

Dört kez iyonlaşmış Lantanın (La V) Yarı Ömür Hesaplamaları

Betül Karacoban Usta*¹

*¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mühendislik Temel Bilimleri Bölümü,
SAKARYA, TÜRKİYE

(Alınış / Received: 22.08.2019, Kabul / Accepted: 03.08.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 17.08.2020)

Anahtar Kelimeler

Yarı ömürler,
Enerji seviyeleri,
Landé g-çarpanları,
Hartree-Fock metot

Öz: Cowan tarafından geliştirilen Relativistik Hartree-Fock (HFR) metodu kullanılarak, dört kez iyonlaşmış lantanın (La V, Z = 57) $5s^25p^5$, $5s^25p^44f$, $5s^25p^45d$, $5s^25p^46s$, $5s^25p^46p$, $5s^25p^47s$ ve $5s^25p^45g$ konfigürasyonlarının enerji seviyeleri ve yarı ömürleri elde edilmiştir. Aynı zamanda, bu seviyelerin Landé g -faktörleri de hesaplanmıştır. Bu hesaplamada, konfigürasyon etkileşimi ve relativistik etkileri dahil edilmiştir ve Hamiltonyenin hesaplanan özdeğerleri mevcut deneysel enerji seviyeleri kullanılarak en küçük kareler yöntemi ile gözlenen enerji seviyelerine uydurma yaparak iyileştirilmiştir. Enerji seviyeleri için elde ettiğimiz sonuçları literatürde daha önce bildirilmiş olan diğer çalışmalarla karşılaştırdık ve oldukça uyumlu olduğunu gördük. Elde edilen Landé g -çarpanları ve yarı ömür sonuçları bu çalışmada ilk kez sunulmuştur. Bu veriler astrofizik ve plazma fiziği için kullanışlıdır.

Lifetime Calculations in Quadruply Ionized Lanthanum (La V)

Keywords

Lifetimes,
Energy levels,
Landé g-factors,
Hartree-Fock method

Abstract: Using the relativistic Hartree-Fock (HFR) method developed by Cowan, the energy levels and lifetimes of $5s^25p^5$, $5s^25p^44f$, $5s^25p^45d$, $5s^25p^46s$, $5s^25p^46p$, $5s^25p^47s$, and $5s^25p^45g$ configurations of quadruply ionized lanthanum (La V, Z = 57) have been obtained. The Landé g -factors of these levels have been also calculated. In this calculation, configuration interaction and relativistic effects were included and the calculated eigenvalues of Hamilton were improved by fitting the energy levels observed by the least squares method using the available experimental energy levels. We compared our results for energy levels with previously reported the available other works in literature and found it to be quite compatible. These Landé g -factors and lifetime results are reported for the first time in this work. These data are useful for astrophysics and plasma physics.

*İlgili Yazar, email : bkaracoban@subu.edu.tr

1. Giriş

İyonlaşmış lantanitlerin spektrumuna, kuantum bilgisi, aydınlatma endüstrisi, lazer malzemeleri ve yıldız fiziği gibi çeşitli fizik alanlarında büyük ilgi duyulmaktadır [1]. Lantanitlerin ilk üyesi olan lantan atomu çeşitli teknolojik alanlarda önemli uygulamalara sahiptir. Karbon esaslı aydınlatmada, optik camların yapımında, pahalı kamera merceklerinde, çakmaktaşı ve pil elektrotlarının üretilmesinde, sinema endüstrisinde stüdyo aydınlatmalarında ve projeksiyonlarda kullanılır.

Dört kez iyonlaşmış lantan (La V, Z = 57), iyot (I) benzeri elektron dizilimine sahiptir ve bu nedenle de halojen benzeri bir enerji seviyesi yapısına sahip olması beklenir. La V'in taban hal konfigürasyonu $[Pd]5s^25p^5$ 'dir. La V ile ilgili şimdiye kadar yapılan çalışmalar çok azdır. Bu iyona ait ilk çalışma olarak, Epstein ve Reader'in çalışması sayılabilir [2]. Çalışmalarında La V'in taban hal terimini $5s^25p^5 \ ^2P_{3/2}$ belirlediler. $5s^25p^5$, $5s5p^6$, $5s^25p^45d$ ve $5s^25p^46s$ konfigürasyonlarının tüm seviyelerini sınıflandırdılar. Ayrıca 47 geçişin dalga boylarını sundular. Biémont ve çalışma arkadaşları $5s^25p^5 \ ^2P_{3/2} - \ ^2P_{1/2}$ yasak geçişinin (manyetik dipol ve elektrik kuadropol) geçiş olasılığını hesapladılar [3]. Murphy ve grubu çift lazer plazma tekniğini kullanarak 85-96 eV bölgesinde La V'in fotoabsorpsiyon spektrumlarını kaydettiler[4].

Bu çalışmada, La V'in $5s^25p^5$, $5s^25p^44f$, $5s^25p^45d$, $5s^25p^46s$, $5s^25p^46p$, $5s^25p^47s$ ve $5s^25p^45g$ seviyelerinin enerjileri, Landé g -çarpanları ve yarı ömürlerini sunduk. Hesaplamalar Cowan tarafından geliştirilen relativistik Hartree-Fock (HFR) [5] yöntemiyle yapıldı. Hesaplamalarda, La V'in [Pd] $5s^25p^5$, [Pd] $5s^25p^44f$, [Pd] $5s^25p^46p$, [Pd] $5s^25p^45d$, [Pd] $5s^25p^46s$, [Pd] $5s^25p^47s$ ve [Pd] $5s^25p^45g$ konfigürasyonları alındı. Bu konfigürasyon seti değerlik elektronları arasındaki karşılıklı etkileşmeye göre seçilmiştir. Karşılıklı etkileşme ve relativistik etkiler ağır elementlerin spektrumları üzerinde önemli rol oynarlar. Bu yüzden dört kez iyonlaşmış lantan için bu etkiler hesaba alınmıştır.

2. Materyal ve Metot

Cowan tarafından geliştirilen HFR yönteminde [6] Hamiltonyen atomik birimlerde

$$H = - \sum_i \nabla_i^2 - \sum_i \frac{2Z}{r_i} + \sum_{i>j} \frac{2}{r_{ij}} + \sum_i \zeta_i(r_i)(\mathbf{l}_i \cdot \mathbf{s}_i) \quad (1)$$

olarak alınır. Burada $r_i = |\mathbf{r}_i|$ çekirdekte 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 üzerindedir. ζ_i , yörünge- ve spin-açıl momentum işlemcilerinin skaler çarpımının bir orantı sayısıdır:

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

Radyal fonksiyonlar, F^k ve G^k Coulomb integrallerini ve ζ_{nl} spin-yörünge integrallerini hesaplamak için kullanılır. Hartree-Fock modeline göre radyal fonksiyonlar elde edildikten sonra, γJ etiketli bir seviyenin M alt seviyesinin $|\gamma JM\rangle$ dalga fonksiyonu,

$$|\gamma JM\rangle = \sum_{\alpha LS} |\alpha LSJM\rangle \langle \alpha LSJ | \gamma J \rangle \quad (3)$$

şeklinde ifade edilir.

Atom için determinant dalga fonksiyonları kullanılıyorsa, toplam bağlanma enerjisi

$$E = \sum_i \left(E_k^i + E_n^i + \sum_{j<i} E^{ij} \right) \quad (4)$$

şeklinde yazılır. Burada E_k^i kinetik enerji, E_n^i çekirdek-elektron Coulomb enerjisi ve E^{ij} i . ve j . elektronlar arasındaki Coulomb etkileşim enerjisidir.

HFR yönteminde relativistik katkılar olarak spin-yörünge etkileşmesi ile beraber kütle düzeltmesi ve Darwin düzeltmeleri alınmaktadır.

Bir atom seviyesinin Landé g -çarpanı, manyetik sayısı M olan alt seviyelerin enerji kayması ile ilgilidir:

$$\Delta E(\gamma JM) = \mu_B B g_{\gamma J} M \quad (5)$$

Burada μ_B Bohr manyetonu ve B manyetik alandır. Saf LS çiftlenimine göre αJ ile belirtilen bir seviyenin Landé g -çarpanı

$$g_{\alpha LSJ} = 1 + (g_s - 1) \frac{J(J+1) - L(L+1) + S(S+1)}{2J(J+1)} \quad (6)$$

formülü ile verilir. g_s kuantum elektrodinamik (QED) etkiler için düzeltilen elektron spininin g çarpanıdır [7]. Landé formülünde g_s için 2 değeri verilir. Enerji seviyeleri için Landé g -çarpanları, bir spektrum analizinde değerli bir yardımcıdır.

Çoğu deneyler ölçümlerin kolaylığından dolayı üst seviyenin yarı ömrünü verir. Bu durumda, tüm düşük seviyelere çok-kutuplu geçişler üzerinden toplam alınmalıdır. Böylece bir J seviyesinin yarı ömrü aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\tau_j = \frac{1}{\sum_i A_{ji}} \quad (6)$$

(6) formülünde, A geçiş olasılığı, $\gamma'J'M'$ uyarılmış halden γJ seviyesinin tüm M hallere olan geçiş olasılığıdır.

$$A = \frac{64\pi^4 e^2 a_0^2 \sigma^3}{3h(2J' + 1)} S \quad (7)$$

burada $\alpha = [(E_j - E_i)/hc]$ 'dir ve S elektrik dipol çizgi şiddetidir.

3. Bulgular

Bu çalışmamızda, La V'in $5s^25p^5$, $5s^25p^44f$, $5s^25p^45d$, $5s^25p^46s$, $5s^25p^46p$, $5s^25p^47s$ ve $5s^25p^45g$ konfigürasyonlarının enerji seviyelerini, Landé g-çarpanlarını ve seviye yarı ömürlerini sunduk. Hesaplamalarda HFR yöntemine göre Cowan tarafından geliştirilen program paketi [5] kullanıldı ve değerlik elektronları arasındaki karşılıklı etkileşme etkileri dikkate alındı. HFR yaklaşıklığı Schrödinger denkleminde dayalı olmasına rağmen spin-yörünge etkisi yanında kütle-hız düzeltmeleri ve Darwin katkıları gibi relativistik etkileri içerir. Bu hesaplamada, Hamiltonyenin hesaplanan özdeğerleri mevcut deneysel enerji seviyeleri kullanılarak en küçük kareler yöntemi ile gözlenen enerji seviyelerine uydurma yaparak iyileştirildi. En küçük kareler yönteminde tüm deneysel seviyeler NIST'ten [8] alındı. 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 değerleri 0,85 olarak seçildi. Ölçeklendirme faktörlerinin bu düşük değerleri ağır elementler için Cowan [5] tarafından öne sürülmüştür.

La V'in enerji seviyeleri, Landé g-çarpanları ve yarı ömür sonuçları Tablo 1 ve Tablo 2'de rapor edilmiştir. Tablolarda, elde edilen enerji sonuçları $5s^25p^5 \ ^2P_{3/2}$ taban durum seviyesine göre (cm^{-1}) biriminde ve yarı ömürlerde ns biriminde verilmiştir. Tablolarda sadece tek parite durumları "o" üst indisi ile belirtilmiştir. Diğer karşılaştırma değerleri için referanslar, Tablo 1'in altında yazılmıştır.

Tablo 1. La V'in düşük seviyelerinin E enerjileri (cm^{-1}), Landé g-çarpanları ve τ yarı ömürleri (ns)

Seviyeler		E (cm^{-1})		g-çarpanı	τ (ns)	
Konf.	Terim	J	HFR	Diğer çalış.	HFR	
$5s^25p^5$	2P_o	3/2	0,00	0,00	1,334	
		1/2	21634,10	21634,1 ^{a,b}	0,666	
$5s^25p^4(^3P)5d$	4D	5/2	166999,91	166600,9 ^{a,b}	1,335	26,76
		3/2	167550,82	167307,9 ^{a,b}	1,201	19,87
		7/2	168461,81	–	1,379	31,88
		1/2	169965,67	169748,5 ^{a,b?}	0,575	10,19
$5s^25p^4(^3P)5d$	4P	1/2	181767,54	183551,6 ^a	2,214	0,391
				183552 ^b		
		3/2	183163,74	182669,5 ^a	1,098	1,838
				182670 ^b		
		5/2	190208,95	189841,6 ^a	1,359	2,270
			189842 ^b			
$5s^25p^4(^3P)5d$	4F	9/2	175215,07	–	1,299	28,26
		5/2	186980,90	187535,3 ^a	1,053	1,043
				187535 ^b		

Tablo 1. (devamı)

Seviyeler		E (cm ⁻¹)		<i>g</i> -çarpanı	τ (ns)	
Konf.	Terim	J	HFR	Diğer çalış.	HFR	
		3/2	187887,17	188298,8 ^a 188299 ^b	0,758	0,882
5s ² 5p ⁴ (³ P)5d	² F	7/2	192418,49	–	1,216	0,273
		7/2	177606,11	–	1,130	0,273
		5/2	200868,51	200770,6 ^a 200771 ^b	0,972	1,561
5s ² 5p ⁴ (¹ D)5d	² P	1/2	184606,30	185114,9 ^a	0,488	32,53
		3/2	197000,44	196794,3 ^b	1,328	10,74
5s ² 5p ⁴ (¹ D)5d	² D	3/2	190294,20	190217,4 ^a	1,097	2,282
		5/2	198214,30	198577,0 ^b	1,242	1,437
		7/2	199715,57	–	0,975	27,46
5s ² 5p ⁴ (¹ D)5d	² G	9/2	201873,31	–	1,146	23,64
		5/2	208284,18	207398,3 ^a	0,979	1,453
5s ² 5p ⁴ (¹ D)5d	² F	7/2	212699,22	–	1,142	19,78
		1/2	210274,29	228915,8 ^{a?} 228916 ^{b?}	2,022	0,032
5s ² 5p ⁴ (¹ S)5d	² D	3/2	222799,09	222023,1 ^a 222023 ^b	0,948	0,056
		5/2	235543,21	236365,3 ^a 236365 ^b	1,189	0,347
		3/2	231006,30	231423,9 ^a	1,129	0,015
5s ² 5p ⁴ (³ P)5d	² P	1/2	236922,70	237221,8 ^b	0,868	0,020
		5/2	231878,81	229739,8 ^a 229740 ^b	1,189	0,011
5s ² 5p ⁴ (³ P)5d	² D	3/2	251660,89	250921,2 ^a 250921 ^b	0,859	0,012
		5/2	224823,38	225191,2 ^a 225191 ^{b?}	1,541	0,977
		1/2	239014,50	240308,0 ^a	2,131	0,067
5s ² 5p ⁴ (³ P ₁)6s _{1/2}	⁴ P	3/2	246718,42	246854,4 ^a 246854 ^b	1,632	0,199
5s ² 5p ⁴ (³ P ₂)6s _{1/2}	² P	3/2	228630,72	228545,3 ^a 228545 ^b	1,305	0,237
5s ² 5p ⁴ (³ P ₁)6s _{1/2}	² P	1/2	250025,69	250411,1 ^a 250411 ^b	1,092	0,059
5s ² 5p ⁴ (¹ D ₂)6s _{1/2}	² D	5/2	256829,92	255936,4 ^a 255936 ^b	1,260	0,181
5s ² 5p ⁴ (¹ D ₂)6s _{1/2}	² D	3/2	257721,58	257047,2 ^a 257047 ^b	0,913	0,134
5s ² 5p ⁴ (¹ S ₀)6s _{1/2}	² S	1/2	287254,80	–	1,953	0,139

^a Epstein ve Reader [2], ^b NIST [8]

Tablo 2. La V'in bazı uyarılmış seviyeleri için yeni E enerjileri (cm⁻¹), Landé g-çarpınları ve τ yarı ömürleri (ns)

Seviyeler		E (cm ⁻¹)		g-çarpımı	τ (ns)
Konf.	Terim	J	HFR	HFR	HFR
5s ² 5p ⁴ (³ P)4f	⁴ F ^o	7/2	135767,22	1,214	–
		5/2	135848,86	1,026	–
		9/2	137141,70	1,296	–
		3/2	138035,71	0,593	–
5s ² 5p ⁴ (³ P)4f	⁴ G ^o	11/2	143655,87	1,235	–
		5/2	155889,81	0,684	–
		7/2	156593,72	1,119	–
		9/2	159847,96	1,176	–
5s ² 5p ⁴ (³ P)4f	² G ^o	9/2	144597,01	1,077	–
		7/2	165907,75	1,070	–
5s ² 5p ⁴ (³ P)4f	⁴ D ^o	1/2	144624,08	0,190	–
		3/2	148201,83	1,145	–
		5/2	159988,08	1,136	–
		7/2	163895,86	1,178	–
5s ² 5p ⁴ (³ P)4f	² F ^o	5/2	148517,80	1,036	–
		7/2	150469,98	1,080	–
5s ² 5p ⁴ (³ P)4f	² D ^o	3/2	155585,33	0,729	–
		5/2	166277,71	1,180	–
5s ² 5p ⁴ (¹ D)4f	² P ^o	1/2	165591,98	0,474	–
		3/2	166527,53	1,234	–
5s ² 5p ⁴ (¹ D)4f	² H ^o	9/2	166019,20	0,973	–
		11/2	167059,89	1,129	–
5s ² 5p ⁴ (¹ D)4f	² F ^o	7/2	173310,64	1,138	–
		5/2	179575,13	0,885	–
5s ² 5p ⁴ (¹ D)4f	² D ^o	5/2	173498,57	1,116	–
		3/2	179773,40	0,832	–
5s ² 5p ⁴ (¹ D)4f	² G ^o	7/2	176274,13	0,920	–
		9/2	178481,69	1,116	–
5s ² 5p ⁴ (¹ S)4f	² F ^o	5/2	201662,30	0,880	–
		7/2	202180,07	1,141	–
5s ² 5p ⁴ (³ P)6p	⁴ P ^o	3/2	267708,44	1,585	0,296
		5/2	268662,09	1,412	0,288
		1/2	287032,61	2,156	0,290
5s ² 5p ⁴ (³ P)6p	² P ^o	1/2	272881,26	1,402	0,310
		3/2	290828,59	1,343	0,326
5s ² 5p ⁴ (³ P)6p	² D ^o	5/2	273149,30	1,284	0,310
		3/2	295489,31	1,291	0,300
5s ² 5p ⁴ (³ P)6p	⁴ S ^o	3/2	280974,30	1,349	0,318
5s ² 5p ⁴ (³ P)6p	⁴ D ^o	7/2	273691,71	1,384	0,258
		1/2	282742,70	0,499	0,302
		3/2	287030,19	1,300	0,268
		5/2	292830,39	1,381	0,263
5s ² 5p ⁴ (³ P)6p	² S ^o	1/2	295468,59	1,234	0,325

Tablo 2. (devamı)

Seviyeler			E (cm ⁻¹)	<i>g</i> -çarpımı	τ (ns)
Konf.	Terim	J	HFR	HFR	HFR
5s ² 5p ⁴ (¹ D)6p	² F ^o	5/2	298439,90	0,953	0,307
		7/2	302661,44	1,189	0,266
5s ² 5p ⁴ (¹ D)6p	² P ^o	3/2	301911,21	1,449	0,277
		1/2	310328,00	0,704	0,354
5s ² 5p ⁴ (¹ D)6p	² D ^o	3/2	305609,92	0,891	0,309
		5/2	306879,79	1,201	0,277
5s ² 5p ⁴ (¹ S)6p	² P ^o	1/2	330644,78	0,673	0,330
		3/2	333812,31	1,332	0,266
5s ² 5p ⁴ (³ P ₂)7s _{1/2}	⁴ P	5/2	346378,19	1,543	0,323
5s ² 5p ⁴ (³ P ₀)7s _{1/2}	⁴ P	1/2	359763,61	2,158	0,208
5s ² 5p ⁴ (³ P ₁)7s _{1/2}	⁴ P	3/2	366169,01	1,660	0,219
5s ² 5p ⁴ (³ P ₂)7s _{1/2}	² P	3/2	347742,39	1,315	0,111
5s ² 5p ⁴ (³ P ₁)7s _{1/2}	² P	1/2	367211,40	1,192	0,105
5s ² 5p ⁴ (¹ D ₂)7s _{1/2}	² D	5/2	376501,49	1,259	0,187
5s ² 5p ⁴ (¹ D ₂)7s _{1/2}	² D	3/2	376759,42	0,894	0,160
5s ² 5p ⁴ (¹ S ₀)7s _{1/2}	² S	1/2	405987,89	1,988	0,175
5s ² 5p ⁴ (³ P)5g	⁴ G	9/2	387430,64	1,140	0,584
		11/2	387454,15	1,202	0,593
		7/2	387493,25	0,987	0,587
		5/2	407091,00	0,726	0,572
5s ² 5p ⁴ (³ P)5g	⁴ F	5/2	387866,21	0,804	0,594
		3/2	388449,33	0,469	0,611
		7/2	407298,71	1,049	0,619
		9/2	408243,84	1,137	0,629
5s ² 5p ⁴ (³ P)5g	² G	9/2	387913,19	1,066	0,681
		7/2	388235,19	1,068	0,680
5s ² 5p ⁴ (³ P)5g	⁴ H	13/2	388133,20	1,206	0,621
		7/2	401005,72	0,883	0,611
		11/2	407281,28	1,178	0,591
		9/2	407469,18	1,013	0,615
5s ² 5p ⁴ (³ P)5g	² H	11/2	388189,21	1,073	0,632
		9/2	401044,64	1,111	0,630
5s ² 5p ⁴ (³ P)5g	² F	5/2	388644,53	0,975	0,656
		7/2	408383,67	0,924	0,636
5s ² 5p ⁴ (¹ D)5g	² D	3/2	416509,81	0,729	0,532
		5/2	416543,50	1,152	0,548
5s ² 5p ⁴ (¹ D)5g	² I	13/2	416940,22	1,103	0,581
		11/2	416946,20	0,953	0,572
5s ² 5p ⁴ (¹ D)5g	² F	7/2	417688,83	1,141	0,605
		5/2	417916,34	0,857	0,632
5s ² 5p ⁴ (¹ D)5g	² G	9/2	418582,56	1,117	0,625
		7/2	418751,68	0,901	0,638
5s ² 5p ⁴ (¹ D)5g	² H	11/2	418719,52	1,106	0,622
		9/2	418725,61	0,932	0,640

Tablo 2. (devamı)

Seviyeler			E (cm ⁻¹)	g-çarpımı	τ (ns)
Konf.	Terim	J	HFR	HFR	HFR
5s ² 5p ⁴ (¹ S)5g	² G	9/2	447378,61	1,111	0,593
		7/2	447501,66	0,889	0,594

4. Tartışma ve Sonuç

Tablo 1'de 5s²5p⁵, 5s²5p⁴5d ve 5s²5p⁴6s uyarılmış seviyelerinin enerji sonuçları diğer sonuçlarla karşılaştırılmıştır [2, 8]. Ayrıca, bu seviyelerin Landé *g*-çarpanlarını ve yarı ömrünü hesapladık. Literatürde sadece bu konfigürasyonlar için enerji verilerinin karşılaştırma verileri mevcuttur. Bu hesaplamamızdan elde edilen enerji sonuçların, NIST verileri [8] ve Epstein ve Reader'in tarafından yapılan çalışmayla [2] karşılaştırıldığında uyumlu olduğu görülmektedir. 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 [2, 8] çalışmasındaki sonuçlar arasındaki yüzde fark, 5s²5p⁴(¹D)5d ²S_{1/2} seviyesi dışında, %0,00-0,97 aralığındadır. Bu seviye için % fark, %8,14 olarak hesaplanmıştır. Bu seviye için karşılaştırma değerleri her iki kaynakta da belirsizdir. Bu nedenle, % fark fazla çıkmış olabilir.

La V için Tablo 1 ve Tablo 2'de 5s²5p⁴4f, 5s²5p⁴6p, 5s²5p⁴7s ve 5s²5p⁴5g uyarılmış seviyelerinin enerjileri ve 5s²5p⁵, 5s²5p⁴4f, 5s²5p⁴5d, 5s²5p⁴6s, 5s²5p⁴6p, 5s²5p⁴7s ve 5s²5p⁴5g seviyelerin yarı ömür ve Landé *g*-çarpımı sonuçları ilk kez bu çalışmada rapor edildi.

Bu çalışmanın ana amacı, La V spektrumunun bir tanımını elde etmek için HFR hesaplamalarını gerçekleştirmektir. Bu çalışmada sunulan enerji verileri ve Landé *g*-çarpanları, bazı ışınım özelliklerinin araştırılmasında kullanılabilir. Ayrıca ilk kez sunulan sonuçlarımızın, çeşitli araştırma alanları ve teknolojik uygulamalarda ve La V spektrumunun yorumlanmasında faydalı olacağını umuyoruz.

Teşekkür

Bu çalışmanın incelenmesinde değerli vakitlerini ayıran hakemlere çok teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] Biémont, E., Clar, M., Enzonga, S.Y., Fivet, V., Quinet, P., Träbert, E., Garnir, H.P. 2009. Atomic structure calculations and beam-foil observations of La IV. Canadian Journal of Physics 87, 1275–1282.
- [2] Epstein, G.L., Reader, J. 1976. Resonance lines and energy levels of Cs III, Ba IV, and La V. Journal of the Optical Society of America 66(6), 590–598.
- [3] Biémont, E., Hansen, J.E., Quinet, P., Zeippen, C.J. 1995. Forbidden transitions of astrophysical interest in the 5p^k (k = 1-5) configurations. Astronomy and Astrophysics Supplement Series 111, 333–346.
- [4] Murphy, N., Cummings, A., Sullivan, G.O., Dunne, P. 2006. 4d → 5p transitions in the EUV photoabsorption spectrum of La V, La VI and La VII. Journal of Physics B Atomic Molecular and Optical Physics 39, 3087–3095.
- [5] Cowan, R.D. 2007. Robert D. Cowan's Atomic Structure Code. <http://www.tcd.ie/Physics/People/Cormac.McGuinness/Cowan/>. (Erişim tarihi: 20.08.2019).
- [6] Cowan, R.D. 1981. The Theory of Atomic Structure Spectra. USA: University of California Press, 731s.
- [7] Jönsson, P., Gustafsson, 2002. S. A program for computing weak and intermediate field Zeeman splittings from MCHF wave functions. Computer Physics Communications 144 (2). 188–199.
- [8] Kramida, A., Ralchenko, Yu., Reader J.; NIST ASD Team. 2018. NIST atomic spectra database Vers. 5.6. <http://physics.nist.gov/asd>. (Erişim tarihi: 20.08.2019).