	—	2,002	—
5p ⁶ 23p	² P _{1/2} ^o	456946,500	—	0,666	—
	² P _{3/2} ^o	456972,400	—	1,334	—
5p ⁶ 20d	² D _{3/2}	457095,800	455123,203	0,800	0,799
	² D _{5/2}	457104,800	455130,074	1,200	1,198
5p ⁶ 21g	² G _{7/2}	457242,400	—	0,889	—
	² G _{9/2}	457242,400	—	1,111	—
5p ⁶ 22f	² F _{5/2} ^o	457310,800	—	0,857	—
	² F _{7/2} ^o	457312,500	—	1,143	—
5p ⁶ 24s	² S _{1/2}	457423,700	—	2,002	—
5p ⁶ 24p	² P _{1/2} ^o	457564,900	—	0,666	—
	² P _{3/2} ^o	457587,400	—	1,334	—
5p ⁶ 22g	² G _{7/2}	457789,200	—	0,889	—
	² G _{9/2}	457789,200	—	1,111	—
5p ⁶ 23f	² F _{5/2} ^o	457836,000	—	0,857	—
	² F _{7/2} ^o	457837,400	—	1,143	—
5p ⁶ 25s	² S _{1/2}	457943,500	—	2,002	—
5p ⁶ 21d	² D _{3/2}	457949,800	—	0,800	—
	² D _{5/2}	457957,600	—	1,200	—
5p ⁶ 25p	² P _{1/2} ^o	458098,400	—	0,666	—
	² P _{3/2} ^o	458118,000	—	1,334	—
5p ⁶ 23g	² G _{7/2}	458293,500	—	0,889	—
	² G _{9/2}	458293,500	—	1,111	—
5p ⁶ 24f	² F _{5/2} ^o	458319,700	—	0,857	—
	² F _{7/2} ^o	458321,100	—	1,143	—
5p ⁶ 26s	² S _{1/2}	458397,800	—	2,002	—
5p ⁶ 26p	² P _{1/2} ^o	458562,400	—	0,666	—
	² P _{3/2} ^o	458579,600	—	1,334	—
5p ⁶ 22d	² D _{3/2}	458712,900	—	0,800	—
	² D _{5/2}	458719,600	—	1,200	—
5p ⁶ 24g	² G _{7/2}	458752,200	—	0,889	—
	² G _{9/2}	458752,200	—	1,111	—
5p ⁶ 25f	² F _{5/2} ^o	458763,500	—	0,857	—
	² F _{7/2} ^o	458764,500	—	1,143	—
5p ⁶ 27s	² S _{1/2}	458780,600	—	2,002	—
5p ⁶ 27p	² P _{1/2} ^o	458905,600	—	0,666	—

Tablo 3.2. (Devamı)

Seviye		E (cm ⁻¹)		Landé <i>g</i> -çarpamı	
Konf.	Terim	Bu çalışma		Bu çalışma	
		A	C	A	C
5p ⁶ 26f	² P _{3/2} ^o	458920,900	—	1,334	—
	² F _{5/2} ^o	459167,400	—	0,857	—
	² F _{7/2} ^o	459168,500	—	1,143	—
5p ⁶ 25g	² G _{7/2}	459125,500	—	0,889	—
	² G _{9/2}	459125,500	—	1,111	—
5p ⁶ 28s	² S _{1/2}	459195,900	—	2,002	—
5p ⁶ 28p	² P _{1/2} ^o	459279,200	—	0,666	—
	² P _{3/2} ^o	459292,700	—	1,334	—
5p ⁶ 23d	² D _{3/2}	459346,000	—	0,800	—
	² D _{5/2}	459351,800	—	1,200	—
5p ⁶ 27f	² F _{5/2} ^o	459466,800	—	0,857	—
	² F _{7/2} ^o	459467,800	—	1,143	—
5p ⁶ 26g	² G _{7/2}	459437,200	—	0,889	—
	² G _{9/2}	459437,200	—	1,111	—
5p ⁶ 29s	² S _{1/2}	459477,700	—	2,002	—
5p ⁶ 29p	² P _{1/2} ^o	459564,000	—	0,666	—
	² P _{3/2} ^o	459576,000	—	1,334	—
5p ⁶ 27g	² G _{7/2}	459779,500	—	0,889	—
	² G _{9/2}	459779,500	—	1,111	—
5p ⁶ 30s	² S _{1/2}	459829,000	—	2,002	—
5p ⁶ 28f	² F _{5/2} ^o	459833,900	—	0,857	—
	² F _{7/2} ^o	459834,900	—	1,143	—
5p ⁶ 30p	² P _{1/2} ^o	459789,200	—	0,666	—
	² P _{3/2} ^o	459800,000	—	1,334	—
5p ⁶ 24d	² D _{3/2}	459865,300	—	0,800	—
	² D _{5/2}	459870,300	—	1,200	—
5p ⁶ 28g	² G _{7/2}	459948,500	—	0,889	—
	² G _{9/2}	459948,500	—	1,111	—
5p ⁶ 29f	² F _{5/2} ^o	460045,600	—	0,857	—
	² F _{7/2} ^o	460046,300	—	1,143	—
5p ⁶ 29g	² G _{7/2}	460147,300	—	0,889	—
	² G _{9/2}	460147,300	—	1,111	—
5p ⁶ 30f	² F _{5/2} ^o	460175,600	—	0,857	—
	² F _{7/2} ^o	460176,300	—	1,143	—
5p ⁶ 25d	² D _{3/2}	460335,600	—	0,800	—
	² D _{5/2}	460340,100	—	1,200	—
5p ⁶ 30g	² G _{7/2}	460479,400	—	0,889	—
	² G _{9/2}	460479,400	—	1,111	—
5p ⁶ 26d	² D _{3/2}	460760,400	—	0,800	—
	² D _{5/2}	460764,200	—	1,200	—
5p ⁶ 27d	² D _{3/2}	461176,300	—	0,800	—
	² D _{5/2}	461179,800	—	1,200	—
5p ⁶ 28d	² D _{3/2}	461470,700	—	0,800	—
	² D _{5/2}	461473,700	—	1,200	—
5p ⁶ 29d	² D _{3/2}	461844,600	—	0,800	—
	² D _{5/2}	461847,300	—	1,200	—
5p ⁶ 30d	² D _{3/2}	462101,000	—	0,800	—
	² D _{5/2}	462103,500	—	1,200	—

3.2. Pr V'in Elektrik Dipol Geçişleri için Dalga Boyları, Ağırlıklı Salınıcı Şiddetleri ve Geçiş Olasılıkları

HFR yöntemiyle Pr V'in elektrik dipol geçişleri için ışıma parametreleri (dalga boyları, salınıcı şiddetleri ve geçiş olasılıkları) hesaplandı. A, B ve C hesaplamaları için tek ve çift parite seviyeleri arasında sırasıyla 7287, 22637 ve 33618 mümkün elektrik dipol geçişleri elde edildi. Elektrik dipol geçişleri için hesaplanan değerler çok fazla olduğundan sonuçların sadece bir bölümü Tablo 3.3. ve Tablo 3.4.'te verildi. Tablo 3.3.'te diğer hesaplama yöntemleri ve deney sonuçları ile elde edilen mevcut çalışmalarla karşılaştırma yapıldı. Tablo 3.4.'te geçiş olasılığı 10^8 s^{-1} veya daha büyük olan geçişler için λ (Å) dalga boyları, $\log(gf)$ logaritmik ağırlıklı salınıcı şiddetleri ve $gA_{ki}(\text{s}^{-1})$ ağırlıklı geçiş olasılıkları sunuldu. Tablo 3.4.'teki geçişlere ait tüm veriler bu çalışmayla ilk defa elde edildi [12]. Bu tablolarda çeşitli konfigürasyon seviyeleri için hesaplamalar A, B ve C ile gösterilmektedir. Diğer karşılaştırma değerleri, tabloların altında küçük harfle yazılmıştır. Yalnızca tablolardaki tek parite durumları “^o” üst indis ile gösterildi ve parantez içindeki sayılar 10'un kuvvetlerini temsil etmektedir.

Tablo 3.3.'te, $5p^66p - 5p^66s$, $5p^66p - 5p^65d$, $5p^65d - 5p^64f$, $5p^67s - 5p^66p$, $5p^66d - 5p^66p$, $5p^67d - 5p^66p$, $5p^65f - 5p^65d$ ve $5p^66f - 5p^65d$ elektrik dipol (E1) geçişleri için $\lambda(\text{Å})$ dalga boyları, f salınıcı şiddetleri ve $A_{ki}(\text{s}^{-1})$ geçiş olasılıkları sunulmuştur. Bu geçişler için karşılaştırılabilir değerler literatürde mevcuttur. Bu nedenle Tablo 3.3.'te diğer hesaplama yöntemleri ve deneyler sonuçları ile elde edilen mevcut çalışmalarla karşılaştırma yapıldı. Karşılaştırma yapabilmek için geçiş olasılıkları, ağırlıklı geçiş olasılıklarının üst seviyenin g istatistiksel ağırlıklarına bölünmesiyle ve salınıcı şiddetleri de ağırlıklı salınıcı şiddetlerinin g alt seviyenin istatistiksel ağırlıklarına bölünmesiyle elde edilen sonuçları şeklinde verildi. Elde edilen sonuçlar bazı geçişler hariç diğer çalışmalarla iyi bir uyum içindedir. Bazı geçişler için uyum geçiş olasılıklarında ve salınıcı şiddetlerinde az olmasına rağmen, dalga boylarında çok iyidir. Hesaplanan salınıcı şiddetleri, Pr V'in yirmi geçişi için mevcut teorik sonuçlar [5, 7–9] ile Tablo 3.3.'te karşılaştırılmıştır. Bu tablodan görüleceği üzere A, B ve C hesaplamalarından elde edilen salınıcı şiddetleri, $5p^65f \text{ } ^2F^o_{5/2} - 5p^65d \text{ } ^2D_{3/2}$, $5p^65f \text{ } ^2F^o_{7/2} - 5p^65d \text{ } ^2D_{5/2}$ ve $5p^66f - 5p^65d$ geçişleri dışında, diğer çalışmalar ile

uyumludur. Elde edilen sonuçların doğruluğunu göstermek için $\log gf_{(bu\ \text{çalışma})} / \log gf_{(diğer\ \text{çalışmalar})}$ oran ortalaması hesapladı. Sonuçlar ile diğer çalışma [8] arasındaki oran ortalaması, 1,63 (A hesabı), 1,04 (B hesabı) ve 0,96 (C hesabı) olarak bulunmuştur. Ayrıca $5p^65d - 5p^64f$ ve $5p^66f\ ^2F^o_{5/2} - 5p^65d\ ^2D_{3/2}$ geçişleri haricinde $\log gf_{(bu\ \text{çalışma})} / \log gf_{[7,\ c1]}$, 1,29 (A hesabı), 1,06 (B hesabı) ve 1,01 (C hesabı) değerleri elde edilmiştir. Mevcut teorik geçiş olasılıkları için literatürde yalnızca bir çalışma vardır [8]. Bu nedenle sekiz geçiş için karşılaştırma yapıldı. Genel olarak, B ve C hesaplamalarındaki sonuçlar, diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında daha iyi uyum vermektedir. $5p^66p\ ^2P^o_{3/2} - 5p^66s\ ^2S_{1/2}$ geçişindeki geçiş olasılığı için uyum zayıftır. Ayrıca, bu geçiş dışında $A_{ki}(bu\ \text{çalışma}) / A_{ki}[8]$ oran ortalaması, A hesabı için 1,65, B hesabı için 1,02 ve C hesabı için 0,93 olarak hesaplanmıştır. B ve C hesaplamaları ile elde edilen geçiş sonuçları, diğer çalışmalarla daha uyumludur.

Bu hesaplamalar öz-değerlik elektronları arasındaki karşılıklı etkileşimleri içermektedir. HFR hesaplamalarından elde edilen bu sonuçlar, özden uyarılmaları ($5p^6$) içeren konfigürasyonlar eklenerek geliştirebilir. Ancak bu durum, bazı program kısıtlamaları veya yakınsama sorunları ortaya çıkarmaktadır. Elektronlar arasındaki karşılıklı etkileşme etkileri ve relativistik etkiler ağır elementlerin spektrumlarında önemli rol oynamaktadır. Pr V gibi ağır atomların ışımsal atomik özelliklerin yapı hesaplamasında ve doğru tahmininde kompleks konfigürasyon etkileşimi ve relativistik etkiler aynı anda ele alınmalıdır. Migdalek ve Bojara [6] teori ve deney arasındaki uyuşmanın geliştirilmesinde relativistik etkilerin ve öz kutuplaşmanın önemli bir rolü olduğunu göstermişlerdir. Bu nedenle hesaplamalar iyonik öz etkilerinin polarizasyonu hesaba katmak için geliştirilen HFR yöntemi kullanılarak geliştirilebilir.

Tablo 3.3. Pr V'in elektrik dipol (E1) geçişleri için λ dalga boyları (Å), f salınıcı şiddetleri ve A_{ki} geçiş olasılıkları (s^{-1})

Geçişler				λ (Å)			f		$A_{ki}(s^{-1})$	
Üst Seviye		Alt Seviye			Bu çalışma	Diğer çalışmalar	Bu çalışma	Diğer çalışmalar	Bu çalışma	Diğer çalışmalar
5p ⁶ 6p	2P ^o _{1/2}	5p ⁶ 6s	2S _{1/2}	A	2246,84	2246,759 ^a	0,4322	0,308 ^b	5,710(8)	4,07(8) ^b
				B	2246,81	2337 ^b	0,3659	0,338 ^{c1}	4,834(8)	
				C	2247,25		0,3551	0,321 ^{c2}	4,690(8)	
								0,325 ^{c3}		
								0,436 ^{d1}		
								0,353 ^{d2}		
								0,418 ^e		
5p ⁶ 6p	2P ^o _{3/2}	5p ⁶ 6s	2S _{1/2}	A	1958,16	1958,088 ^a	0,9918	0,707 ^b	8,625(8)	6,15(9) ^b
				B	1884,34	2037 ^b	0,8756	0,784 ^{c1}	8,223(8)	
				C	1958,47		0,8179	0,746 ^{c2}	7,113(8)	
								0,745 ^{c3}		
								0,993 ^{d1}		
								0,817 ^{d2}		
								0,952 ^e		
5p ⁶ 6p	2P ^o _{1/2}	5p ⁶ 5d	2D _{3/2}	A	922,29	922,290 ^a	0,1996	0,161 ^b	3,131(9)	2,52(9) ^b
				B	922,29	936 ^b	0,1720	0,181 ^{c1}	2,698(9)	
				C	922,29		0,1673	0,174 ^{c2}	2,623(9)	
								0,165 ^{c3}		
								0,210 ^e		
5p ⁶ 6p	2P ^o _{3/2}	5p ⁶ 5d	2D _{3/2}	A	869,66	869,622 ^a	0,0423	0,0306 ^b	3,735(8)	2,70(8) ^b
				B	854,79	911 ^b	0,0372	0,220 ^{c1}	3,400(8)	
				C	869,66		0,0356	0,0334 ^{c2}	3,140(8)	
								0,0311 ^{c3}		
								0,0390 ^e		
5p ⁶ 6p	2P ^o _{3/2}	5p ⁶ 5d	2D _{5/2}	A	896,65	896,654 ^a	0,2464	0,191 ^b	3,068(9)	2,37(9) ^b
				B	880,86	911 ^b	0,2165	0,220 ^{c1}	2,790(9)	
				C	896,66		0,2067	0,205 ^{c2}	2,573(9)	
								0,193 ^{c3}		
								0,239 ^e		

Tablo 3.3. (devamı)

Geçişler				λ (Å)		f		$A_{ki}(s^{-1})$		
Üst Seviye		Alt Seviye			Bu çalışma	Diğer çalışmalar	Bu çalışma	Diğer çalışmalar	Bu çalışma	Diğer çalışmalar
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 4f	² F ^o _{5/2}	A	869,17	869,170 ^a	0,0611	0,0290 ^b	8,093(8)	3,85(8) ^b
				B	869,17	881 ^b	0,0235	0,0169 ^{c1}	3,113(8)	
				C	869,17		0,0196	0,0318 ^{c2}	2,593(8)	
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 4f	² F ^o _{5/2}	A	843,78	843,783 ^a	0,0045	0,0021 ^b	4,212(7)	2,01(7) ^b
				B	843,78	863 ^b	0,0018	0,00099 ^{c1}	1,695(7)	
				C	843,78		0,0015	0,00236 ^{c2}	1,427(7)	
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	A	865,90	865,902 ^a	0,0657	0,0318 ^b	7,795(8)	3,78(8) ^b
				B	865,90	877 ^b	0,0253	0,0175 ^{c1}	3,003(8)	
				C	865,90		0,0211	0,0351 ^{c2}	2,500(8)	
5p ⁶ 7s	² S _{1/2}	5p ⁶ 6p	² P ^o _{1/2}	A	1234,06	1234,070 ^a	0,2278	—	1,00(9)	—
				B	1234,06		0,2425		1,06(9)	
				C	1234,05		0,2456		1,07(9)	
5p ⁶ 7s	² S _{1/2}	5p ⁶ 6p	² P ^o _{3/2}	A	1342,79	1342,775 ^a	0,2093	—	1,55(9)	—
				B	1379,85		0,2168		1,52(9)	
				C	1342,78		0,2258		1,67(9)	
5p ⁶ 6d	² D _{3/2}	5p ⁶ 6p	² P ^o _{1/2}	A	1476,66	—	1,4733	1,208 ^{c1}	2,253(9)	—
				B	1499,99		0,9975	1,185 ^{c2}	1,479(9)	
				C	1497,27		1,0885	1,146 ^{c3}	1,619(9)	
5p ⁶ 6d	² D _{3/2}	5p ⁶ 6p	² P ^o _{3/2}	A	1635,09	—	0,1331	0,123 ^{c1}	3,320(8)	—
				B	1721,00		0,0876	0,119 ^{c2}	1,972(8)	
				C	1660,40		0,0989	0,113 ^{c3}	2,393(8)	
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 6p	² P ^o _{3/2}	A	1611,53	—	1,2150	1,111 ^{c1}	2,080(9)	—
				B	1695,40		0,8717	1,080 ^{c2}	1,349(9)	
				C	1637,75		0,9121	1,031 ^{c3}	1,512(9)	
5p ⁶ 7d	² D _{3/2}	5p ⁶ 6p	² P ^o _{1/2}	A	752,93	—	0,0583	0,0516 ^{c1}	3,430(8)	—
				B	765,88		0,0262	0,0391 ^{c2}	1,488(8)	
				C	765,85		0,0218	0,0157 ^{c3}	1,239(8)	

Tablo 3.3. (devamı)

Geçişler				λ (Å)		f		$A_{ki}(s^{-1})$		
Üst Seviye	Alt Seviye				Bu çalışma	Diğer çalışmalar	Bu çalışma	Diğer çalışmalar	Bu çalışma	Diğer çalışmalar
5p ⁶ 7d	2D _{3/2}	5p ⁶ 6p	2P ^o _{3/2}	A	792,06	–	0,0055	0,00319 ^{c1}	5,890(7)	–
				B	819,62		0,0026	0,00222 ^{c2}	2,570(7)	
				C	806,38		0,0022	0,00053 ^{c3}	2,278(7)	
5p ⁶ 7d	2D _{5/2}	5p ⁶ 6p	2P ^o _{3/2}	A	789,37	–	0,0500	0,0336 ^{c1}	3,570(8)	–
				B	816,58		0,0237	0,0241 ^{c2}	1,583(8)	
				C	803,43		0,0205	0,0070 ^{c3}	1,412(8)	
5p ⁶ 5f	2F ^o _{5/2}	5p ⁶ 5d	2D _{3/2}	A	570,63	–	0,9702	0,667 ^{c1}	1,325(10)	–
				B	576,11		0,8489	0,674 ^{c2}	1,137(10)	
				C	576,12		0,8369	0,660 ^{c3}	1,121(10)	
5p ⁶ 5f	2F ^o _{5/2}	5p ⁶ 5d	2D _{5/2}	A	582,13	–	0,0453	0,0326 ^{c1}	8,913(8)	–
				B	587,84		0,0396	0,0331 ^{c2}	7,640(8)	
				C	587,85		0,0390	0,0322 ^{c3}	7,528(8)	
5p ⁶ 5f	2F ^o _{7/2}	5p ⁶ 5d	2D _{5/2}	A	581,33	–	0,9070	0,647 ^{c1}	1,343(10)	–
				B	586,04		0,8120	0,660 ^{c2}	1,183(10)	
				C	586,05		0,8003	0,641 ^{c3}	1,166(10)	
5p ⁶ 6f	2F ^o _{5/2}	5p ⁶ 5d	2D _{3/2}	A	418,82	–	0,2055	0,108 ^{c1}	5,208(9)	–
				B	417,81		0,2116	0,0996 ^{c2}	5,390(9)	
				C	417,81		0,2107	0,0831 ^{c3}	5,368(9)	
5p ⁶ 6f	2F ^o _{5/2}	5p ⁶ 5d	2D _{5/2}	A	424,99	–	0,0096	0,00513 ^{c1}	3,562(8)	–
				B	423,94		0,0100	0,00461 ^{c2}	3,718(8)	
				C	423,94		0,0100	0,00388 ^{c3}	3,707(8)	
5p ⁶ 6f	2F ^o _{7/2}	5p ⁶ 5d	2D _{5/2}	A	424,76	–	0,1930	0,104 ^{c1}	5,350(9)	–
				B	423,54		0,1998	0,0932 ^{c2}	5,573(9)	
				C	423,54		0,1991	0,0782 ^{c3}	5,551(9)	

^aKaufman ve Sugar [3], ^bSavukov ve ark. [8], ^{c1,c2,c3}Migdalek ve Wyrozumska [7], ^{d1,d2}Migdalek ve Baylis [5], ^eZitilis [9]

Tablo 3.4. Pr V'in elektrik dipol (E1) geçişleri için λ (Å), $\log(gf)$ ve gA_{ki} (s^{-1})

Geçişler					λ (Å)	$\log(gf)$	gA_{ki} (s^{-1})
Alt seviye		Üst seviye					
5p ⁶ 4f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 6d	² D _{3/2}	A	343,41	-1,54	1,63(9)
				B	344,66	0,11	7,27(10)
				C	344,51	0,16	8,20(10)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	A	342,36	-2,69	1,17(8)
				B	343,62	-0,62	1,37(10)
				C	343,53	-0,72	1,08(10)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 5g	² G _{7/2}	A	284,55	-0,94	9,57(9)
				B	284,50	-0,68	1,71(10)
				C	284,50	-0,65	1,83(10)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 7d	² D _{3/2}	A	280,67	-1,96	9,32(8)
				B	282,45	-1,17	5,66(9)
				C	282,45	-1,09	6,73(9)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 7d	² D _{5/2}	B	282,09	-2,28	4,39(8)
				C	282,08	-2,21	5,22(8)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 6g	² G _{7/2}	A	259,22	-1,02	9,56(9)
				B	259,19	-0,80	1,56(10)
				C	259,19	-0,78	1,66(10)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 8d	² D _{3/2}	A	256,36	-2,25	5,76(8)
				B	257,83	-1,61	2,48(9)
				C	257,83	-1,54	2,88(9)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 7g	² G _{7/2}	A	246,01	-1,15	7,78(9)
				B	246,00	-0,95	1,23(10)
				C	246,00	-0,93	1,30(10)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 9d	² D _{3/2}	A	243,80	-2,47	3,78(8)
				B	245,11	-1,91	1,38(9)
				C	245,11	-1,85	1,57(9)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 8g	² G _{7/2}	A	238,15	-1,29	6,02(9)
				B	238,14	-1,10	9,34(9)
				C	238,14	-1,08	9,86(9)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 10d	² D _{3/2}	A	236,33	-2,66	2,60(8)
				B	237,54	-2,16	8,24(8)
				C	237,21	-2,10	9,33(8)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 9g	² G _{7/2}	A	233,04	-1,42	4,63(9)
				B	233,04	-1,28	6,44(9)
				C	232,72	-1,22	7,45(9)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 8d	² D _{5/2}	B	257,65	-2,73	1,88(8)
				C	257,65	-2,66	2,18(8)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 9d	² D _{5/2}	B	245,00	-3,03	1,04(8)
				C	245,00	-2,97	1,19(8)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 11d	² D _{3/2}	A	231,47	-2,83	1,86(8)
				C	230,95	-2,33	5,90(8)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler							
Alt seviye		Üst seviye		λ (Å)		log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 10g	² G _{7/2}	A	229,53	-1,55	3,59(9)
				B	229,52	-1,38	5,29(9)
				C	229,05	-1,35	5,75(9)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 12d	² D _{3/2}	A	228,12	-2,97	1,38(8)
				C	228,53	-2,51	3,93(8)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 11g	² G _{7/2}	A	227,00	-1,66	2,82(9)
				C	226,89	-1,47	4,37(9)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 13d	² D _{3/2}	A	225,70	-3,10	1,05(8)
				C	226,52	-2,85	1,82(8)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 14d	² D _{3/2}	C	224,41	-2,52	3,98(8)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 12g	² G _{7/2}	A	225,11	-1,77	2,24(9)
				C	224,91	-1,59	3,43(9)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 13g	² G _{7/2}	A	223,67	-1,87	1,81(9)
				C	223,27	-1,65	2,97(9)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 14g	² G _{7/2}	A	222,53	-1,96	1,47(9)
				C	222,53	-1,75	2,41(9)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 15g	² G _{7/2}	A	221,63	-2,05	1,22(9)
				C	221,63	-1,84	1,97(9)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 16g	² G _{7/2}	A	220,90	-2,13	1,01(9)
				C	220,90	-1,92	1,64(9)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 17g	² G _{7/2}	A	220,30	-2,21	8,54(8)
				C	220,29	-2,00	1,38(9)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 18g	² G _{7/2}	A	219,80	-2,28	7,25(8)
				C	219,80	-2,07	1,17(9)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 19g	² G _{7/2}	A	219,36	-2,35	6,21(8)
				C	219,36	-2,14	1,02(9)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 20g	² G _{7/2}	A	219,00	-2,41	5,36(8)
				C	219,00	-2,25	7,87(8)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 16d	² D _{3/2}	C	222,32	-2,95	1,50(8)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 17d	² D _{3/2}	C	220,99	-2,85	1,91(8)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 18d	² D _{3/2}	C	220,63	-2,92	1,65(8)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 19d	² D _{3/2}	C	220,19	-3,06	1,20(8)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 21g	² G _{7/2}	A	218,70	-2,48	4,65(8)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 22g	² G _{7/2}	A	218,44	-2,54	4,06(8)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 23g	² G _{7/2}	A	218,20	-2,59	3,57(8)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 24g	² G _{7/2}	A	217,98	-2,65	3,15(8)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 25g	² G _{7/2}	A	217,81	-2,70	2,80(8)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 26g	² G _{7/2}	A	217,66	-2,75	2,49(8)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 27g	² G _{7/2}	A	217,50	-2,80	2,24(8)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 28g	² G _{7/2}	A	217,42	-2,85	2,00(8)
5p ⁶ 4f	² F _{5/2}	5p ⁶ 29g	² G _{7/2}	A	217,32	-2,89	1,81(8)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler							
Alt seviye		Üst seviye		λ (Å)		log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 30g	² G _{7/2}	A	217,16	-2,94	1,64(8)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	A	345,94	-1,39	2,27(9)
				B	347,23	0,19	8,59(10)
				C	347,14	0,31	1,14(11)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 5g	² G _{7/2}	A	287,02	-2,37	3,45(8)
				B	286,98	-2,10	6,40(8)
				C	286,98	-2,07	6,89(8)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 5g	² G _{9/2}	A	287,01	-0,83	1,21(10)
				B	286,97	-0,56	2,25(10)
				C	286,97	-0,53	2,42(10)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 7d	² D _{5/2}	A	282,73	-1,81	1,30(9)
				B	284,52	-1,01	8,13(9)
				C	284,51	-0,93	9,68(9)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 6g	² G _{7/2}	A	261,27	-2,45	3,46(8)
				B	261,24	-2,23	5,76(8)
				C	261,24	-2,20	6,13(8)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 6g	² G _{9/2}	A	261,26	-0,91	1,21(10)
				B	261,24	-0,69	2,02(10)
				C	261,24	-0,66	2,15(10)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 8d	² D _{5/2}	A	258,21	-2,09	8,05(8)
				B	259,68	-1,45	3,55(9)
				C	259,67	-1,38	4,12(9)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 7g	² G _{7/2}	A	247,86	-2,59	2,82(8)
				B	247,85	-2,38	4,51(8)
				C	247,85	-2,36	4,78(8)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 7g	² G _{9/2}	A	247,86	-1,04	9,86(9)
				B	247,85	-0,84	1,58(10)
				C	247,84	-0,81	1,67(10)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 9d	² D _{5/2}	A	245,52	-2,32	5,28(8)
				B	246,84	-1,75	1,97(9)
				C	246,83	-1,69	2,25(9)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 8g	² G _{7/2}	A	239,88	-2,73	2,18(8)
				B	239,87	-2,53	3,44(8)
				C	239,87	-2,50	3,64(8)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 8g	² G _{9/2}	A	239,88	-1,18	7,64(9)
				B	239,87	-0,99	1,20(10)
				C	239,87	-0,96	1,27(10)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 10d	² D _{5/2}	A	237,97	-2,51	3,64(8)
				B	239,19	-1,99	1,19(9)
				C	238,91	-1,94	1,35(9)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler				λ (Å)		log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
Alt seviye	Üst seviye						
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 9g	² G _{7/2}	A	234,70	-2,86	1,68(8)
				B	234,70	-2,71	2,38(8)
				C	234,37	-2,66	2,68(8)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 9g	² G _{9/2}	A	234,70	-1,31	5,88(9)
				B	234,69	-1,12	9,09(9)
				C	233,81	-1,11	9,55(9)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 11d	² D _{5/2}	A	233,06	-2,67	2,61(8)
				C	232,50	-2,16	8,46(8)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 10g	² G _{7/2}	A	231,14	-2,98	1,30(8)
				B	231,13	-2,80	1,97(8)
				C	230,65	-2,76	2,16(8)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 10g	² G _{9/2}	A	231,14	-1,44	4,56(9)
				B	231,13	-1,27	6,68(9)
				C	230,66	-1,27	6,77(9)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 12d	² D _{5/2}	A	229,68	-2,82	1,93(8)
				C	230,19	-2,51	3,90(8)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 11g	² G _{7/2}	A	228,57	-3,10	1,02(8)
				C	228,46	-2,91	1,58(8)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 11g	² G _{9/2}	A	228,57	-1,55	3,58(9)
				C	228,46	-1,32	6,08(9)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 13d	² D _{5/2}	A	227,23	-2,95	1,46(8)
				C	226,55	-2,34	5,89(8)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 12g	² G _{7/2}	C	226,45	-3,02	1,24(8)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 12g	² G _{9/2}	A	226,66	-1,66	2,85(9)
				C	226,46	-1,48	4,31(9)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 14d	² D _{5/2}	A	225,40	-3,06	1,14(8)
				C	225,94	-2,34	5,94(8)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 13g	² G _{7/2}	C	224,79	-3,08	1,09(8)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 13g	² G _{9/2}	A	225,19	-1,76	2,30(9)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 14g	² G _{9/2}	A	224,04	-1,85	1,87(9)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 15g	² G _{9/2}	A	223,13	-1,94	1,55(9)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 16g	² G _{9/2}	A	222,39	-2,02	1,29(9)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 17g	² G _{9/2}	A	221,78	-2,10	1,09(9)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 18g	² G _{9/2}	A	221,27	-2,17	9,22(8)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 19g	² G _{9/2}	A	220,83	-2,24	7,89(8)
				C	220,83	-2,01	1,33(9)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 20g	² G _{9/2}	A	220,46	-2,31	6,81(8)
				C	220,46	-2,12	1,04(9)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 21g	² G _{9/2}	A	220,16	-2,37	5,91(8)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 22g	² G _{9/2}	A	219,90	-2,43	5,16(8)
5p ⁶ 4f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 23g	² G _{9/2}	A	219,65	-2,48	4,53(8)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler				λ (Å)	log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
Alt seviye		Üst seviye				
5p ⁶ 4f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 24g	² G _{9/2}	A 219,43	-2,54	4,01(8)
5p ⁶ 4f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 25g	² G _{9/2}	A 219,25	-2,59	3,56(8)
5p ⁶ 4f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 26g	² G _{9/2}	A 219,10	-2,64	3,17(8)
5p ⁶ 4f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 27g	² G _{9/2}	A 218,94	-2,69	2,84(8)
5p ⁶ 4f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 28g	² G _{9/2}	A 218,86	-2,74	2,55(8)
5p ⁶ 4f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 29g	² G _{9/2}	A 218,76	-2,78	2,30(8)
5p ⁶ 4f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 30g	² G _{9/2}	A 218,60	-2,83	2,08(8)
5p ⁶ 6p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 8s	² S _{1/2}	A 729,94	-1,17	8,54(8)
				B 730,14	-1,11	9,74(8)
				C 730,14	-1,10	9,98(8)
5p ⁶ 6p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 8d	² D _{3/2}	A 600,27	-1,56	5,08(8)
5p ⁶ 6p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 9s	² S _{1/2}	A 595,43	-1,60	4,77(8)
				B 595,52	-1,52	5,72(8)
				C 595,51	-1,50	5,91(8)
5p ⁶ 6p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 9d	² D _{3/2}	A 535,66	-1,97	2,52(8)
5p ⁶ 6p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 10s	² S _{1/2}	A 535,53	-1,89	2,97(8)
				B 535,59	-1,80	3,68(8)
				C 535,58	-1,78	3,83(8)
5p ⁶ 6p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 11s	² S _{1/2}	A 502,50	-2,13	1,98(8)
				C 499,62	-1,97	2,85(8)
5p ⁶ 6p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 10d	² D _{3/2}	A 500,84	-2,26	1,46(8)
5p ⁶ 6p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 12s	² S _{1/2}	A 481,97	-2,32	1,39(8)
				C 481,99	-2,18	1,92(8)
5p ⁶ 6p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 13s	² S _{1/2}	A 468,22	-2,48	1,01(8)
				C 465,91	-2,18	2,05(8)
5p ⁶ 6p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 11d	² D _{3/2}	C 477,29	-2,28	1,53(8)
5p ⁶ 6p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 12d	² D _{3/2}	C 467,05	-2,10	2,43(8)
5p ⁶ 6p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 13s	² S _{1/2}	C 465,91	-2,18	2,05(8)
5p ⁶ 6p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 13d	² D _{3/2}	C 458,77	-2,03	2,95(8)
5p ⁶ 6p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 14s	² S _{1/2}	C 457,53	-2,46	1,10(8)
5p ⁶ 6p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 14d	² D _{3/2}	C 450,16	-1,87	4,47(8)
5p ⁶ 6p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 16d	² D _{3/2}	C 441,86	-1,77	5,77(8)
5p ⁶ 6p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 17d	² D _{3/2}	C 436,63	-1,52	1,05(9)
5p ⁶ 6p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 8s	² S _{1/2}	A 766,65	-0,89	1,48(9)
				B 778,83	-0,84	1,61(9)
				C 766,88	-0,82	1,73(9)
5p ⁶ 6p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 8d	² D _{5/2}	A 623,93	-1,32	8,14(8)
				B 640,69	-2,12	1,23(8)
5p ⁶ 6p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 9s	² S _{1/2}	A 619,63	-1,31	8,47(8)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler				λ (Å)	log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
Alt seviye	Üst seviye					
5p ⁶ 6p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 10s	² S _{1/2}	B 627,51	-1,24	9,83(8)
				C 619,73	-1,22	1,05(9)
				A 555,04	-1,61	5,33(8)
				B 561,32	-1,52	6,47(8)
5p ⁶ 6p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 10s	² S _{1/2}	C 555,09	-1,49	6,97(8)
				A 554,70	-1,73	4,08(8)
				A 519,63	-1,84	3,58(8)
				C 516,56	-1,69	5,14(8)
5p ⁶ 6p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 9d	² D _{5/2}	A 517,59	-2,02	2,38(8)
				A 497,71	-2,03	2,52(8)
				C 497,73	-1,88	3,52(8)
				A 494,90	-2,25	1,52(8)
5p ⁶ 6p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 11d	² D _{5/2}	C 492,36	-2,29	1,41(8)
				A 483,06	-2,19	1,84(8)
				C 480,60	-2,05	2,59(8)
				A 479,88	-2,45	1,04(8)
5p ⁶ 6p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 12s	² S _{1/2}	C 482,15	-2,24	1,66(8)
				A 472,74	-2,33	1,39(8)
				C 471,69	-2,12	2,30(8)
				A 465,13	-2,46	1,07(8)
5p ⁶ 6p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 15s	² S _{1/2}	C 465,13	-2,25	1,75(8)
				C 454,89	-2,45	1,15(8)
				C 451,76	-2,26	1,80(8)
				C 448,41	-2,47	1,13(8)
5p ⁶ 6p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 16s	² S _{1/2}	C 448,07	-2,29	1,71(8)
				C 448,07	-2,29	1,71(8)
				C 446,22	-2,25	1,90(8)
				C 444,27	-2,07	2,89(8)
5p ⁶ 5f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 5g	² G _{7/2}	A 1635,55	0,92	2,08(10)
				B 1590,84	0,88	2,01(10)
				C 1590,80	0,88	2,01(10)
				A 1047,32	-0,06	5,25(9)
5p ⁶ 5f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 6g	² G _{7/2}	B 1028,99	-0,06	5,47(9)
				C 1028,97	-0,06	5,49(9)
				A 860,70	-0,64	2,06(9)
				B 848,37	-0,62	2,25(9)
5p ⁶ 5f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 7g	² G _{7/2}	C 848,35	-0,61	2,26(9)
				A 771,54	-1,05	1,01(9)
				B 761,67	-1,01	1,13(9)
				C 761,65	-1,00	1,15(9)
5p ⁶ 5f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 9g	² G _{7/2}	A 720,41	-1,35	5,69(8)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler				λ (Å)	log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)	
Alt seviye		Üst seviye					
5p ⁶ 5f	² F _{5/2}	5p ⁶ 10g	² G _{7/2}	B	711,88	-1,38	5,46(8)
				C	708,88	-1,30	6,67(8)
				A	687,86	-1,60	3,53(8)
5p ⁶ 5f	² F _{5/2}	5p ⁶ 11g	² G _{7/2}	B	680,02	-1,29	7,42(8)
				C	675,89	-1,54	4,17(8)
				A	665,61	-1,81	2,34(8)
5p ⁶ 5f	² F _{5/2}	5p ⁶ 12g	² G _{7/2}	C	657,39	-1,75	2,78(8)
				A	649,65	-1,98	1,64(8)
				C	641,05	-1,95	1,81(8)
5p ⁶ 5f	² F _{5/2}	5p ⁶ 13g	² G _{7/2}	A	637,77	-2,14	1,20(8)
				C	627,93	-2,01	1,66(8)
				C	622,05	-2,17	1,18(8)
5p ⁶ 5f	² F _{5/2}	5p ⁶ 20g	² G _{7/2}	C	595,25	-1,90	2,39(8)
5p ⁶ 5f	² F _{7/2}	5p ⁶ 5g	² G _{7/2}	A	1641,92	-0,51	7,60(8)
				B	1604,13	-0,54	7,48(8)
				C	1604,09	-0,54	7,48(8)
5p ⁶ 5f	² F _{7/2}	5p ⁶ 5g	² G _{9/2}	A	1641,78	1,03	2,66(10)
				B	1603,87	1,00	2,62(10)
				C	1603,83	1,00	2,62(10)
5p ⁶ 5f	² F _{7/2}	5p ⁶ 7d	² D _{5/2}	A	1510,82	-1,37	1,24(8)
				B	1530,18	-1,44	1,04(8)
				C	1530,04	-1,39	1,16(8)
5p ⁶ 5f	² F _{7/2}	5p ⁶ 6g	² G _{7/2}	A	1049,92	-1,50	1,93(8)
				B	1034,53	-1,49	2,03(8)
				C	1034,51	-1,49	2,03(8)
5p ⁶ 5f	² F _{7/2}	5p ⁶ 6g	² G _{9/2}	A	1049,89	0,05	6,75(9)
				B	1034,48	0,06	7,08(9)
				C	1034,46	0,06	7,10(9)
5p ⁶ 5f	² F _{7/2}	5p ⁶ 7g	² G _{9/2}	A	862,44	-0,53	2,65(9)
				B	852,11	-0,50	2,89(9)
				C	852,10	-0,50	2,91(9)
5p ⁶ 5f	² F _{7/2}	5p ⁶ 8g	² G _{9/2}	A	772,94	-0,93	1,30(9)
				B	764,69	-0,90	1,44(9)
				C	764,68	-0,89	1,46(9)
5p ⁶ 5f	² F _{7/2}	5p ⁶ 9g	² G _{9/2}	A	721,64	-1,24	7,34(8)
				B	714,48	-1,22	7,93(8)
				C	706,37	-1,20	8,45(8)
5p ⁶ 5f	² F _{7/2}	5p ⁶ 10g	² G _{9/2}	A	688,99	-1,49	4,55(8)
				B	682,44	-1,22	8,68(8)
				C	678,37	-1,49	4,71(8)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler					λ (Å)	log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
Alt seviye		Üst seviye					
5p ⁶ 5f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 11g	² G _{9/2}	A	666,66	-1,70	3,02(8)
				C	659,63	-1,61	3,76(8)
5p ⁶ 5f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 12g	² G _{9/2}	A	650,65	-1,87	2,12(8)
				C	643,27	-1,91	1,98(8)
5p ⁶ 5f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 13g	² G _{9/2}	A	638,74	-2,03	1,54(8)
				C	629,98	-1,90	2,12(8)
5p ⁶ 5f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 14g	² G _{9/2}	A	629,57	-2,16	1,16(8)
				C	624,06	-2,05	1,54(8)
5p ⁶ 5f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 15g	² G _{9/2}	C	617,07	-2,19	1,14(8)
5p ⁶ 5f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 20g	² G _{9/2}	C	597,10	-1,86	2,60(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 7p	² P _{1/2} ^o	A	482,23	-1,02	2,72(9)
				B	481,89	-1,01	2,82(9)
				C	481,88	-1,01	2,82(9)
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 7p	² P _{1/2} ^o	A	3202,66	0,08	7,77(8)
				B	3084,05	-0,02	6,75(8)
5p ⁶ 7s	² S _{1/2}	5p ⁶ 7p	² P _{1/2} ^o	A	5583,22	0,00	2,14(8)
				B	5537,45	-0,01	2,14(8)
				C	5537,68	-0,01	2,13(8)
5p ⁶ 7p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 7d	² D _{3/2}	A	2952,40	0,57	2,86(9)
				B	3176,95	0,54	2,27(9)
				C	3176,54	0,54	2,27(9)
5p ⁶ 7p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 8s	² S _{1/2}	A	2627,83	-0,17	6,60(8)
				B	2640,77	-0,17	6,47(8)
				C	2640,74	-0,17	6,48(8)
5p ⁶ 7p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 8d	² D _{3/2}	A	1478,26	-0,76	5,37(8)
				B	1531,74	-0,82	4,32(8)
				C	1531,66	-0,83	4,22(8)
5p ⁶ 7p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 9s	² S _{1/2}	A	1449,22	-1,03	3,00(8)
				B	1452,86	-1,03	2,94(8)
				C	1452,86	-1,03	2,94(8)
5p ⁶ 7p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 9d	² D _{3/2}	A	1139,70	-1,37	2,22(8)
				B	1170,77	-1,47	1,67(8)
				C	1170,74	-1,48	1,60(8)
5p ⁶ 7p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 10s	² S _{1/2}	A	1139,14	-1,47	1,76(8)
				B	1141,30	-1,48	1,72(8)
				C	1141,29	-1,47	1,72(8)
5p ⁶ 7p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 11s	² S _{1/2}	A	999,38	-1,77	1,14(8)
				C	989,53	-1,77	1,15(8)
5p ⁶ 7p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 10d	² D _{3/2}	A	992,86	-1,76	1,18(8)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler					λ (Å)	log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
Alt seviye	Üst seviye						
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 7p	² P _{3/2} ^o	A	476,42	-1,72	5,64(8)
				B	476,38	-1,73	5,54(8)
				C	476,38	-1,73	5,52(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 7p	² P _{3/2} ^o	A	484,41	-0,77	4,83(9)
				B	484,37	-0,78	4,69(9)
				C	484,37	-0,78	4,67(9)
5p ⁶ 6d	² D _{3/2}	5p ⁶ 7p	² P _{3/2} ^o	A	2962,70	-0,59	1,96(8)
				B	2871,61	-0,66	1,76(8)
				C	2881,61	-0,62	1,92(8)
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 7p	² P _{3/2} ^o	A	3043,32	0,36	1,63(9)
				B	2945,82	0,29	1,50(9)
				C	2952,45	0,32	1,59(9)
5p ⁶ 7s	² S _{1/2}	5p ⁶ 7p	² P _{3/2} ^o	A	4892,42	0,36	6,35(8)
				B	4888,14	0,35	6,23(8)
				C	4888,32	0,35	6,23(8)
5p ⁶ 7p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 7d	² D _{3/2}	A	3190,63	-0,16	4,53(8)
				B	3439,04	-0,20	3,57(8)
				C	3438,56	-0,20	3,57(8)
5p ⁶ 7p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 7d	² D _{5/2}	A	3147,49	0,80	4,25(9)
				B	3386,08	0,76	3,36(9)
				C	3385,57	0,76	3,37(9)
5p ⁶ 7p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 8s	² S _{1/2}	A	2814,90	0,11	1,07(9)
				B	2819,37	0,10	1,06(9)
				C	2819,33	0,10	1,06(9)
5p ⁶ 7p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 8d	² D _{5/2}	A	1529,92	-0,52	8,71(8)
				B	1583,48	-0,57	7,21(8)
				C	1583,39	-0,58	7,06(8)
5p ⁶ 7p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 9s	² S _{1/2}	A	1504,36	-0,74	5,37(8)
				B	1505,33	-0,75	5,27(8)
				C	1505,32	-0,75	5,27(8)
5p ⁶ 7p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 10s	² S _{1/2}	A	1172,93	-1,18	3,22(8)
				B	1173,43	-1,19	3,15(8)
				C	1173,42	-1,19	3,16(8)
5p ⁶ 7p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 9d	² D _{5/2}	A	1171,41	-1,12	3,67(8)
				B	1202,11	-1,20	2,91(8)
				C	1202,06	-1,22	2,79(8)
5p ⁶ 7p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 11s	² S _{1/2}	A	1025,29	-1,48	2,11(8)
				C	1013,59	-1,48	2,14(8)
5p ⁶ 7p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 10d	² D _{5/2}	A	1017,36	-1,52	1,97(8)
				B	1040,24	-1,64	1,41(8)
				C	1034,96	-1,66	1,35(8)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler							
Alt seviye		Üst seviye		λ (Å)		log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
5p ⁶ 7p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 12s	² S _{1/2}	A	943,33	-1,71	1,47(8)
				C	943,57	-1,72	1,43(8)
5p ⁶ 7p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 11d	² D _{5/2}	A	933,29	-1,80	1,20(8)
5p ⁶ 7p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 13s	² S _{1/2}	A	892,04	-1,90	1,06(8)
				C	883,84	-1,90	1,07(8)
5p ⁶ 6d	² D _{3/2}	5p ⁶ 6f	² F ^o _{5/2}	A	1597,00	0,53	8,80(9)
				B	1556,38	0,39	6,78(9)
				C	1559,35	0,45	7,68(9)
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 6f	² F ^o _{5/2}	A	1620,13	-0,63	6,02(8)
				B	1577,93	-0,78	4,44(8)
				C	1579,87	-0,73	4,97(8)
5p ⁶ 6f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 6g	² G _{7/2}	A	3128,66	0,91	5,53(9)
				B	3183,17	0,91	5,34(9)
				C	3183,01	0,91	5,33(9)
5p ⁶ 6f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 7g	² G _{7/2}	A	1898,78	0,09	2,29(9)
				B	1919,18	0,07	2,14(9)
				C	1919,11	0,07	2,13(9)
5p ⁶ 6f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 8g	² G _{7/2}	A	1513,05	-0,40	1,17(9)
				B	1526,17	-0,43	1,07(9)
				C	1526,12	-0,43	1,07(9)
5p ⁶ 6f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 9g	² G _{7/2}	A	1328,20	-0,75	6,80(8)
				C	1328,03	-0,78	6,28(8)
5p ⁶ 6f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 10g	² G _{7/2}	A	1221,62	-1,01	4,33(8)
				B	1230,22	-1,21	2,73(8)
				C	1216,77	-1,05	3,98(8)
5p ⁶ 6f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 11g	² G _{7/2}	A	1153,16	-1,23	2,94(8)
				C	1158,11	-1,27	2,65(8)
5p ⁶ 6f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 12g	² G _{7/2}	A	1106,08	-1,42	2,10(8)
				C	1108,32	-1,47	1,83(8)
5p ⁶ 6f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 13g	² G _{7/2}	A	1072,08	-1,57	1,55(8)
				C	1069,69	-1,60	1,48(8)
5p ⁶ 6f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 14g	² G _{7/2}	A	1046,50	-1,71	1,18(8)
				C	1052,74	-1,73	1,11(8)
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 6f	² F ^o _{7/2}	A	1616,85	0,68	1,21(10)
				B	1572,39	0,59	1,05(10)
				C	1574,32	0,61	1,09(10)
5p ⁶ 6f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 6g	² G _{7/2}	A	3140,97	-0,52	2,03(8)
				B	3205,95	-0,53	1,93(8)
				C	3205,74	-0,53	1,93(8)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler					λ (Å)	log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
Alt seviye		Üst seviye					
5p ⁶ 6f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 6g	² G _{9/2}	A	3140,70	1,02	7,09(9)
				B	3205,46	1,02	6,76(9)
				C	3205,20	1,02	6,75(9)
5p ⁶ 6f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 8d	² D _{5/2}	A	2749,28	-0,91	1,09(8)
				B	2985,00	-0,79	1,22(8)
				C	2984,51	-0,78	1,25(8)
5p ⁶ 6f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 7g	² G _{9/2}	A	1903,24	0,20	2,95(9)
				B	1927,34	0,18	2,70(9)
				C	1927,25	0,18	2,70(9)
5p ⁶ 6f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 8g	² G _{9/2}	A	1515,89	-0,29	1,51(9)
				B	1531,35	-0,32	1,36(9)
				C	1531,29	-0,32	1,35(9)
5p ⁶ 6f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 9g	² G _{9/2}	A	1330,39	-0,63	8,77(8)
				B	1342,42	-0,67	7,93(8)
				C	1314,08	-0,68	8,15(8)
5p ⁶ 6f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 10g	² G _{9/2}	A	1223,49	-0,90	5,59(8)
				B	1233,63	-1,14	3,19(8)
				C	1220,36	-0,97	4,80(8)
5p ⁶ 6f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 11g	² G _{9/2}	A	1154,82	-1,12	3,80(8)
				C	1161,04	-1,17	3,36(8)
5p ⁶ 6f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 12g	² G _{9/2}	A	1107,61	-1,30	2,71(8)
				C	1111,29	-1,41	2,09(8)
5p ⁶ 6f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 13g	² G _{9/2}	A	1073,52	-1,46	2,00(8)
				C	1072,22	-1,49	1,88(8)
5p ⁶ 6f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 14g	² G _{9/2}	A	1047,87	-1,60	1,53(8)
				C	1055,19	-1,63	1,42(8)
5p ⁶ 6f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 15g	² G _{9/2}	A	1028,22	-1,72	1,20(8)
				C	1035,34	-1,75	1,11(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 8p	² P ^o _{1/2}	A	391,54	-1,46	1,51(9)
				B	391,52	-1,45	1,53(9)
				C	391,52	-1,46	1,52(9)
5p ⁶ 6d	² D _{3/2}	5p ⁶ 8p	² P ^o _{1/2}	A	1261,77	-1,07	3,60(8)
				B	1244,98	-1,16	3,01(8)
				C	1246,86	-1,11	3,30(8)
5p ⁶ 7d	² D _{3/2}	5p ⁶ 8p	² P ^o _{1/2}	A	7062,65	0,20	2,13(8)
				B	6089,78	0,26	3,24(8)
				C	6091,26	0,25	3,21(8)
5p ⁶ 8p	² P ^o _{1/2}	5p ⁶ 8d	² D _{3/2}	A	5097,57	0,65	1,16(9)
				B	5751,27	0,61	8,16(8)
				C	5750,17	0,61	8,20(8)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler					λ (Å)	log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
Alt seviye		Üst seviye					
5p ⁶ 8p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 9s	² S _{1/2}	A	4768,08	-0,05	2,63(8)
				B	4777,41	-0,05	2,63(8)
				C	4777,34	-0,05	2,64(8)
5p ⁶ 8p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 9d	² D _{3/2}	A	2518,07	-0,64	2,44(8)
				B	2665,54	-0,70	1,88(8)
				C	2665,38	-0,71	1,83(8)
5p ⁶ 8p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 10s	² S _{1/2}	A	2515,34	-0,92	1,26(8)
				B	2517,51	-0,92	1,26(8)
				C	2517,48	-0,92	1,26(8)
5p ⁶ 8p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 10d	² D _{3/2}	A	1897,91	-1,23	1,09(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 8p	² P _{3/2} ^o	A	389,47	-2,16	3,07(8)
				B	389,44	-2,15	3,10(8)
				C	389,44	-2,15	3,09(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 8p	² P _{3/2} ^o	A	394,79	-1,21	2,65(9)
				B	394,76	-1,20	2,69(9)
				C	394,76	-1,20	2,68(9)
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 8p	² P _{3/2} ^o	A	1254,38	-0,81	6,59(8)
				B	1237,51	-0,87	5,95(8)
				C	1238,67	-0,86	6,08(8)
5p ⁶ 7d	² D _{5/2}	5p ⁶ 8p	² P _{3/2} ^o	A	6626,77	0,48	4,63(8)
				B	5770,76	0,54	6,86(8)
				C	5772,24	0,53	6,81(8)
5p ⁶ 8s	² S _{1/2}	5p ⁶ 8p	² P _{3/2} ^o	A	8821,14	0,46	2,48(8)
				B	8777,71	0,46	2,51(8)
				C	8778,05	0,46	2,51(8)
5p ⁶ 8p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 8d	² D _{3/2}	A	5477,53	-0,08	1,87(8)
				B	6240,27	-0,13	1,28(8)
				C	6238,97	-0,13	1,29(8)
5p ⁶ 8p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 8d	² D _{5/2}	A	5405,00	0,88	1,75(9)
				B	6138,54	0,83	1,21(9)
				C	6137,19	0,84	1,21(9)
5p ⁶ 8p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 9s	² S _{1/2}	A	5098,92	0,23	4,31(8)
				B	5110,04	0,23	4,30(8)
				C	5109,96	0,23	4,31(8)
5p ⁶ 8p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 10s	² S _{1/2}	A	2604,49	-0,64	2,27(8)
				B	2606,94	-0,64	2,26(8)
				C	2606,90	-0,64	2,27(8)
5p ⁶ 8p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 9d	² D _{5/2}	A	2597,00	-0,39	4,00(8)
				B	2752,85	-0,45	3,10(8)
				C	2752,61	-0,46	3,03(8)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler				λ (Å)	log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)	
Alt seviye		Üst seviye					
5p ⁶ 8p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 11s	² S _{1/2}	A	1973,50	-1,08	1,42(8)
				C	1930,57	-1,07	1,52(8)
5p ⁶ 8p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 10d	² D _{5/2}	A	1944,33	-0,99	1,82(8)
				B	2029,62	-1,09	1,33(8)
				C	2009,61	-1,09	1,33(8)
5p ⁶ 8p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 11d	² D _{5/2}	A	1658,74	-1,37	1,03(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 7f	² F ^o _{5/2}	A	367,09	-0,50	1,58(10)
				B	366,90	-0,48	1,64(10)
				C	366,90	-0,48	1,63(10)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 7f	² F ^o _{5/2}	A	371,81	-1,65	1,09(9)
				B	371,62	-1,63	1,13(9)
				C	371,62	-1,63	1,12(9)
5p ⁶ 6d	² D _{3/2}	5p ⁶ 7f	² F ^o _{5/2}	A	1038,78	-0,13	4,59(9)
				B	1026,05	-0,25	3,59(9)
				C	1027,33	-0,19	4,05(9)
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 7f	² F ^o _{5/2}	A	1048,52	-1,28	3,19(8)
				B	1035,37	-1,40	2,51(8)
				C	1036,19	-1,36	2,72(8)
5p ⁶ 7d	² D _{3/2}	5p ⁶ 7f	² F ^o _{5/2}	A	3208,03	0,53	2,18(9)
				B	2979,80	0,53	2,57(9)
				C	2980,17	0,53	2,54(9)
5p ⁶ 7d	² D _{5/2}	5p ⁶ 7f	² F ^o _{5/2}	A	3252,85	-0,63	1,50(8)
				B	3020,73	-0,62	1,77(8)
				C	3021,15	-0,62	1,75(8)
5p ⁶ 7f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 7g	² G _{7/2}	A	5258,62	0,92	1,98(9)
				B	5292,07	0,92	1,97(9)
				C	5291,88	0,92	1,97(9)
5p ⁶ 7f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 8g	² G _{7/2}	A	3082,35	0,16	1,01(9)
				B	3094,64	0,16	9,99(8)
				C	3094,54	0,16	9,98(8)
5p ⁶ 7f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 9g	² G _{7/2}	A	2401,48	-0,29	5,91(8)
				B	2409,83	-0,35	5,14(8)
				C	2375,94	-0,29	6,03(8)
5p ⁶ 7f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 10g	² G _{7/2}	A	2074,30	-0,61	3,77(8)
				B	2080,00	-0,66	3,39(8)
				C	2041,89	-0,62	3,88(8)
5p ⁶ 7f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 11g	² G _{7/2}	A	1884,32	-0,86	2,57(8)
				C	1881,92	-0,87	2,54(8)
5p ⁶ 7f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 12g	² G _{7/2}	A	1761,79	-1,07	1,84(8)
				C	1753,90	-1,08	1,79(8)
5p ⁶ 7f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 13g	² G _{7/2}	A	1677,08	-1,24	1,36(8)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler					λ (Å)	log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
Alt seviye		Üst seviye					
5p ⁶ 7f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 14g	² G _{7/2}	C	1659,07	-1,23	1,42(8)
				A	1615,30	-1,39	1,04(8)
				C	1618,65	-1,38	1,05(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 7f	² F ^o _{7/2}	A	371,71	-0,35	2,18(10)
				B	371,51	-0,33	2,26(10)
				C	371,51	-0,33	2,25(10)
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 7f	² F ^o _{7/2}	A	1047,72	0,02	6,39(9)
				B	1034,49	-0,04	5,63(9)
				C	1035,31	-0,03	5,81(9)
5p ⁶ 7d	² D _{5/2}	5p ⁶ 7f	² F ^o _{7/2}	A	3245,13	0,68	3,01(9)
				B	3013,25	0,68	3,55(9)
				C	3013,68	0,68	3,51(9)
5p ⁶ 7f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 7g	² G _{9/2}	A	5278,42	1,03	2,54(9)
				B	5314,45	1,03	2,53(9)
				C	5314,22	1,03	2,53(9)
5p ⁶ 7f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 8g	² G _{9/2}	A	3089,19	0,27	1,30(9)
				B	3102,37	0,27	1,29(9)
				C	3102,26	0,27	1,28(9)
5p ⁶ 7f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 9g	² G _{9/2}	A	2405,65	-0,18	7,62(8)
				B	2414,04	-0,18	7,50(8)
				C	2324,01	-0,17	8,30(8)
5p ⁶ 7f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 10g	² G _{9/2}	A	2077,43	-0,50	4,87(8)
				B	2083,61	-0,55	4,30(8)
				C	2046,11	-0,52	4,86(8)
5p ⁶ 7f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 11g	² G _{9/2}	A	1886,91	-0,75	3,32(8)
				C	1884,68	-0,76	3,29(8)
5p ⁶ 7f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 12g	² G _{9/2}	A	1764,05	-0,96	2,37(8)
				C	1756,98	-1,00	2,16(8)
5p ⁶ 7f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 13g	² G _{9/2}	A	1679,12	-1,13	1,76(8)
				C	1661,28	-1,12	1,84(8)
5p ⁶ 7f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 14g	² G _{9/2}	A	1617,21	-1,28	1,35(8)
				C	1620,75	-1,27	1,37(8)
5p ⁶ 7f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 15g	² G _{9/2}	A	1570,87	-1,41	1,06(8)
				C	1574,39	-1,40	1,07(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 9p	² P ^o _{1/2}	A	354,22	-1,76	9,23(8)
				B	354,22	-1,75	9,38(8)
				C	354,22	-1,76	9,26(8)
5p ⁶ 6d	² D _{3/2}	5p ⁶ 9p	² P ^o _{1/2}	A	941,95	-1,55	2,14(8)
				B	932,67	-1,66	1,70(8)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler					λ (Å)	log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
Alt seviye	Üst seviye						
5p ⁶ 7d	² D _{3/2}	5p ⁶ 9p	² P ^o _{1/2}	C	933,72	-1,60	1,91(8)
				A	2434,97	-1,01	1,09(8)
				B	2308,53	-0,98	1,31(8)
5p ⁶ 8d	² D _{3/2}	5p ⁶ 9p	² P ^o _{1/2}	C	2308,74	-0,98	1,32(8)
				B	10516,21	0,37	1,42(8)
				C	10519,77	0,37	1,40(8)
5p ⁶ 9p	² P ^o _{1/2}	5p ⁶ 9d	² D _{3/2}	A	7810,21	0,74	5,94(8)
				B	9416,80	0,66	3,45(8)
				C	9414,98	0,67	3,48(8)
5p ⁶ 9p	² P ^o _{1/2}	5p ⁶ 10s	² S _{1/2}	A	7783,98	0,05	1,22(8)
				B	7797,19	0,05	1,22(8)
				C	7796,93	0,05	1,22(8)
5p ⁶ 9p	² P ^o _{1/2}	5p ⁶ 10d	² D _{3/2}	A	3878,95	-0,54	1,29(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 9p	² P ^o _{3/2}	A	353,20	-2,46	1,86(8)
				C	353,19	-2,46	1,87(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 9p	² P ^o _{3/2}	A	357,57	-1,51	1,61(9)
				B	357,56	-1,50	1,64(9)
				C	357,56	-1,51	1,62(9)
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 9p	² P ^o _{3/2}	A	942,61	-1,29	3,85(8)
				B	933,17	-1,36	3,31(8)
				C	933,83	-1,35	3,45(8)
5p ⁶ 7d	² D _{5/2}	5p ⁶ 9p	² P ^o _{3/2}	A	2412,09	-0,75	2,02(8)
				B	2289,24	-0,72	2,42(8)
				C	2289,47	-0,72	2,42(8)
5p ⁶ 8d	² D _{5/2}	5p ⁶ 9p	² P ^o _{3/2}	A	12712,70	0,56	1,49(8)
				B	9937,06	0,65	3,03(8)
				C	9940,51	0,65	3,00(8)
5p ⁶ 9s	² S _{1/2}	5p ⁶ 9p	² P ^o _{3/2}	A	14802,64	0,53	1,04(8)
				B	14739,41	0,53	1,05(8)
				C	14739,87	0,53	1,05(8)
5p ⁶ 9p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 10s	² S _{1/2}	A	8314,11	0,32	2,00(8)
				B	8329,60	0,32	2,00(8)
				C	8329,32	0,32	2,01(8)
5p ⁶ 9p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 9d	² D _{5/2}	A	8238,35	0,97	9,10(8)
				B	10027,95	0,89	5,13(8)
				C	10024,85	0,89	5,18(8)
5p ⁶ 9p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 11s	² S _{1/2}	A	4114,57	-0,55	1,10(8)
				C	3930,15	-0,53	1,26(8)
5p ⁶ 9p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 10d	² D _{5/2}	A	3989,78	-0,29	2,13(8)
				B	4363,69	-0,38	1,46(8)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler					λ (Å)	log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
Alt seviye	Üst seviye						
5p ⁶ 9p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 11d	² D _{5/2}	C	4272,25	-0,38	1,53(8)
				A	2948,19	-0,88	1,02(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 8f	² F _{5/2} ^o	A	341,74	-0,79	9,18(9)
				B	341,67	-0,78	9,48(9)
				C	341,67	-0,78	9,47(9)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 8f	² F _{5/2} ^o	A	345,84	-1,95	6,32(8)
				B	345,76	-1,93	6,54(8)
				C	345,76	-1,93	6,53(8)
5p ⁶ 6d	² D _{3/2}	5p ⁶ 8f	² F _{5/2} ^o	A	858,59	-0,53	2,66(9)
				B	850,43	-0,65	2,07(9)
				C	851,30	-0,60	2,32(9)
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 8f	² F _{5/2} ^o	A	865,23	-1,68	1,86(8)
				B	856,82	-1,80	1,46(8)
				C	857,38	-1,76	1,57(8)
5p ⁶ 7d	² D _{3/2}	5p ⁶ 8f	² F _{5/2} ^o	A	1946,45	-0,11	1,36(9)
				B	1862,68	-0,10	1,53(9)
				C	1862,82	-0,10	1,52(9)
5p ⁶ 7d	² D _{5/2}	5p ⁶ 8f	² F _{5/2} ^o	B	1878,59	-1,25	1,06(8)
				C	1878,75	-1,25	1,06(8)
				A	5681,98	0,53	6,98(8)
5p ⁶ 8d	² D _{3/2}	5p ⁶ 8f	² F _{5/2} ^o	B	5030,76	0,55	9,38(8)
				C	5031,62	0,54	9,22(8)
				A	8170,70	0,93	8,44(8)
5p ⁶ 8f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 8g	² G _{7/2}	B	8205,35	0,93	8,43(8)
				C	8204,73	0,93	8,42(8)
				A	4664,81	0,20	4,86(8)
5p ⁶ 8f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 9g	² G _{7/2}	C	4553,38	0,21	5,21(8)
				A	3570,76	-0,23	3,08(8)
				B	3577,79	-0,25	2,93(8)
5p ⁶ 8f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 10g	² G _{7/2}	C	3466,54	-0,22	3,35(8)
				A	3042,70	-0,54	2,09(8)
				C	3029,37	-0,54	2,11(8)
5p ⁶ 8f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 12g	² G _{7/2}	A	2735,50	-0,78	1,49(8)
				C	2710,86	-0,78	1,50(8)
				A	2536,55	-0,97	1,11(8)
5p ⁶ 8f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 13g	² G _{7/2}	C	2490,81	-0,96	1,17(8)
				A	345,78	-0,64	1,27(10)
				B	345,70	-0,63	1,31(10)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 8f	² F _{7/2} ^o	C	345,70	-0,63	1,31(10)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler					λ (Å)	log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
Alt seviye	Üst seviye						
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 8f	² F _{7/2} ^o	A	864,88	-0,38	3,72(9)
				B	856,46	-0,45	3,26(9)
				C	857,02	-0,44	3,34(9)
5p ⁶ 7d	² D _{5/2}	5p ⁶ 8f	² F _{7/2} ^o	A	1961,08	0,04	1,91(9)
				B	1876,86	0,05	2,14(9)
				C	1877,02	0,05	2,12(9)
5p ⁶ 8d	² D _{5/2}	5p ⁶ 8f	² F _{7/2} ^o	A	5746,89	0,68	9,64(8)
				B	5086,16	0,70	1,30(9)
				C	5087,11	0,70	1,28(9)
5p ⁶ 8f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 8g	² G _{9/2}	A	8200,75	1,04	1,08(9)
				B	8237,45	1,04	1,08(9)
				C	8236,77	1,04	1,08(9)
5p ⁶ 8f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 9g	² G _{9/2}	A	4674,69	0,31	6,26(8)
				B	4688,11	0,31	6,23(8)
				C	4360,11	0,34	7,70(8)
5p ⁶ 8f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 10g	² G _{9/2}	A	3576,60	-0,12	3,97(8)
				B	3584,25	-0,14	3,73(8)
				C	3474,72	-0,12	4,22(8)
5p ⁶ 8f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 11g	² G _{9/2}	A	3046,94	-0,43	2,70(8)
				C	3033,48	-0,42	2,73(8)
5p ⁶ 8f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 12g	² G _{9/2}	A	2738,92	-0,66	1,93(8)
				C	2715,78	-0,69	1,84(8)
5p ⁶ 8f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 13g	² G _{9/2}	A	2539,50	-0,86	1,43(8)
				C	2493,73	-0,85	1,52(8)
5p ⁶ 8f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 14g	² G _{9/2}	A	2400,51	-1,03	1,09(8)
				C	2403,50	-1,01	1,12(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 10p	² P _{1/2} ^o	A	334,48	-2,00	6,03(8)
				B	334,48	-1,98	6,32(8)
				C	334,48	-1,99	6,08(8)
5p ⁶ 6d	² D _{3/2}	5p ⁶ 10p	² P _{1/2} ^o	A	814,14	-1,86	1,39(8)
				B	807,22	-2,01	1,01(8)
				C	808,01	-1,92	1,22(8)
5p ⁶ 10p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 10d	² D _{3/2}	A	10971,53	0,82	3,63(8)
				B	14392,15	0,71	1,64(8)
				C	13274,18	0,75	2,11(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 10p	² P _{3/2} ^o	A	333,88	-2,69	1,21(8)
				B	333,88	-2,67	1,27(8)
				C	333,88	-2,69	1,22(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 10p	² P _{3/2} ^o	A	337,79	-1,74	1,06(9)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler				λ (Å)	log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)	
Alt seviye		Üst seviye					
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 10p	² P ^o _{3/2}	B	337,79	-1,72	1,11(9)
				C	337,79	-1,74	1,06(9)
				A	816,55	-1,61	2,48(8)
5p ⁶ 7d	² D _{5/2}	5p ⁶ 10p	² P ^o _{3/2}	B	809,47	-1,72	1,96(8)
				C	809,97	-1,67	2,18(8)
				A	1729,01	-1,25	1,25(8)
5p ⁶ 10p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 11s	² S _{1/2}	B	1665,05	-1,22	1,46(8)
				C	1665,17	-1,22	1,44(8)
				A	12618,14	0,39	1,04(8)
5p ⁶ 8d	² D _{5/2}	5p ⁶ 10p	² P ^o _{3/2}	C	11027,03	0,45	1,56(8)
				B	3782,28	-0,64	1,06(8)
				C	3782,79	-0,64	1,06(8)
5p ⁶ 9d	² D _{5/2}	5p ⁶ 10p	² P ^o _{3/2}	B	15616,12	0,74	1,52(8)
				C	15623,88	0,74	1,49(8)
				A	11513,71	1,05	5,65(8)
5p ⁶ 10p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 10d	² D _{5/2}	B	15289,12	0,94	2,46(8)
				C	14222,36	0,97	3,10(8)
				A	5701,12	-0,21	1,28(8)
5p ⁶ 10p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 11d	² D _{5/2}	C	5381,53	-0,24	1,33(8)
				A	327,11	-1,03	5,83(9)
				B	327,07	-1,02	5,96(9)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 9f	² F ^o _{5/2}	C	327,07	-1,02	6,01(9)
				A	330,86	-2,18	4,02(8)
				B	330,82	-2,17	4,11(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 9f	² F ^o _{5/2}	C	330,82	-2,17	4,15(8)
				A	771,84	-0,82	1,68(9)
				B	765,40	-0,93	1,33(9)
5p ⁶ 6d	² D _{3/2}	5p ⁶ 9f	² F ^o _{5/2}	C	766,11	-0,89	1,46(9)
				A	777,20	-1,97	1,18(8)
				B	777,20	-1,97	1,18(8)
5p ⁶ 7d	² D _{3/2}	5p ⁶ 9f	² F ^o _{5/2}	A	1551,20	-0,50	8,77(8)
				B	1498,16	-0,49	9,62(8)
				C	1498,25	-0,49	9,64(8)
5p ⁶ 8d	² D _{3/2}	5p ⁶ 9f	² F ^o _{5/2}	A	3258,38	-0,09	5,06(8)
				B	3035,81	-0,08	6,04(8)
				C	3036,12	-0,08	6,03(8)
5p ⁶ 9d	² D _{3/2}	5p ⁶ 9f	² F ^o _{5/2}	A	9438,99	0,52	2,49(8)
				B	7805,36	0,57	4,03(8)
				C	7806,69	0,56	3,95(8)
5p ⁶ 9f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 9g	² G _{7/2}	A	11981,07	0,94	4,06(8)
				C	11236,95	0,97	4,94(8)
				A	11981,07	0,94	4,06(8)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler				λ (Å)	log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
Alt seviye	Üst seviye					
5p ⁶ 9f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 10g	² G _{7/2}	A	6704,82	0,23
				B	6716,92	0,22
				C	6335,23	0,26
5p ⁶ 9f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 11g	² G _{7/2}	A	5056,90	-0,19
				C	5013,10	-0,18
5p ⁶ 9f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 12g	² G _{7/2}	A	4261,51	-0,48
				C	4197,06	-0,48
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 9f	² F _{7/2} ^o	A	330,82	-0,88
				B	330,78	-0,87
				C	330,78	-0,87
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 9f	² F _{7/2} ^o	A	777,01	-0,67
				B	770,38	-0,73
				C	770,84	-0,73
5p ⁶ 7d	² D _{5/2}	5p ⁶ 9f	² F _{7/2} ^o	A	1560,84	-0,35
				B	1507,70	-0,34
				C	1507,80	-0,34
5p ⁶ 8d	² D _{5/2}	5p ⁶ 9f	² F _{7/2} ^o	A	3281,24	0,06
				B	3057,44	0,08
				C	3057,78	0,07
5p ⁶ 9d	² D _{5/2}	5p ⁶ 9f	² F _{7/2} ^o	A	9549,50	0,67
				B	7891,66	0,72
				C	7893,67	0,71
5p ⁶ 9f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 9g	² G _{9/2}	A	12024,65	1,05
				B	12070,47	1,06
				C	10111,95	1,13
5p ⁶ 9f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 10g	² G _{9/2}	A	6718,65	0,34
				B	6732,19	0,33
				C	6355,91	0,36
5p ⁶ 9f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 11g	² G _{9/2}	A	5064,77	-0,08
				C	5020,19	-0,07
5p ⁶ 9f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 12g	² G _{9/2}	A	4267,09	-0,37
				C	4205,94	-0,39
5p ⁶ 9f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 13g	² G _{9/2}	A	3801,94	-0,60
				C	3696,22	-0,59
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 11p	² P _{1/2} ^o	A	322,55	-2,19
5p ⁶ 11p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 11d	² D _{3/2}	A	14406,83	0,90
				C	12643,54	0,96
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 11p	² P _{1/2} ^o	C	322,55	-2,18

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler					λ (Å)	log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
Alt seviye	Üst seviye						
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 11p	² P _{3/2} ^o	A	325,80	-1,94	7,27(8)
				C	325,80	-1,93	7,39(8)
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 11p	² P _{3/2} ^o	A	749,86	-1,84	1,70(8)
				C	744,31	-1,92	1,46(8)
5p ⁶ 11p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 11d	² D _{5/2}	A	15040,76	1,14	4,04(8)
				C	13001,92	1,21	6,38(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 10f	² F _{5/2} ^o	A	317,78	-1,22	3,95(9)
				B	317,76	-1,16	4,57(9)
				C	317,76	-1,21	4,08(9)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 10f	² F _{5/2} ^o	A	321,32	-2,38	2,73(8)
				B	321,29	-2,31	3,17(8)
				C	321,29	-2,36	2,82(8)
5p ⁶ 6d	² D _{3/2}	5p ⁶ 10f	² F _{5/2} ^o	A	721,84	-1,05	1,14(9)
				B	716,28	-1,29	6,74(8)
				C	716,90	-1,12	9,78(8)
5p ⁶ 7d	² D _{3/2}	5p ⁶ 10f	² F _{5/2} ^o	A	1361,67	-0,78	5,95(8)
				B	1320,85	-0,73	7,06(8)
				C	1320,93	-0,77	6,52(8)
5p ⁶ 8d	² D _{5/2}	5p ⁶ 10f	² F _{5/2} ^o	A	2521,23	-0,47	3,53(8)
				B	2386,63	-0,41	4,51(8)
				C	2386,82	-0,46	4,11(8)
5p ⁶ 9d	² D _{3/2}	5p ⁶ 10f	² F _{5/2} ^o	A	5110,53	-0,08	2,11(8)
				B	4593,11	-0,01	3,06(8)
				C	4593,60	-0,06	2,78(8)
5p ⁶ 10d	² D _{3/2}	5p ⁶ 10f	² F _{5/2} ^o	A	15172,20	0,505	9,27(10)
				B	11389,70	0,62	2,12(8)
				C	12203,26	0,54	1,55(8)
5p ⁶ 10f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 10g	² G _{7/2}	A	16830,62	0,96	2,14(8)
				B	16869,76	0,95	2,11(8)
				C	14652,35	1,02	3,26(8)
5p ⁶ 10f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 11g	² G _{7/2}	A	9257,67	0,26	1,41(8)
				C	9100,99	0,26	1,48(8)
5p ⁶ 10f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 12g	² G _{7/2}	C	6726,61	-0,15	1,05(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 10f	² F _{7/2} ^o	A	321,29	-1,07	5,46(9)
				B	321,27	-1,01	6,34(9)
				C	321,27	-1,06	5,64(9)
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 10f	² F _{7/2} ^o	A	726,42	-0,90	1,59(9)
				B	720,69	-1,08	1,08(9)
				C	721,09	-0,96	1,41(9)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler					λ (Å)	log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
Alt seviye		Üst seviye					
5p ⁶ 7d	² D _{5/2}	5p ⁶ 10f	² F ^o _{7/2}	A	1369,26	-0,63	8,35(8)
				B	1328,44	-0,58	9,85(8)
				C	1328,52	-0,62	9,16(8)
5p ⁶ 8d	² D _{5/2}	5p ⁶ 10f	² F ^o _{7/2}	A	2535,48	-0,32	4,96(8)
				B	2400,55	-0,26	6,30(8)
				C	2400,77	-0,30	5,78(8)
5p ⁶ 9d	² D _{5/2}	5p ⁶ 10f	² F ^o _{7/2}	A	5145,16	0,07	2,95(8)
				B	4625,01	0,14	4,26(8)
				C	4625,72	0,10	3,91(8)
5p ⁶ 10d	² D _{5/2}	5p ⁶ 10f	² F ^o _{7/2}	A	15360,86	0,66	1,28(8)
				B	11524,26	0,77	2,93(8)
				C	12215,06	0,70	2,26(8)
5p ⁶ 10f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 11d	² D _{5/2}	C	29724,04	1,25	1,34(8)
5p ⁶ 10f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 10g	² G _{9/2}	A	16892,03	1,07	2,74(8)
				B	16937,59	1,06	2,68(8)
				C	14741,60	1,13	4,17(8)
5p ⁶ 10f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 11g	² G _{9/2}	A	9276,22	0,37	1,81(8)
				C	9116,03	0,38	1,90(8)
5p ⁶ 10f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 12g	² G _{9/2}	A	6910,30	-0,04	1,27(8)
				C	6744,89	-0,05	1,32(8)
5p ⁶ 10f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 13g	² G _{9/2}	C	5523,39	-0,32	1,06(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 12p	² P ^o _{1/2}	A	314,71	-2,35	2,99(8)
				C	314,71	-2,35	3,04(8)
5p ⁶ 12p	² P ^o _{1/2}	5p ⁶ 12d	² D _{3/2}	A	17961,86	0,98	1,99(8)
				C	20897,63	0,91	1,25(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 12p	² P ^o _{3/2}	A	317,91	-2,10	5,22(8)
				C	317,91	-2,09	5,32(8)
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 12p	² P ^o _{3/2}	A	709,36	-2,04	1,22(8)
				C	704,39	-2,11	1,04(8)
5p ⁶ 12p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 12d	² D _{5/2}	A	18659,85	1,22	3,20(8)
				C	22844,19	1,17	1,87(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 11f	² F ^o _{5/2}	A	311,44	-1,39	2,80(9)
				C	311,42	-1,38	2,89(9)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 11f	² F ^o _{5/2}	A	314,83	-2,54	1,94(8)
				C	314,82	-2,53	2,00(8)
5p ⁶ 6d	² D _{3/2}	5p ⁶ 11f	² F ^o _{5/2}	A	689,92	-1,24	8,05(8)
				C	685,44	-1,31	6,98(8)
5p ⁶ 7d	² D _{3/2}	5p ⁶ 11f	² F ^o _{5/2}	A	1252,35	-1,00	4,22(8)
				C	1217,92	-0,99	4,59(8)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler							
Alt seviye		Üst seviye		λ (Å)		log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
5p ⁶ 8d	² D _{3/2}	5p ⁶ 11f	² F _{5/2} ^o	A	2170,43	-0,75	2,53(8)
				C	2070,41	-0,73	2,87(8)
5p ⁶ 9d	² D _{3/2}	5p ⁶ 11f	² F _{5/2} ^o	A	3849,39	-0,46	1,58(8)
				C	3549,58	-0,44	1,93(8)
5p ⁶ 10d	² D _{3/2}	5p ⁶ 11f	² F _{5/2} ^o	C	6850,50	-0,08	1,19(8)
5p ⁶ 11f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 11g	² G _{7/2}	A	22773,07	0,98	1,22(8)
				C	21810,88	1,00	1,39(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 11f	² F _{7/2} ^o	A	314,82	-1,24	3,88(9)
				C	314,80	-1,23	3,99(9)
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 11f	² F _{7/2} ^o	A	694,12	-1,09	1,13(9)
				C	689,29	-1,14	1,01(9)
5p ⁶ 7d	² D _{5/2}	5p ⁶ 11f	² F _{7/2} ^o	A	1258,87	-0,85	5,93(8)
				C	1224,46	-0,84	6,45(8)
5p ⁶ 8d	² D _{5/2}	5p ⁶ 11f	² F _{7/2} ^o	A	2181,28	-0,60	3,56(8)
				C	2081,15	-0,58	4,04(8)
5p ⁶ 9d	² D _{5/2}	5p ⁶ 11f	² F _{7/2} ^o	A	3869,95	-0,30	2,22(8)
				C	3569,47	-0,28	2,72(8)
5p ⁶ 10d	² D _{5/2}	5p ⁶ 11f	² F _{7/2} ^o	A	7743,26	0,07	1,31(8)
				C	6856,97	0,08	1,71(8)
5p ⁶ 11f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 11g	² G _{9/2}	A	22852,70	1,09	1,56(8)
				C	21869,33	1,10	1,77(8)
5p ⁶ 11f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 12g	² G _{9/2}	A	12396,56	0,39	1,07(8)
				C	11863,87	0,40	1,20(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 13p	² P _{1/2} ^o	A	309,25	-2,50	2,22(8)
				C	309,25	-2,49	2,28(8)
5p ⁶ 13p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 13d	² D _{3/2}	A	21514,86	1,07	1,69(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 13p	² P _{3/2} ^o	A	312,41	-2,25	3,87(8)
				C	312,41	-2,23	4,00(8)
5p ⁶ 13p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 13d	² D _{5/2}	A	22249,41	1,31	2,75(8)
				C	17165,94	1,29	4,46(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 12f	² F _{5/2} ^o	A	306,90	-1,54	2,07(9)
				C	306,89	-1,52	2,12(9)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 12f	² F _{5/2} ^o	A	310,20	-2,69	1,43(8)
				C	310,19	-2,67	1,47(8)
5p ⁶ 6d	² D _{3/2}	5p ⁶ 12f	² F _{5/2} ^o	A	668,05	-1,40	5,92(8)
				C	663,87	-1,47	5,16(8)
5p ⁶ 7d	² D _{3/2}	5p ⁶ 12f	² F _{5/2} ^o	A	1182,11	-1,19	3,10(8)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler					λ (Å)	log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
Alt seviye		Üst seviye					
5p ⁶ 8d	² D _{3/2}	5p ⁶ 12f	² F ^o _{5/2}	C	1151,44	-1,18	3,36(8)
				A	1967,79	-0,97	1,87(8)
5p ⁶ 9d	² D _{3/2}	5p ⁶ 12f	² F ^o _{5/2}	C	1885,38	-0,95	2,10(8)
				A	3254,93	-0,72	1,19(8)
5p ⁶ 12f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 12g	² G _{7/2}	C	3038,35	-0,71	1,41(8)
				C	26858,70	1,05	1,03(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 12f	² F ^o _{7/2}	A	310,19	-1,39	2,86(9)
				C	310,18	-1,37	2,94(9)
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 12f	² F ^o _{7/2}	A	672,01	-1,25	8,31(8)
				C	667,50	-1,31	7,38(8)
5p ⁶ 7d	² D _{5/2}	5p ⁶ 12f	² F ^o _{7/2}	A	1187,97	-1,03	4,37(8)
				C	1157,35	-1,02	4,76(8)
5p ⁶ 8d	² D _{5/2}	5p ⁶ 12f	² F ^o _{7/2}	A	1976,86	-0,81	2,63(8)
				C	1894,43	-0,79	2,99(8)
5p ⁶ 9d	² D _{5/2}	5p ⁶ 12f	² F ^o _{7/2}	A	3270,03	-0,57	1,68(8)
				C	3053,33	-0,55	2,03(8)
5p ⁶ 10d	² D _{5/2}	5p ⁶ 12f	² F ^o _{7/2}	A	5664,09	-0,29	1,07(8)
				C	5176,11	-0,27	1,33(8)
5p ⁶ 12f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 13d	² D _{5/2}	C	28385,88	1,59	3,21(8)
5p ⁶ 12f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 12g	² G _{9/2}	C	27077,39	1,16	1,30(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 14p	² P ^o _{1/2}	A	305,29	-2,63	1,69(8)
				C	305,29	-2,61	1,76(8)
5p ⁶ 14p	² P ^o _{1/2}	5p ⁶ 14d	² D _{3/2}	A	24799,12	1,16	1,55(8)
5p ⁶ 14p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 14d	² D _{5/2}	A	25536,91	1,40	2,56(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 14p	² P ^o _{3/2}	A	308,41	-2,38	2,95(8)
				C	308,41	-2,36	3,07(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 13f	² F ^o _{5/2}	A	303,53	-1,66	1,57(9)
				C	303,53	-1,65	1,61(9)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 13f	² F ^o _{5/2}	A	306,76	-2,82	1,09(8)
				C	306,75	-2,81	1,11(8)
5p ⁶ 6d	² D _{3/2}	5p ⁶ 13f	² F ^o _{5/2}	A	652,29	-1,54	4,49(8)
				C	648,31	-1,61	3,92(8)
5p ⁶ 7d	² D _{3/2}	5p ⁶ 13f	² F ^o _{5/2}	A	1133,64	-1,34	2,35(8)
				C	1105,44	-1,33	2,54(8)
5p ⁶ 8d	² D _{3/2}	5p ⁶ 13f	² F ^o _{5/2}	A	1837,05	-1,14	1,42(8)
				C	1765,10	-1,13	1,59(8)
5p ⁶ 9d	² D _{3/2}	5p ⁶ 13f	² F ^o _{5/2}	C	2737,73	-0,92	1,07(8)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler					λ (Å)	log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
Alt seviye		Üst seviye					
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 13f	² F ^o _{7/2}	A	306,75	-1,51	2,17(9)
				C	306,74	-1,50	2,22(9)
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 13f	² F ^o _{7/2}	A	656,08	-1,39	6,30(8)
				C	651,79	-1,44	5,69(8)
5p ⁶ 7d	² D _{5/2}	5p ⁶ 13f	² F ^o _{7/2}	A	1139,07	-1,19	3,31(8)
				C	1110,92	-1,18	3,57(8)
5p ⁶ 8d	² D _{5/2}	5p ⁶ 13f	² F ^o _{7/2}	A	1845,04	-0,99	2,00(8)
				C	1773,13	-0,98	2,23(8)
5p ⁶ 9d	² D _{5/2}	5p ⁶ 13f	² F ^o _{7/2}	A	2924,41	-0,78	1,29(8)
				C	2750,10	-0,77	1,50(8)
5p ⁶ 13f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 14d	² D _{5/2}	A	46295,25	1,59	1,21(8)
5p ⁶ 13f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 13g	² G _{9/2}	C	29755,36	1,23	1,27(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 15p	² P ^o _{1/2}	A	302,31	-2,74	1,32(8)
				C	302,31	-2,72	1,40(8)
5p ⁶ 15p	² P ^o _{1/2}	5p ⁶ 15d	² D _{3/2}	A	27945,44	1,24	1,49(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 15p	² P ^o _{3/2}	A	305,40	-2,49	2,30(8)
				C	305,40	-2,47	2,45(8)
5p ⁶ 15p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 15d	² D _{3/2}	A	28670,13	1,49	2,48(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 14f	² F ^o _{5/2}	A	300,97	-1,78	1,22(9)
				C	300,96	-1,77	1,24(9)
5p ⁶ 6d	² D _{3/2}	5p ⁶ 14f	² F ^o _{5/2}	A	640,56	-1,67	3,48(8)
				C	636,74	-1,73	3,08(8)
5p ⁶ 7d	² D _{3/2}	5p ⁶ 14f	² F ^o _{5/2}	A	1098,69	-1,48	1,83(8)
				C	1072,20	-1,47	1,97(8)
5p ⁶ 8d	² D _{3/2}	5p ⁶ 14f	² F ^o _{5/2}	A	1746,99	-1,30	1,11(8)
				C	1681,85	-1,28	1,23(8)
5p ⁶ 14f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 15d	² D _{3/2}	A	47440,60	1,57	1,10(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 14f	² F ^o _{7/2}	A	304,13	-1,63	1,69(9)
				C	304,13	-1,62	1,72(9)
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 14f	² F ^o _{7/2}	A	644,22	-1,52	4,89(8)
				C	640,10	-1,56	4,46(8)
5p ⁶ 7d	² D _{5/2}	5p ⁶ 14f	² F ^o _{7/2}	A	1103,81	-1,33	2,57(8)
				C	1077,37	-1,32	2,77(8)
5p ⁶ 8d	² D _{5/2}	5p ⁶ 14f	² F ^o _{7/2}	A	1754,27	-1,14	1,56(8)
				C	1689,19	-1,13	1,73(8)
5p ⁶ 9d	² D _{5/2}	5p ⁶ 14f	² F ^o _{7/2}	A	2702,76	-0,96	1,01(8)
				C	2553,31	-0,95	1,16(8)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler							
Alt seviye		Üst seviye			λ (Å)	log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
5p ⁶ 14f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 15d	² D _{3/2}	A	47068,81	1,73	1,61(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 16p	² P _{1/2} ^o	A	300,01	-2,85	1,05(8)
				C	300,01	-2,82	1,14(8)
5p ⁶ 16p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 16d	² D _{3/2}	A	30612,39	1,33	1,52(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 16p	² P _{3/2} ^o	A	303,08	-2,60	1,83(8)
				C	303,08	-2,56	2,00(8)
5p ⁶ 16p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 16d	² D _{5/2}	A	31298,89	1,57	2,55(8)
5p ⁶ 16p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 15d	² D _{5/2}	C	34093,44	1,49	1,77(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 15f	² F _{5/2} ^o	A	298,95	-1,89	9,67(8)
				C	298,95	-1,88	9,78(8)
5p ⁶ 6d	² D _{3/2}	5p ⁶ 15f	² F _{5/2} ^o	A	631,50	-1,78	2,76(8)
				C	627,78	-1,83	2,48(8)
5p ⁶ 7d	² D _{3/2}	5p ⁶ 15f	² F _{5/2} ^o	A	1072,28	-1,60	1,45(8)
				C	1047,06	-1,60	1,55(8)
5p ⁶ 15f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 16d	² D _{3/2}	A	47944,41	1,70	1,44(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 15f	² F _{7/2} ^o	A	302,07	-1,74	1,34(9)
				C	302,07	-1,73	1,36(9)
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 15f	² F _{7/2} ^o	A	635,06	-1,63	3,88(8)
				C	631,06	-1,67	3,58(8)
5p ⁶ 7d	² D _{5/2}	5p ⁶ 15f	² F _{7/2} ^o	A	1077,17	-1,45	2,04(8)
				C	1052,00	-1,44	2,19(8)
5p ⁶ 8d	² D _{5/2}	5p ⁶ 15f	² F _{7/2} ^o	A	1687,94	-1,28	1,24(8)
				C	1627,65	-1,26	1,37(8)
5p ⁶ 15f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 16d	² D _{5/2}	A	47640,62	1,85	2,10(8)
				C	54588,65	1,77	1,33(8)
5p ⁶ 17p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 17d	² D _{3/2}	A	32829,39	1,42	1,61(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 17p	² P _{3/2} ^o	A	301,26	-2,70	1,48(8)
				C	301,26	-2,65	1,66(8)
5p ⁶ 17p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 17d	² D _{5/2}	A	33462,15	1,66	2,74(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 16f	² F _{5/2} ^o	A	297,35	-1,99	7,81(8)
				C	297,35	-1,99	7,82(8)
5p ⁶ 6d	² D _{3/2}	5p ⁶ 16f	² F _{5/2} ^o	A	624,39	-1,89	2,23(8)
				C	620,77	-1,93	2,04(8)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler					λ (Å)	log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
Alt seviye	Üst seviye						
5p ⁶ 7d	² D _{3/2}	5p ⁶ 16f	² F _{5/2} ^o	A	1051,96	-1,71	1,17(8)
				C	1027,68	-1,71	1,24(8)
5p ⁶ 16f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 17d	² D _{3/2}	A	48161,46	1,82	1,88(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 16f	² F _{7/2} ^o	A	300,44	-1,84	1,08(9)
				C	300,44	-1,84	1,08(9)
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 16f	² F _{7/2} ^o	A	627,88	-1,73	3,13(8)
				C	623,97	-1,76	2,97(8)
5p ⁶ 7d	² D _{5/2}	5p ⁶ 16f	² F _{7/2} ^o	A	1056,68	-1,56	1,65(8)
				C	1032,46	-1,55	1,75(8)
5p ⁶ 8d	² D _{5/2}	5p ⁶ 16f	² F _{7/2} ^o	C	1581,33	-1,39	1,09(8)
5p ⁶ 16f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 17d	² D _{5/2}	A	47903,07	1,97	2,74(8)
5p ⁶ 18p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 18d	² D _{3/2}	A	35016,45	1,50	1,71(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 18p	² P _{3/2} ^o	A	299,78	-2,79	1,21(8)
				C	299,79	-2,72	1,43(8)
5p ⁶ 18p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 18d	² D _{5/2}	A	35602,38	1,75	2,93(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 17f	² F _{5/2} ^o	A	296,07	-2,08	6,40(8)
				C	296,06	-2,08	6,27(8)
5p ⁶ 6d	² D _{3/2}	5p ⁶ 17f	² F _{5/2} ^o	A	618,75	-1,98	1,82(8)
				C	615,19	-2,01	1,74(8)
5p ⁶ 17f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 18d	² D _{3/2}	A	48358,26	1,93	2,42(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 17f	² F _{7/2} ^o	A	299,13	-1,93	8,86(8)
				C	299,13	-1,93	8,68(8)
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 17f	² F _{7/2} ^o	A	622,18	-1,83	2,56(8)
				C	618,34	-1,84	2,54(8)
5p ⁶ 7d	² D _{5/2}	5p ⁶ 17f	² F _{7/2} ^o	A	1040,63	-1,66	1,35(8)
				C	1017,14	-1,66	1,41(8)
5p ⁶ 17f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 18d	² D _{5/2}	A	48145,23	2,09	3,51(8)
5p ⁶ 19p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 19d	² D _{3/2}	A	36950,12	1,58	1,85(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 19p	² P _{3/2} ^o	A	298,57	-2,87	1,00(8)
				C	298,57	-2,76	1,30(8)
5p ⁶ 19p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 19d	² D _{5/2}	A	37491,08	1,83	3,19(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 18f	² F _{5/2} ^o	A	295,00	-2,16	5,31(8)
				C	294,99	-2,19	5,01(8)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler					λ (Å)	log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
Alt seviye		Üst seviye					
5p ⁶ 6d	² D _{3/2}	5p ⁶ 18f	² F _{5/2} ^o	A	614,09	-2,07	1,51(8)
				C	610,59	-2,06	1,54(8)
5p ⁶ 18f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 19d	² D _{3/2}	A	48613,33	2,03	3,05(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 18f	² F _{7/2} ^o	A	298,04	-2,01	7,35(8)
				C	298,04	-2,04	6,92(8)
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 18f	² F _{7/2} ^o	A	617,47	-1,92	2,12(8)
				C	613,70	-1,89	2,27(8)
5p ⁶ 7d	² D _{5/2}	5p ⁶ 18f	² F _{7/2} ^o	A	1027,54	-1,75	1,12(8)
				C	1004,63	-1,76	1,14(8)
5p ⁶ 18f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 19d	² D _{5/2}	A	48434,38	2,19	4,41(8)
5p ⁶ 20p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 20d	² D _{3/2}	A	38770,19	1,66	2,01(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 20p	² P _{3/2} ^o	C	297,58	-2,76	1,32(8)
5p ⁶ 20p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 20d	² D _{5/2}	A	39268,03	1,91	3,48(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 19f	² F _{5/2} ^o	A	294,12	-2,24	4,45(8)
				C	294,12	-2,32	3,73(8)
5p ⁶ 6d	² D _{3/2}	5p ⁶ 19f	² F _{5/2} ^o	A	610,32	-2,15	1,27(8)
				C	606,86	-2,07	1,56(8)
5p ⁶ 19f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 20d	² D _{3/2}	A	48799,56	2,13	3,80(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 19f	² F _{7/2} ^o	A	297,15	-2,09	6,17(8)
				C	297,14	-2,17	5,15(8)
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 19f	² F _{7/2} ^o	A	613,66	-2,00	1,78(8)
				C	609,93	-1,89	2,32(8)
5p ⁶ 19f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 20d	² D _{5/2}	A	48652,35	2,29	5,48(8)
5p ⁶ 21p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 21d	² D _{3/2}	A	40595,11	1,73	2,17(8)
5p ⁶ 21p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 20d	² D _{5/2}	A	63175,14	1,84	1,16(8)
5p ⁶ 21p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 21d	² D _{5/2}	C	41055,94	1,98	3,77(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 20f	² F _{5/2} ^o	A	293,37	-2,31	3,77(8)
				C	293,37	-2,07	6,66(8)
5p ⁶ 6d	² D _{3/2}	5p ⁶ 20f	² F _{5/2} ^o	A	607,08	-2,23	1,07(8)
5p ⁶ 20f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 21d	² D _{3/2}	A	49279,31	2,22	4,60(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 20f	² F _{7/2} ^o	A	296,38	-2,16	5,23(8)
				C	296,38	-1,91	9,34(8)
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 20f	² F _{7/2} ^o	A	610,39	-2,07	1,51(8)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler					λ (Å)	log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
Alt seviye		Üst seviye					
5p ⁶ 7d	² D _{5/2}	5p ⁶ 20f	² F _{7/2} ^o	C	986,01	-1,74	1,26(8)
5p ⁶ 20f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 21d	² D _{5/2}	A	49150,94	2,38	6,62(8)
5p ⁶ 22p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 22d	² D _{3/2}	A	40929,07	1,81	2,59(8)
5p ⁶ 22p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 21d	² D _{5/2}	A	60319,05	1,96	1,66(8)
5p ⁶ 22p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 22d	² D _{5/2}	A	41324,86	2,06	4,53(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 21f	² F _{5/2} ^o	A	292,71	-2,38	3,23(8)
5p ⁶ 21f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 22d	² D _{3/2}	A	49332,80	2,31	5,64(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 21f	² F _{7/2} ^o	A	295,71	-2,23	4,47(8)
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 21f	² F _{7/2} ^o	A	607,55	-2,15	1,29(8)
5p ⁶ 21f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 22d	² D _{5/2}	A	49219,89	2,47	8,12(8)
5p ⁶ 23p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 22d	² D _{3/2}	A	56613,89	1,82	1,37(8)
5p ⁶ 23p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 23d	² D _{3/2}	A	41674,46	1,89	2,97(8)
5p ⁶ 23p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 22d	² D _{5/2}	A	57236,04	2,07	2,39(8)
5p ⁶ 23p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 23d	² D _{5/2}	A	42028,27	2,14	5,22(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 22f	² F _{5/2} ^o	A	292,18	-2,45	2,78(8)
5p ⁶ 22f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 23d	² D _{3/2}	A	49134,04	2,40	6,96(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 22f	² F _{7/2} ^o	A	295,16	-2,30	3,85(8)
5p ⁶ 6d	² D _{5/2}	5p ⁶ 22f	² F _{7/2} ^o	A	605,25	-2,21	1,11(8)
5p ⁶ 22f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 23d	² D _{5/2}	A	49037,66	2,56	1,00(9)
5p ⁶ 24p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 23d	² D _{3/2}	A	56143,47	1,91	1,71(8)
5p ⁶ 24p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 24d	² D _{3/2}	A	43470,68	1,95	3,15(8)
5p ⁶ 24p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 23d	² D _{5/2}	A	56676,46	2,16	2,99(8)
5p ⁶ 24p	² P _{3/2} ^o	5p ⁶ 24d	² D _{5/2}	A	43803,91	2,20	5,54(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 23f	² F _{5/2} ^o	A	291,73	-2,51	2,41(8)
5p ⁶ 23f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 24d	² D _{3/2}	A	49278,10	2,48	8,32(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 23f	² F _{7/2} ^o	A	294,70	-2,36	3,34(8)
5p ⁶ 23f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 24d	² D _{5/2}	A	49190,84	2,64	1,20(9)
5p ⁶ 25p	² P _{1/2} ^o	5p ⁶ 24d	² D _{3/2}	A	56596,27	1,99	2,01(8)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler					λ (Å)	log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
Alt seviye		Üst seviye					
5p ⁶ 25p	² P ^o _{1/2}	5p ⁶ 25d	² D _{3/2}	A	44698,71	2,02	3,45(8)
5p ⁶ 25p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 24d	² D _{5/2}	A	57069,45	2,24	3,54(8)
5p ⁶ 25p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 25d	² D _{5/2}	A	45003,47	2,27	6,09(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 24f	² F ^o _{5/2}	A	291,32	-2,57	2,11(8)
5p ⁶ 24f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 25d	² D _{3/2}	A	49605,66	2,56	9,76(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 24f	² F ^o _{7/2}	A	294,28	-2,42	2,92(8)
5p ⁶ 24f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 25d	² D _{5/2}	A	49529,49	2,71	1,40(9)
5p ⁶ 26p	² P ^o _{1/2}	5p ⁶ 25d	² D _{3/2}	A	56395,19	2,07	2,44(8)
5p ⁶ 26p	² P ^o _{1/2}	5p ⁶ 26d	² D _{3/2}	A	45494,85	2,08	3,87(8)
5p ⁶ 26p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 25d	² D _{5/2}	A	56803,63	2,32	4,29(8)
5p ⁶ 26p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 26d	² D _{5/2}	A	45776,00	2,33	6,84(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 25f	² F ^o _{5/2}	A	290,94	-2,63	1,85(8)
5p ⁶ 25f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 26d	² D _{3/2}	A	50076,39	2,63	1,13(9)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 25f	² F ^o _{7/2}	A	293,90	-2,48	2,57(8)
5p ⁶ 25f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 26d	² D _{5/2}	A	50008,78	2,78	1,62(9)
5p ⁶ 27p	² P ^o _{1/2}	5p ⁶ 26d	² D _{3/2}	A	53912,69	2,16	3,31(8)
5p ⁶ 27p	² P ^o _{1/2}	5p ⁶ 27d	² D _{3/2}	A	44039,26	2,16	5,02(8)
5p ⁶ 27p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 26d	² D _{5/2}	A	54250,50	2,41	5,84(8)
5p ⁶ 27p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 27d	² D _{5/2}	A	44269,31	2,42	8,90(8)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 26f	² F ^o _{5/2}	A	290,60	-2,68	1,64(8)
5p ⁶ 26f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 27d	² D _{3/2}	A	49778,51	2,70	1,35(9)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 26f	² F ^o _{7/2}	A	293,55	-2,53	2,27(8)
5p ⁶ 26f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 27d	² D _{5/2}	A	49717,88	2,86	1,94(9)
5p ⁶ 28p	² P ^o _{1/2}	5p ⁶ 27d	² D _{3/2}	A	52712,01	2,24	4,17(8)
5p ⁶ 28p	² P ^o _{1/2}	5p ⁶ 28d	² D _{3/2}	A	45630,83	2,22	5,27(8)
5p ⁶ 28p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 27d	² D _{5/2}	A	52991,33	2,49	7,39(8)
5p ⁶ 28p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 28d	² D _{3/2}	A	45913,68	1,51	1,03(8)
5p ⁶ 28p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 28d	² D _{5/2}	A	45850,51	2,47	9,34(8)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler					λ (Å)	log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
Alt seviye			Üst seviye				
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 27f	² F ^o _{5/2}	A	290,35	-2,74	1,46(8)
5p ⁶ 27f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 28d	² D _{3/2}	A	49902,71	2,77	1,57(9)
5p ⁶ 27f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 28d	² D _{5/2}	A	49828,09	1,62	1,13(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 27f	² F ^o _{7/2}	A	293,29	-2,59	2,02(8)
5p ⁶ 27f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 27d	² D _{5/2}	A	58412,96	1,80	1,25(8)
5p ⁶ 27f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 28d	² D _{5/2}	A	49854,20	2,92	2,25(9)
5p ⁶ 28d	² D _{3/2}	5p ⁶ 29p	² P ^o _{1/2}	A	52446,61	2,31	4,95(8)
5p ⁶ 29p	² P ^o _{1/2}	5p ⁶ 29d	² D _{3/2}	A	43849,05	2,30	6,90(8)
5p ⁶ 29p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 28d	² D _{5/2}	A	52695,34	2,56	8,79(8)
5p ⁶ 29p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 29d	² D _{3/2}	A	44081,02	1,60	1,36(8)
5p ⁶ 29p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 29d	² D _{5/2}	A	44027,63	2,55	1,23(9)
5p ⁶ 30p	² P ^o _{1/2}	5p ⁶ 29d	² D _{3/2}	A	48653,49	2,41	7,22(8)
5p ⁶ 30p	² P ^o _{1/2}	5p ⁶ 30d	² D _{3/2}	A	43256,32	2,37	8,29(8)
5p ⁶ 30p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 29d	² D _{3/2}	A	48910,52	1,71	1,42(8)
5p ⁶ 30p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 29d	² D _{5/2}	A	48844,80	2,66	1,28(9)
5p ⁶ 30p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 30d	² D _{3/2}	A	43459,37	1,67	1,64(8)
5p ⁶ 30p	² P ^o _{3/2}	5p ⁶ 30d	² D _{5/2}	A	43412,18	2,62	1,48(9)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 28f	² F ^o _{5/2}	A	290,04	-2,79	1,30(8)
5p ⁶ 28f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 29d	² D _{3/2}	A	49735,19	2,84	1,85(9)
5p ⁶ 28f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 29d	² D _{5/2}	A	49667,23	1,69	1,33(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 28f	² F ^o _{7/2}	A	292,98	-2,63	1,80(8)
5p ⁶ 28f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 28d	² D _{5/2}	A	61022,16	1,85	1,27(8)
5p ⁶ 28f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 29d	² D _{5/2}	A	49693,17	2,99	2,65(9)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 29f	² F ^o _{5/2}	A	289,86	-2,83	1,16(8)
5p ⁶ 29f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 29d	² D _{3/2}	A	55588,01	1,80	1,35(8)
5p ⁶ 29f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 30d	² D _{3/2}	A	48652,35	2,91	2,29(9)
5p ⁶ 29f	² F ^o _{5/2}	5p ⁶ 30d	² D _{5/2}	A	48593,23	1,76	1,64(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 29f	² F ^o _{7/2}	A	292,80	-2,68	1,61(8)
5p ⁶ 29f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 29d	² D _{5/2}	A	55524,74	1,95	1,93(8)
5p ⁶ 29f	² F ^o _{7/2}	5p ⁶ 30d	² D _{5/2}	A	48609,78	3,07	3,28(9)
5p ⁶ 5d	² D _{3/2}	5p ⁶ 30f	² F ^o _{5/2}	A	289,75	-2,88	1,04(8)

Tablo 3.4. (Devamı)

Geçişler							
Alt seviye		Üst seviye			λ (Å)	log (gf)	gA_{ki} (s ⁻¹)
5p ⁶ 30f	² F _{5/2} ^o	5p ⁶ 30d	² D _{3/2}	A	51937,29	1,88	1,88(8)
5p ⁶ 5d	² D _{5/2}	5p ⁶ 30f	² F _{7/2} ^o	A	292,69	-2,73	1,45(8)
5p ⁶ 30f	² F _{7/2} ^o	5p ⁶ 30d	² D _{5/2}	A	51888,78	2,04	2,70(8)

KAYNAKLAR

- [1] Biémont, E., Quinet, P., Recent advances in the study of lanthanide atoms and ions. *Phys. Scr.*, T105: 38–54, 2003.
- [2] Palmeri, P., Quinet, P., Frémat, Y., Wyart, J.-F., Biémont, E., Theoretical oscillator strengths in Pr III and application to some CP stars. *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 129: 367–376, 2000.
- [3] Kaufman, V., Sugar, J., The fifth spectrum of praseodymium. *Jour. of Research National B.S.-A.* 71(6): 583–585, 1967.
- [4] Migdalek, J., Baylis, W.E., Valence-core electron exchange interaction and the collapse of 4f and 5d orbitals in the cesium isoelectronic sequence. *Phys. Rev. A*, 30: 1603–1609, 1984.
- [5] Migdalek, J., Baylis, W.E., Relativistic Hartree-Fock oscillator strengths for the lowest $s \rightarrow p$ transitions in the first few members of the Rb I and Cs I isoelectronic sequences, with allowance for core polarization. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 22: 127–134, 1979.
- [6] Migdalek, J., Bojara, A., Relativistic effects, core polarisation and relaxation in ionisation potentials along Rb and Cs isoelectronic sequences. *J. Phys. B: At. Mol. Phys.* 17: 1943–1951, 1984.
- [7] Migdalek, J., Wyrozumska, M., Relativistic oscillator strengths for the Cs isoelectronic sequence and collapse of f and d orbitals. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 37: 581–589, 1987.
- [8] Savukov, I.M., Johnson, W.R., Safronova, U.I., Safronova, M.S., Energies, transition rates, and electron electric-dipole-moment enhancement factors for Ce IV and Pr V. *Phys. Rev. A*, 67: 042504–5, 2003.
- [9] Zilitis, V.A., Oscillator strengths and lifetimes calculated by the Dirac-Fock method for the levels of ions of the cesium isoelectronic sequence. *Opt. Spectrosc.* 117: 513–515, 2014.
- [10] Glushkov, A.V., Oscillator strengths of Cs and Rb-like ions *J. Appl. Spectrosc.* 56: 5–9, 1992.

- [11] Cowan, R.D., The Theory of Atomic Structure and Spectra, University of California Press, 1981.
- [12] Karaçoban Usta, B., Doğan (Özmen), S., Energies, Landé g-factors, oscillator strengths, and transition probabilities in Cs-like Pr V, Can. J. Phys. 93: 1439–1445, 2015.
- [13] <http://www.tcd.ie/Physics/People/Cormac.McGuinness/Cowan/>, Erişim Tarihi: 24.04.2017.
- [14] Fischer, C.F., Brage, T., Jönsson, P., Computational Atomic Structure-an MCHF Approach, IOP, Bristol 1997.
- [15] <http://physics.nist.gov/asd>, Erişim Tarihi: 24.04.2017.



ÖZGEÇMİŞ

Sevda ÖZMEN, 22.04.1990'da Sakarya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2008 yılında Mithatpaşa Şükrü Ayna Lisesi'nden mezun oldu. 2008 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Fizik Bölümü'nü 2012 yılında bitirdi. 2012 yılında Sakarya Üniversitesi Fizik Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı ve halen aynı üniversitede yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

