

Bir Kez İyonlaşmış Argon (Ar II)'da Geçiş Olasılığı Hesaplamaları

Şule ATEŞ*, Yağmur Nuray ATEŞ

Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, KONYA

*e-mail: suleates@selcuk.edu.tr

Öz: Bu çalışmada, bir kez iyonlaşmış Argon (Ar II)'un bazı seviyeleri arasındaki elektrik dipol geçiş olasılıkları, en zayıf bağlı elektron potansiyel model (WBEPM) teori kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar için gerekli olan parametrelerin belirlenmesinde, yarıçapların beklenen değerleri için sayısal Coulomb yaklaşımı (NCA) ve relativistik olmayan Hartree-Fock (NRHF) dalga fonksiyonları kullanılmıştır. Enerji değerleri ise NIST (National Institute of Standards and Technology)'den alınmıştır. Elde edilen geçiş olasılığı değerleri literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılmış ve iyi bir uyum elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Elektrik dipol geçiş olasılığı, En zayıf bağlı elektron potansiyel model teori, Bir kez iyonlaşmış Argon

The Calculation of Transition Probabilities in Singly Ionized Argon (Ar II)

Abstract: In this study, the electric dipole transition probability values between some levels in singly ionized argon (Ar II) have been calculated using the weakest bound electron potential model (WBEPM) theory. The Numerical Coulomb Approximation (NCA) and the numerical nonrelativistic Hartree-Fock (NRHF) wave functions for the expectation values of radii in the determination of parameters needed for calculations have been used. Energy levels have been taken from NIST database. The obtained transition probability values have been compared with results in the literature and, good agreement have been obtained.

Keywords: Electric dipole transition probability, Weakest bound electron potential model theory, Singly ionized argon

1. Giriş

Geçiş olasılığı gibi atomik parametrelerin bilinmesi, sadece teorik alanda değil aynı zamanda bilinen lambalar, lazerler, endüstriyel plazmalar, füzyon gibi herhangi bir radyasyon yayma kaynağı teşhislerinde veya astrofizikte büyük önem taşımaktadır (Belmonte ve ark., 2014). Ayrıca geçiş olasılığı verileri, güneş atmosferindeki bollukların tahmin edilmesine katkıda bulunur; bu da, karasal ve Venüs atmosferlerinin evrimini

modellemek için oldukça önemlidir (Belmonte ve ark., 2014; Lodders, 2008). Argon ise, lazer fiziği, laboratuvar plazmaları, tokamaklar ve astrofizikteki uygulamaları sebebiyle en çok çalışılan nadir gazdır (Dipti, 2016). Argonda geçiş olasılıklarının belirlenmesi, özellikle astrofizikte oldukça ilgi görmektedir. Argon plazmaları, arzulanan özellikleri sebebiyle ve plazma teşhisi için, özellikle sıcaklık belirleme aracı olarak çalışmak için spektral çizgilerinin uygunluğundan dolayı, son 50

yılı aşkın süredir kapsamlı olarak çalışılmaktadır (Belmonte ve ark., 2014; Wiese, 1988; Behringer ve Thoma, 1976). Bununla birlikte, tam bir geçiş olasılığı seti oluşturmak için yapılan tüm çabalara rağmen, UV (Ultraviyole) bölgesindeki Ar II spektral çizgileri için Kramida ve çalışma arkadaşlarının önerdiği bazı verilerde yaklaşık %50'lik belirsizlikler vardır (Belmonte ve ark., 2014; Kramida ve ark., 2015).

Günümüze kadar Ar II'de geçiş olasılıkları ile ilgili teorik ve deneysel bazı çalışmalar yapılmıştır. Örneğin; Ar II'de $3s^23p^5$, $3s3p^6$, $3p^43d$, $3p^44s$, and $3p^44p$ seviyeleri arasındaki geçiş oranları, Hibbert ve arkadaşları tarafından çalışılmıştır (Hibbert ve Hansen, 1987; 1989; 1994). Belmonte ve ark., Aparicio ve ark. tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmayı daha fazla genişleterek UV Ar II spektral çizgileri için güvenilir ve yeni geçiş olasılığı değerleri rapor ettiler (Belmonte ve ark., 2014; Aparicio ve ark., 1997). Onlar bu deneylerinde, 294 nm'den 386 nm'ye kadar uzanan ultraviyole bölgede 43 iyonize argon spektral çizgi ölçtüler ve 11 yeni geçiş olasılığı ürettiler. Bir kez iyonlaşmış argon (Ar II)'da $3p4nd$ ($n=4-6$) seviyelerinin geçiş olasılığı ile ilişkili olan yaşam süreleri, Karmakar ve Das (2007) tarafından yüksek frekans sapma tekniği kullanılarak ölçüldü. Biemont ve Träbert (2000), Cl I

izoelektronik seride en düşük uyarılmış seviyeleri içeren geçiş oranlarını yeniden araştırdılar. Relativistik düzeltme ile Hartree-Fock metodu kullanarak hesaplamalarını yaptılar. Verner ve ark. (1996), argonun tüm iyonlarının izinli rezonans spektral çizgileri için enerji seviyelerini, vakum dalga boylarını, geçiş olasılıklarını, osilatör şiddetlerini, istatistiksel ağırlıklarını çeşitli kaynaklardan derleyerek listelediler. Hibbert ve Hansen (1994) çalışmalarında, $3s^23p^5$, $3s3p^6$, $3p^43d$, $3p^44s$ and $3p^44p$ durumlarının seviyeleri arasında Ar II'deki tüm geçişlerin osilatör şiddetlerinin, geçiş olasılıklarının ve uyarılmış seviyelerin yaşam sürelerinin genişletilmiş konfigürasyon etkileşim (CI) hesaplamalarını sunmuşlardır. Abbas ve ark. (1988), Ar II için çizgi kayması, geçiş olasılığı, yaşam süresi, osilatör şiddeti ve bazı çizgilerin profili gibi özellikleri high-current wall-stabilized arc tekniğini kullanarak araştırmışlardır. Morton (1991), hidrojenen germanyuma kadar tüm elementlerin tüm iyon durumlarının geçişleri için geçiş olasılıkları sonuçlarını derlemiş ve sunmuştur.

Bu çalışmada, bir kez iyonlaşmış Argon (Ar II)'un bazı seviyeleri arasındaki elektrik dipol geçiş olasılıkları, en zayıf bağlı elektron potansiyel model (WBEPM) teori kullanılarak karmaşık hesaplamalara girmeden hesaplanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Teorik Hesaplama

En zayıf bağlı elektron potansiyel model teori, Zheng tarafından geliştirilen çok elektronlu sistemlerde elektronik hareketi tanımlamak için kullanılan bir yöntemdir (Zheng, 1986; Zheng ve Wang, 2002) ve çok elektronlu atomik ve iyonik sistemlerde enerji seviyeleri, iyonizasyon potansiyeli, geçiş olasılığı, osilatör şiddeti, uyarılmış seviyelerin yaşam süreleri gibi çeşitli atomik özellikleri hesaplamak için uygulanmaktadır (Zheng, 1986; 1987; 1988; Zheng ve ark., 2000a; 2004; Zheng ve Wang, 2002). Bu teori, en zayıf bağlı elektron ve en zayıf bağlı olmayan elektronlar olmak üzere elektronları iki

gruba ayırır. Verilen çok elektronlu sistemde en zayıf bağlı elektron, sistemdeki diğer elektronlarla karşılaştırıldığında sisteme en zayıf bağlı elektrondur. Elektronların bu şekilde ayrılması ile karmaşık çok elektron problemi, tek elektron problemi gibi ele alınarak basitleştirilebilir ve kolaylıkla çözüme ulaşılabilir (Zheng, 1988; Çelik, 2007; Çelik ve Ateş, 2007; 2008; Çelik ve ark, 2008; 2011; 2012-2016).

En zayıf bağlı elektron potansiyel model teoride elektronik radyal dalga fonksiyonu, yarıçapların beklenen değeri ve deneysel enerji verileri kullanılarak belirlenen bazı parametrelere göre Laguerre polinomunun bir fonksiyonu olarak ifade edilir (Zheng ve ark., 2000a; 2004; Zheng ve Wang, 2002; Zheng ve ark., 2000b; 2000c):

$$R_{nl}(r) = \left(\frac{2Z^*}{n^*}\right)^{l^*+3/2} \left[\frac{2n^*}{(n-l-1)!} \Gamma(n^* + l^* + 1) \right]^{-1/2} \exp\left(-\frac{Z^*r}{n^*}\right) r^{l^*} L_{n-l-1}^{2l^*+1}\left(\frac{2Z^*r}{n^*}\right). \quad (1)$$

İlgili parametreleri elde ettikten sonra iki farklı durum arasındaki radyal geçiş integrali, Eşitlik (1)'de verilen radyal dalga fonksiyonlarını kullanarak kolaylıkla

belirlenebilir. $(ni; li)$ seviyesinden $(nf; lf)$ seviyesine geçiş durumunda $k=1$ için r_k nın beklenen değeri veya radyal geçiş integrali

$$\begin{aligned}
 \langle R_{n_i l_i} | Q(r)^{(2)} | R_{n_f l_f} \rangle &= \int_0^\infty r^4 R_{n_i l_i}(r) R_{n_f l_f}(r) dr \\
 &= (-1)^{n_f + n_i + l_f + l_i} \left(\frac{2Z_f^*}{n_f^*} \right)^{l_f^*} \left(\frac{2Z_i^*}{n_i^*} \right)^{l_i^*} \times \left(\frac{Z_f^*}{n_f^*} - \frac{Z_i^*}{n_i^*} \right)^{-l_f^* - l_i^* - 5} \times \left[\frac{n_f^{*4} \Gamma(n_f^* + l_f^* + 1)}{4Z_f^{*3} (n_f^* - l_f^* - 1)!} \right]^{-1/2} \times \\
 &\left[\frac{n_i^{*4} \Gamma(n_i^* + l_i^* + 1)}{4Z_i^{*3} (n_i^* - l_i^* - 1)!} \right]^{-1/2} \times \sum_{m_1=0}^{n_f - l_f - 1} \sum_{m_2=0}^{n_i - l_i - 1} \frac{(-1)^{m_2}}{m_1! m_2!} \left(\frac{Z_f^*}{n_f^*} - \frac{Z_i^*}{n_i^*} \right)^{m_1 + m_2} \times \left(\frac{Z_f^*}{n_f^*} + \frac{Z_i^*}{n_i^*} \right)^{-m_1 - m_2} \times \\
 &\Gamma(l_f^* + l_i^* + m_1 + m_2 + 5) \times \sum_{m_3=0}^S \binom{l_i^* - l_f^* + m_2 + 3}{n_f^* - l_f^* - 1 - m_1 - m_3} \times \binom{l_f^* - l_i^* + m_1 + 3}{n_i^* - l_i^* - 1 - m_2 - m_3} \times \\
 &\binom{l_i^* + l_f^* + m_1 + m_2 + m_3 + 4}{m_3}
 \end{aligned} \tag{2}$$

ifadesi ile verilebilir (Zheng ve ark., 2000a; 2000b). Burada Z^* , n^* , l^* nicelikleri sırasıyla etkin çekirdek yükü, etkin baş kuantum sayısı ve etkin açısal momentum kuantum sayısı olarak ifade edilir. n^* ve l^* parametreleri

$$n^* = n + d, \quad l^* = l + d \tag{3}$$

şeklinde verilir. Bu ifadelerde d , ayarlanabilir bir parametredir. Bu parametreler aşağıdaki denklem çifti birlikte çözümlenerek elde edilir:

$$\begin{aligned}
 I = -\varepsilon &= \frac{Z^{*2}}{2n^{*2}} \\
 \langle r \rangle &= \frac{3n^{*2} - \ell^*(\ell^* + 1)}{2Z^*}
 \end{aligned} \tag{4}$$

Burada I iyonlaşma enerjisidir. $\langle r \rangle$ ise en zayıf bağlı elektronun yarıçapı için beklenen

değerdir. Bu parametrelerin belirlenmesinde ilgili enerji değerleri, literatürdeki deneysel enerji verilerinden alınmıştır. Seviyelere ait yarıçapların beklenen değerleri ise sayısal Coulomb yaklaşımı (NCA) ve sayısal relativistik olmayan Hartree-Fock (NRHF) yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır (Lindgard ve Nielsen, 1977; Gaigalas ve Fischer, 1996).

Geçiş olasılığı, osilatör şiddeti, yaşam süreleri gibi parametrelerin değerlerinin güvenilirliği, kullanılan hesaplama metodunun performansına bağlıdır. Geçiş olasılığı, bir üst elektronik durumdan daha düşük bir elektronik duruma bir elektronun kendiliğinden geçişinin istatistiksel olasılığıdır. γ JM kuantum sayılı

bir seviyeden γ 'J' lü tüm M' seviyelerine toplam elektrik dipol geçiş olasılığı

$$A_{J'J} = \frac{64\pi^4 e^2 a_0^2 (E_{J'} - E_J)^3}{3h(2J + 1)} S_{J'J} \quad (5)$$

ifadesi ile verilir (Cowan, 1981). Eşitlikte e elektron yükü, a_0 Bohr yarıçapı, h ise Planck sabitidir. $(E_{J'} - E_J)$, Kaysers (cm^{-1}) biriminde ilgili seviyeler arasındaki enerji farkıdır. $(2J + 1)$ başlangıç seviyesinin dejenereliğidir ve $S_{J'J}$ atomik birimlerde elektrik dipol çizgi şiddetidir.

LS çiftleniminde iki uyarılmış seviye arasındaki geçişler için elektrik dipol çizgi şiddeti,

$$S_{LS} \equiv \langle [(\dots \alpha_1 L_1, l_1) L (\dots S_1 s_2) S J] | r_N^{(1)} | [(\dots \alpha'_1 L'_1, l'_1) L' (\dots S'_1 s'_2) S' J'] \rangle^2 \quad (6)$$

$$= \left| (-1)^{S+J+L_1+l_1} [J J', L, L']^{1/2} \begin{Bmatrix} L & S & J \\ J' & 1 & L' \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} L_1 & l_1 & L \\ 1 & L' & l'_1 \end{Bmatrix} P_{l_1 l'_1}^{(1)} \right|^2$$

ile verilir. Eşitlik (6)'daki köşeli parantez içindeki ifadeler iki veya daha fazla açılal momentumlar arasındaki çiftlenimi tanımlamak için kullanılan 6j sembolleridir.

$P_{l_1 l'_1}^{(1)}$ niceliği, atomik birimlerde radyal geçiş integrali veya geçiş matris elemanını gösterir ve

$$= \langle n_i \ell_i || r^{(1)} || n_f \ell_f \rangle = \delta_{\ell_f, \ell_i \pm 1} (-1)^{\ell_i + \ell_f} (\ell_i)_{\ell_i}^{1/2} \times \int_0^\infty r^3 R_{n_i \ell_i}(r) R_{n_f \ell_f}(r) dr. \quad (7)$$

bağıntısı ile ifade edilebilir (Cowan, 1981).

3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, bir kez iyonlaşmış argonda bazı seviyeler arasındaki elektrik dipol geçiş olasılıkları, en zayıf bağlı elektron potansiyel model teori kullanılarak elde edilmiştir.

Çizelge 1. Ar II için elektrik dipol geçiş olasılıkları ($\times 10^8 \text{ s}^{-1}$)

1. seviye	2. seviye	Terimler	J ₁	J ₂	Bu çalışma (WBEPMT)	Kramida ve ark. (2015)	Irimia ve F. Fischer (2003)	Hibbert ve Hansen (1994)
[Mg]3s(2)3p(5)	[Mg]3p(4)(D1)3d(1)	P2P2	1,5	1,5	1,06E+02*		1,3886E+02	
[Mg]3s(2)3p(5)	[Mg]3p(4)(D1)3d(1)	P2P2	1,5	0,5	4,26E+01*		5,1738E+01	
[Mg]3s(2)3p(5)	[Mg]3p(4)(D1)3d(1)	P2P2	0,5	1,5	2,07E+01*		1,4293E+01	
[Mg]3s(2)3p(5)	[Mg]3p(4)(D1)3d(1)	P2P2	0,5	0,5	2,71E+01		1,0145E+02	
[Mg]3s(2)3p(5)	[Mg]3p(4)(D1)3d(1)	P2P2	Mult.	Mult.	1,26E+02*		1,53E+02	
[Mg]3p(4)(P3)4s(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	P4P4	2,5	2,5	7,48E-01*	7,80E-01	8,539E-01	7,812E-01
[Mg]3p(4)(P3)4s(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	P4P4	2,5	1,5	5,03E-01*	5,80E-01	6,1431E-01	5,863E-01
[Mg]3p(4)(P3)4s(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	P4P4	1,5	1,5	1,32E-01*	1,44E-01	1,573E-01	1,414E-01
[Mg]3p(4)(P3)4s(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	P4P4	1,5	0,5	8,68E-01*	8,49E-01	8,9641E-01	8,536E-01
[Mg]3p(4)(P3)4s(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	P4P4	0,5	1,5	3,38E-01	2,23E-01	2,3774E-01	2,287E-01
[Mg]3p(4)(P3)4s(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	P4P4	0,5	0,5	1,43E-01	9,7E-02	1,0617E-01	1,046E-01
[Mg]3p(4)(P3)4s(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	P4P4	Mult.	Mult.	1,02E+00*	9,4E-01	9,9365E-01	
[Mg]3p(4)(P3)4s(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	P4D4	2,5	3,5	1,24E+00	1,171E+00	1,2647E+00	1,188E+00
[Mg]3p(4)(P3)4s(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	P4D4	1,5	2,5	8,39E-01	8,17E-01	9,1024E-01	8,542E-01
[Mg]3p(4)(P3)4s(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	P4D4	1,5	1,5	6,81E-01	5,74E-01	5,8414E-01	5,462E-01
[Mg]3p(4)(P3)4s(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	P4D4	1,5	0,5	2,20E-01	1,32E-01	1,4335E-01	1,307E-01
[Mg]3p(4)(P3)4s(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	P4D4	0,5	1,5	5,64E-01*	5,69E-01	6,0034E-01	5,609E-01
[Mg]3p(4)(P3)4s(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	P4D4	0,5	0,5	1,17E+00*	1,004E+00	1,0913E+00	1,017E+00
[Mg]3p(4)(P3)4s(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	P4D4	Mult.	Mult.	1,23E+00	1,1E+00	1,2082E+00	
[Mg]3p(4)(P3)3d(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	D4D4	3,5	3,5	6,62E-02*	1,05E-01	1,167E-01	1,098E-01
[Mg]3p(4)(P3)3d(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	D4D4	3,5	2,5	1,77E-02	4,1E-02	4,393E-02	4,018E-02
[Mg]3p(4)(P3)3d(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	D4D4	1,5	2,5	1,85E-02*	1,6E-02	1,564E-02	1,558E-02
[Mg]3p(4)(P3)3d(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	D4D4	1,5	1,5	3,77E-02	3,7E-02	3,668E-02	3,442E-02
[Mg]3p(4)(P3)3d(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	D4D4	2,5	3,5	1,08E-02*	1,2E-02	8,289E-03	1,136E-02
[Mg]3p(4)(P3)3d(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	D4D4	2,5	2,5	4,65E-02*	4,8E-02	5,586E-02	5,055E-02
[Mg]3p(4)(P3)3d(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	D4D4	0,5	1,5	2,09E-02*	2,0E-02	2,121E-02	2,011E-02
[Mg]3p(4)(P3)3d(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	D4D4	0,5	0,5	4,76E-02	4,3E-02	5,173E-02	4,735E-02
[Mg]3p(4)(P3)3d(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	D4D4	Mult.	Mult.	9,16E-02	1,1E-01	1,244E-01	
[Mg]3p(4)(P3)3d(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	D4P4	3,5	2,5	3,06E-01	3,04E-01		3,199E-01
[Mg]3p(4)(P3)3d(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	D4P4	2,5	1,5	2,16E-01*	2,21E-01		2,230E-01
[Mg]3p(4)(P3)3d(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	D4P4	1,5	1,5	1,23E-01	1,60E-01		1,650E-01
[Mg]3p(4)(P3)3d(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	D4P4	1,5	0,5	1,98E-01	1,92E-01		1,832E-01
[Mg]3p(4)(P3)3d(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	D4P4	0,5	0,5	1,97E-01	2,12E-01		2,308E-01
[Mg]3p(4)(P3)3d(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	D4P4	Mult.	Mult.	3,83E-01	4,2E-01		
[Mg]3p(4)(P3)3d(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	F4D4	4,5	3,5	1,32E-01*	1,47E-01	1,527E-01	1,705E-01
[Mg]3p(4)(P3)3d(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	F4D4	3,5	2,5	1,19E-01*	1,07E-01	1,181E-01	1,318E-01
[Mg]3p(4)(P3)3d(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	F4D4	2,5	3,5	9,51E-04	1,0E-03	6,189E-04	6,849E-04
[Mg]3p(4)(P3)3d(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	F4D4	2,5	2,5	2,35E-02*	2,5E-02	2,148E-02	2,398E-02
[Mg]3p(4)(P3)3d(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	F4D4	2,5	1,5	1,75E-01	1,37E-01	1,310E-01	1,461E-01
[Mg]3p(4)(P3)3d(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	F4D4	1,5	2,5	1,84E-03	2,0E-03	1,059E-03	1,181E-03
[Mg]3p(4)(P3)3d(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	F4D4	1,5	1,5	2,85E-02*	2,0E-02	2,945E-02	3,288E-02
[Mg]3p(4)(P3)3d(1)	[Mg]3p(4)(P3)4p(1)	F4D4	1,5	0,5	1,51E-01*	1,69E-01	1,714E-01	1,886E-01

Geçiş olasılığı değerlerinin hesaplanmasında gerekli olan Z^* , n^* , l^* parametrelerini elde etmek için enerji değerleri ve yarıçapların beklenen değerlerine ihtiyaç vardır. NIST (Kramida ve ark., 2015), enerji değerleri, geçiş olasılığı ve osilatör şiddeti verileri için referans bir veri tabanıdır. Bu sebeple hesaplamalar için gerekli olan enerji değerleri, NIST'den alınmıştır ve yarıçapların beklenen değerleri NCA ve NRHF dalga fonksiyonları kullanılarak belirlenmiştir. Ar II'de ikili ve dörtlü durumlar için elektrik dipol geçiş olasılıkları Çizelge 1'de verilmiştir. NRHF dalga fonksiyonları kullanılarak elde edilen yarıçapların beklenen değerleri ile hesaplanan geçiş olasılığı değerleri Çizelge 1'de (*) işareti ile belirtilmiştir. Ayrıca multiplet değerler, tabloda Mult. kısaltması ile verilmiştir.

Bu çalışmada göz önüne alınan geçişler için karşılaştırmalar, NIST'de verilen değerler (Kramida ve ark., 2015), MCHF değerleri (Irimia ve Fischer, 2003) ve Hibbert ve Hansen (1994) tarafından verilen teorik değerler ile yapılmıştır. Çizelge 1'e bakıldığında bizim elde ettiğimiz değerler ile göz önüne alınan karşılaştırma yaptığımız değerler arasında

oldukça iyi bir uyum olduğu gözlenmektedir. Bu sonuçtan yola çıkarak WBEPM teorisinin diğer yöntemler kadar kullanışlı olduğu, hatta bazı durumlarda daha avantajlı olduğu ifade edilebilir.

Çok elektronlu sistemlerde geçiş özelliklerini hesaplamak için bilinen önemli teorik yöntemler, relativistik etkileri ve korelasyon etkilerini hesaplamalara dahil ettikleri ve çok sayıda orbital baz-setleri ve çok sayıda konfigürasyonu kullandıkları için hesaplamalar oldukça karmaşıklaşmaktadır. Bu sebeple bu yöntemler, yüksek uyarılmış seviyelerden ziyade düşük uyarılmış seviyelere ait geçişleri göz önüne almaktadır. WBEPM teori ise karmaşık hesaplamalara girmeden hem düşük hem de yüksek uyarılmış seviyeler arasındaki geçiş özelliklerini kolayca ve daha kısa sürede hesaplayabilme imkanı sunar. Bu teoride geçiş özelliklerinin hesaplanabilmesi için Z^* , n^* ve l^* parametrelerinin belirlenmesi yeterlidir. Dolayısıyla özellikle yüksek uyarılmış seviyelere ait hesaplamalarda WBEPM teorisini kullanmanın diğer yöntemlere göre daha avantajlı olduğu söylenebilir.

Kaynaklar

- Abbas A, Basha TS, Abdel-Aal ZA (1988). Half-width, shift and transition probability of Ar II lines. *Jpn J Appl Phys* 27: 804–807.
- Aparicio JA, Gigosos MA, Mar S (1997). Transition probability measurement in an Ar II plasma. *J Phy B At Mol Opt Phys* 30: 3141–3157.
- Ateş Ş, Gökçe Y, Çelik G and Yıldız M (2014). Oscillator strengths and transition probabilities for singly ionized terbium. *Can J Phys* 92: 1043–1046.
- Behringer K, Thoma P (1976). Measurement of ultraviolet Argon (II) transition probabilities. *J Quant Spect Radiat Trans* 16: 605.
- Belmonte MT, Djurović S, Peláez RJ, Aparicio JA, Mar S (2014). Improved and expanded measurements of transition probabilities in UV Ar II spectral lines. *Mon Not R Astron Soc* 445: 3345–3351.
- Biemont E, Träbert E (2000). Transition rates of the resonance line doublet in the Cl I sequence, Ar II-Ge XVI. *J Phys B: At Mol Opt Phys* 33: 2939–2946.
- Cowan RD (1981). The theory of atomic structure and spectra. *University of California Press, Berkeley*.
- Çelik G, Ateş Ş, Tekeli G (2016). Electric dipole transition probabilities, oscillator strengths, and lifetimes for Co^{16+} . *Can J Phys* 94: 23–25.
- Çelik G, Ateş Ş, Erol E (2015). Oscillator strengths and lifetimes for Cu I. *Can J Phys* 93: 1015–1023.
- Çelik G, Gökçe Y, Yıldız M (2014). Electric quadrupole transition probabilities for atomic lithium. *At Data Nucl Data Tables* 100: 792–802.
- Çelik G, Erol E, Taşer M (2013). Transition probabilities, oscillator strengths and radiative lifetimes for Zn II. *J Quant Spect Radiat Trans* 129: 263–271.
- Çelik G, Doğan D, Ateş Ş, Taşer M (2012). Transition probabilities and radiative lifetimes of levels in F I. *At Data Nucl Data Tables* 98: 566–588.
- Çelik G, Ateş Ş, Özarıslan S, Taşer M (2011). Transition probabilities, oscillator strengths and lifetimes for singly ionized magnesium. *J Quant Spect Radiat Trans* 112: 2330–2334.
- Çelik G, Ateş Ş (2008). Calculations of transition probabilities for some excited levels of Na I. *Acta Phys Pol A* 113: 1619–1627.
- Çelik G, Çelik E, Kılıç HŞ (2008). Calculation of the 1s-2s two-photon excitation cross - section in atomic hydrogen. *Eur J Phys D* 50: 237.
- Çelik G, Ateş Ş (2007). The calculation of transition probabilities for atomic oxygen. *Eur J Phys D* 44: 433.

- Çelik G (2007). The calculation of transition probabilities between individual lines for atomic lithium. *J Quant Spect Radiat Trans* 103: 578.
- Dipti SD (2016). Electron-impact excitation rate-coefficients and polarization of subsequent emission for Ar⁺ ion. *J Quant Spect Radiat Trans* 176: 12–23.
- Gaigalas G, Fischer CF (1996). Extension of the HF program to partially filled F-subshells. *Comput Phys Commun* 98: 255.
- Hibbert A, Hansen JE (1987). Accurate wavefunctions for 2S and 2Po states of Ar II. *J Phys B At Mol Phys* 20: 245–251.
- Hibbert A, Hansen JE (1989). Lifetimes of some 3p44p levels in Ar II. *J Phys B At Mol Phys* 22: 347–351.
- Hibbert A, Hansen JE (1994). Transitions in Ar II. *J Phys B At Mol Phys* 27: 3325–3347.
- Irimia A, Fischer CF (2003). http://nlte.nist.gov/MCHF/Elements/Ar/Cl_18.20.abimchf-lin.dat.mp
- Karmakar S, Das MB (2007). Lifetime measurement of some excited states belonging to the 3p4nd (n=4–6) configuration of Ar II. *Pramana J Phys* 69: 477–480.
- Kramida A, Ralchenko Yu, Reader J, NIST ASD Team (2015). NIST Atomic Spectra Database (ver.5.3), [online]. Available: <http://physics.nist.gov/asd> [2017, September 22]. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.
- Lindgard A, Nielsen SE (1977). *At Data Nucl Data Tables* 19: 533.
- Lodders K (2008). *Ap J* 674: 607.
- Morton DC (1991). Atomic data for resonance absorption lines. i. wavelengths longward of the Lyman limit. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 77: 119–202.
- Verner DA, Verner EM, Ferland GJ (1996). Atomic data for permitted resonance lines of atoms and ions from H to Si, and S, Ar, Ca, and Fe. *At Data Nucl Data Tables* 64 : 1–180.
- Wiese WL (1988). The atomic transition probabilities of argon—A continuing challenge to plasma spectroscopy. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 40: 421–427.
- Zheng NW (1986). A new theoretical model for many-electron atom and ion systems I. *Chin Sci Bull* 31: 1238–1242.
- Zheng NW (1987). A new theoretical model for many-electron atom and ion systems II. *Chin Sci Bull* 32: 1263–1267.
- Zheng NW (1988). A new outline of atomic theory. *Jiang Su Education Press*, Nanjing, P.R. China.

- Zheng NW, Wang T, Yang R, Wu YG (2000a). Theoretical calculation of transition probability for N atom and ions. *J Chem Phys* 112: 7042–7056.
- Zheng NW, Wang T, Ma DX, Zhou T, Fan J (2004). Weakest bound electron potential model theory. *Int J Quant Chem* 98: 281–290.
- Zheng NW, Wang T (2002). Theoretical resonance transition probabilities and lifetimes for atomic hydrogen. *Chem Phys* 282: 31.
- Zheng NW, Sun YJ, Wang T, Ma DX, Zhang Y, Su W (2000b). Transition probability of lithium atom and lithiumlike ions with weakest bound electron wave functions and coupled equations. *Int J Quant Chem* 76: 51–61.
- Zheng NW, Wang T, Yang R (2000c). Transition probability of Cu I, Ag I, and Au I from weakest bound electron potential model theory. *J Chem Phys* 113: 6169–6173.