



Atf için / For Citation: N. Kayar, Z. N. Özer, "Helyum atomunun ikili uyarılma-iyonlaşma rezonans profillerinin 10°-80° açı aralığındaki değişimlerinin incelenmesi", *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 15(2), 295-306, 2020.

Helyum Atomunun İkili Uyarılma-İyonlaşma Rezonans Profillerinin 10°-80° Açı Aralığındaki Değişimlerinin İncelenmesi

Nurçin KAYAR¹, Zehra Nur ÖZER*²

¹*İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fizik Bölümü, 35430, Urla/İzmir, Türkiye*
²*Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fizik Bölümü, 03200, Afyonkarahisar, Türkiye*

*yazışılan yazar e-posta: zehraerengil@aku.edu.tr

(Alınış / Received: 04.11.2020, Kabul / Accepted: 12.11.2020, Yayımlanma / Published : 29.11.2020)

Özet: Bu çalışmada, elektron spektrometresi kullanılarak, Helyum (He) atomunun rezonans düzeylerinin açısal değişimleri incelenmiştir. 200 eV monoenerjik elektron demetinin yüksek vakum ortamında He atomları ile çarpıştırılması sonucunda açığa çıkan elektronlar dedekte edilmiştir. Elektron spektrometresi deney düzeneği; vakum sistemi, elektron tabancası, hedef gaz, saçılan ve koparılan elektronları dedekte etmekte kullanılan iki elektron enerji analizörü, iki elektron dedektörü, sinyal işleme üniteleri ve Faraday Elektron Toplayıcıdan oluşmaktadır. Bu çalışmada, He atomunun kendiliğinden iyonlaşma enerji seviyeleri 32,5-35 eV için 10°-80° açı aralığında incelenmiştir. Sonuç olarak, küçük açılarda rezonans profillerinin simetri durumlarının daha baskın olduğu ve açının artması ile simetrik ve asimetrik yapının bir arada belirgin hale geldiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Elektron spektrometresi, İkili uyarılma, Kendiliğinden iyonlaşma, Rezonans profilleri, Helyum atomu.

Investigation of Double Excitation- Ionization Resonance Profiles of Helium Atom at 10°-80° Angular Range

Abstract: In this work, the angular variation of the Helium (He) atom for the resonance levels was experimentally measured by electron spectrometer. 200 eV mono-energetic electron beam collided with He gas in high vacuum and occurred electrons after the collision were detected. The experimental setup in the electron collision laboratory consists of an electron gun, a target gas, two electron energy analyzers, two electron detectors, signal processing units and Faraday Electron Cup. Here, the auto ionization energy levels of the He atom for 32,5-35 eV and for 10°-80° angular range were examined. As a result, it has been observed that the symmetrical states of the resonance profiles are more dominant at small angles, and the symmetrical and asymmetrical structure becomes evident together at higher angles.

Key words: Electron spectrometer, Double excitation, Autoionization, Resonance profiles, Helium atom.

1. Giriş

Atomlar, iyonlar, moleküller ve yüzeylerle elektron çarpışmaları; laboratuvar plazmalarının, astrofiziksel süreçlerin, lazerlerin ve gezegenlere ait atmosferlerinin anlaşılması ve modellenmesi için büyük bir öneme sahiptir. Elektron-atom ve elektron-molekül çarpışmalarını kapsayan bu alan temel seviye doğa anlayışımıza muazzam katkılarda bulunmuştur [1]. Bu tür çalışmalar, özellikle elektronlarla atom/moleküllerin etkileşmesi sonucunda uyarılmaları ve iyonlaştırılması gibi temel düzeyde atomik yapıların açıklanması için yol göstermektedir.

Doğada en basit atomik sistem hidrojen atomudur. Atomların elektron etkisiyle iyonlaşma olaylarını incelemek için yapılan çalışmalarda bugüne kadar önemli bir ilerleme elde edildiği görülmüştür. Örneğin, hidrojen atomunun dış kompleks ölçekleme, yakınsak ölçekleme ve zamana bağlı pertürbatif yaklaşımlar ve saçılan elektron probleminden kaynaklanan veriler de bu yaklaşımlar sayesinde nümerik olarak çözülebilmektedir [2]. Hidrojen atomundan sonra He atomu, elektronlar arası etkileşmenin incelenmesinde ilgi çekmiş ve daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. He atomunun düşük enerjili elektron çarpışma bölgesinde $(2s^2)^1S$, $(2s2p)^3P$, $(2p^2)^1D$ ve $(2s2p)^1P$ uyarılmış dört rezonans profili bulunmuştur [3]. Atomik etkileşmelerde kendiliğinden iyonlaşma, önde gelen süreçlerden biridir. He'un kendiliğinden iyonlaşma olayı ilk kez Madden ve Codling tarafından gözlemlenmiştir [4].

Kendiliğinden iyonlaşma durumları, direkt iyonlaşma olayındaki sürekli durumlarla (iyon+kopan elektron) birlikte bulunmaktadır. Kendiliğinden iyonlaşma olayında atomun iki elektronun eş zamanlı olarak uyarılması söz konusudur. Bu olay, elektronlardan birinin iyonlaşması ile sonuçlanır ve rezonans durumlarından iyonlaşma ile direkt iyonlaşma arasında girişim meydana gelir.

Kendiliğinden iyonlaşma olayı, atomik çarpışmalarda gözlemlenen elektron-elektron korelasyonlarının incelendiği önemli olaylardan biridir. Fano vd. [5] ışık soğurma ve elektron enerji kaybı spektroskopisi için rezonans profilleri üzerine teorik çalışmalar yapmıştır. Kopma elektron spektroskopisi için rezonans seviyeleri ile ilişkili parametreler, Shore, Balashov ve Tweed tarafından türetilmiştir [6]. Bu olayda iyonlaşma seviyelerini anlamlandıran çözünürlüğe sahip ilk deneysel çalışmalar Rudd tarafından yapılmıştır [7].

Silverman ve Lassette, He atomunda saçılan elektronların enerji kayıp spektrumlarını incelemiştir [8]. Literatürde bu çalışmanın yanında, farklı enerji aralıklarında kendiliğinden iyonlaşma olasılık durumları ve ikili uyarma durumlarının hesaplamaları üzerine çalışmalar yapılmıştır [9-18]. Bunun yanında Silverman ve Lassette'nin çalıştığı kendiliğinden iyonlaşma durumundaki elektronlar arası geçişlerinin soğurma profillerinin formüle edilmesi Fano [19] tarafından gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalara ek olarak, Fano-q değişkenleri ile birlikte He atomunun rezonans enerji seviyeleri ve ikili uyarma rezonans profillerinin değişimlerini açıklamak için daha detaylı çalışmalar Domke vd. tarafından gerçekleştirilmiştir [20]. Bu çalışmada 70, 80, 100 ve 200 eV enerjilerinde ve koparılma açıları 40° - 130° arasındaki dört rezonans durumları Shore parametreleri ilişkilendirilerek sunulmuştur [21]. Bu çalışmanın sonuçları, küçük açılarda Zhang vd. çalışmaları ve Gelebart vd.'in çalışmaları ile uyumsuz sonuçlar vermiştir [6, 22]. Sise vd. tarafından $(2p^2)^1D$ ve $(2s2p)^1P$ durumlarının açılma bağımlılığı 250 eV elektron etki enerjisinde gösterilmiştir [23]. Bu çalışmadaki sonuçlar, McDonald ve Crowe [21] tarafından 200 eV'de elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak küçük ve büyük her iki koparılma açısında da enerji düzeyinde farklılıklar gözlenmiştir.

Farklı enerjilerde (65-1000 eV), Zhang vd. [6] tarafından 13°-142° açı aralığında yapılan çalışmada kendiliğinden iyonlaşma durumlarında spektruma göre dört tane ikili uyarma $(2s^2)^1S$, $(2s2p)^3P$, $(2p^2)^1D$ ve $(2s2p)^1P$ rezonans durumları elde edilmiştir.

Sonraki yıllarda ise Zhang vd. [6] tarafından 250, 1000 ve 2000 eV enerji değerlerinde ve koparıma açısı aralığı 26°-116° için deneysel olarak elde edilen $(2s^2)^1S$, $(2p^2)^1D$ ve $(2s2p)^1P$ rezonans profillerinin spektrumları incelenmiştir.

Mevcut çalışmalarda, özellikle kendiliğinden iyonlaşma olaylarında, çarpışma sonucunda açığa çıkan koparılan ve saçılan elektronlar arasındaki çarpışma tesirlerinin ne gibi sonuçlar verdiğini anlamak çok önemlidir [24]. Kendiliğinden iyonlaşma ve rezonans profillerinin; elektronlar arası korelasyonlarının, elektron bulutlarının biçimlerinin ve tesir kesitlerinin anlaşılmasında [25-31] yeri yadsınamaz. Bu nedenle kendiliğinden iyonlaşma olayının fizik alanındaki önemi günümüzde de yerini korumaktadır.

He atomunun belirli bir sistem içindeki kendiliğinden iyonlaşma bölgesinin belirlenmesi uygun elektron çarpışma enerjisine ve koparıma açısına bağlıdır. Ölçüm sonuçlarının doğru yorumlanması için farklı elektron enerji değerlerinde ve farklı koparıma açılarında ölçümler yaparak çok sayıda veri elde etmek gerekir. Bu çalışmada, 200 eV monoenerjik elektron demeti etkisi ile He atomunun kendiliğinden iyonlaşma enerji seviyeleri 10°-80° açı aralığında deneysel olarak incelenmiştir.

Bu çalışmalarda temel hedef; atomik ve moleküler çarpışmaların sonuçlarında neler olduğunu görmek, tüm iyonlaşma olaylarında elektron korelasyonlarının nasıl oluştuğunu anlamak, çok parçacık probleminin sonucuna yönelik deneysel veriler alarak ve teorik modellerin gerçekliğini test etmektir [32-36].

2. Materyal ve Metot

Atomik çarpışma deneyleri, belirli bir bölgeye odaklanmış elektron demetinin hedef atom olan bir gaz demeti ile etkileşmesi durumunda meydana gelen parçacıkların enerji ve açıya göre eş zamanlı bir şekilde dedekte edilmesi, bunun sonucunda alınan sinyallerin işlenerek bilgisayar ortamında aktarılması ile elde edilmektedir. Deney düzeneğindeki tüm kısımların vakum ortamında yer alması sayesinde dışardan izole, kontrollü deney ortamını sağlanmaktadır.

Elektron spektrometresi deney düzeneği; vakum sistemi, elektron tabancası, hedef gaz He, saçılan ve koparılan elektronları dedekte eden iki elektron enerji analizörü, elektron dedektörleri, sinyal işleme ünitesi ve Faraday Elektron Toplayıcıdan oluşmaktadır (Şekil 1).

Vakum sistemi içinde herhangi bir değişime maruz kalmayıp sabit bir açıya yerleştirilen elektron tabancasında toplamda yedi tane lens bulunmaktadır. Elektron tabancası ile elde edilen elektron demeti, etkileşim alanına doğru bu lensler sayesinde, elektrik alan oluşarak yönlendirilebilir. Elektron tabancasının çözünürlüğü yaklaşık olarak 0,6 eV'dir. Çarpışma olayı sonunda, elastik veya inelastik çarpışma durumlarından biri gerçekleşir ve çarpışma sonucunda saçılan veya koparılan elektronlar enerji analizörleriyle dedekte edilirler. Analizörlerin konumları, elektron demetinin geliş yönüne göre istenilen değere ayarlanabilir. Enerji analizörünün çıkışında, elektronların sayısını artırmak için elektron çoğaltıcı dedektörler kullanılır. Çoğaltılan bu elektronlar sonrasında sinyal işleme birimine ve bilgisayara aktarılır.



Şekil 1. Vakum sistemi içerisindeki elektron deney düzeneğinin görünümü.

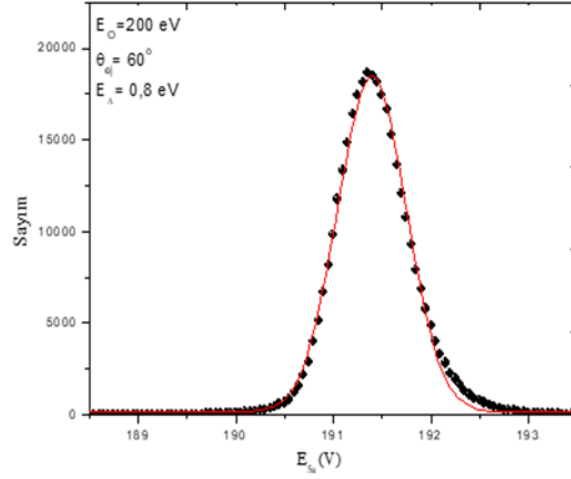
Deney sırasında vakum çemberi içindeki hava turbo moleküler pompa sayesinde tahliye edilir. Bu sırada ölçüm yapılacak hedef atom gaz sabit bir seviyede vakum çemberi içerisine iletilmekte ve basınç göstergesinde sabit bir basınç değeri okunmaktadır. Vakum çemberi içerisinde $\sim 10^{-8}$ mbar olan bu değer, hedef gazın sisteme verilmesi ile birlikte kararlı bir şekilde $\sim 6 \times 10^{-6}$ mbar değerinde kalmaktadır. Deney süresi boyunca demetin akımının ve çapının uzun süre (6-12 ay) boyunca sabit kalması istenmektedir [36]. Elektron tabancası kullanılarak 50 ile 350 eV enerji aralığında, $1 \mu\text{A}$ 'lık akımlı ve 1-2 mm çapında paralel (afokal) elektron demeti üretebilmektedir.

3. Bulgular

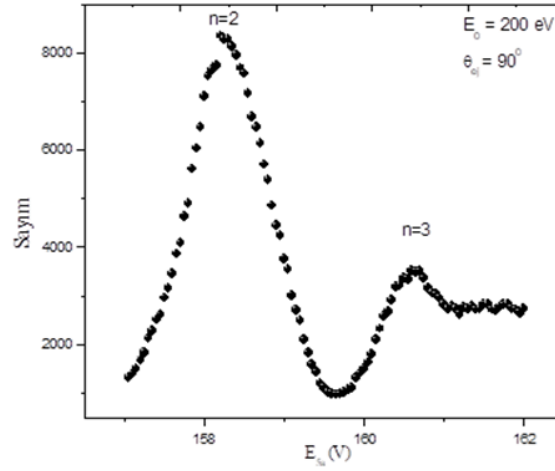
Bu çalışmada, iyonlaşma süreçlerinden biri olan kendiliğinden iyonlaşma olayı incelenmiştir. Bu amaçla, 200 eV elektron etkisi ile He atomunun rezonans profillerinin açısal değişimleri gözlenmiştir. He atomunun uyarılma süreçlerinin incelenmesi için enerji kayıp spektrumları alınmıştır. Çarpışma sonucunda açığa çıkan elektronların ayırt edilememesinden dolayı enerjisi yüksek olana saçılan, ikincisine ise koparılan elektron adı verilmektedir. Bu nedenle yalnızca bir analizörden alınan veriler değerlendirilmiştir. Koparılan elektron analizörünün açısal değişimine ait sonuçlar, He atomunun inelastik tesir kesitlerine bakılarak elde edilmiştir.

Elastik saçılma olayından yararlanılarak analizörün çözünürlüğü belirlenmiştir (Şekil 2). Alınan spektrumun yarı yükseklikteki maksimum genişliği yani çözünürlüğü, 0,8 V olarak ölçülmüştür.

Bu deneysel çalışma sırasında sisteme yerleştirilen bir ikincil küçük Faraday kabı ile enerji analizörünün minimum tarayabildiği açı 35° 'den 10° 'ye indirilebilmiştir. Bu sayede daha küçük açılarda ölçümler alınabilmektedir.



e-He çarpışmasında elastik saçılma.

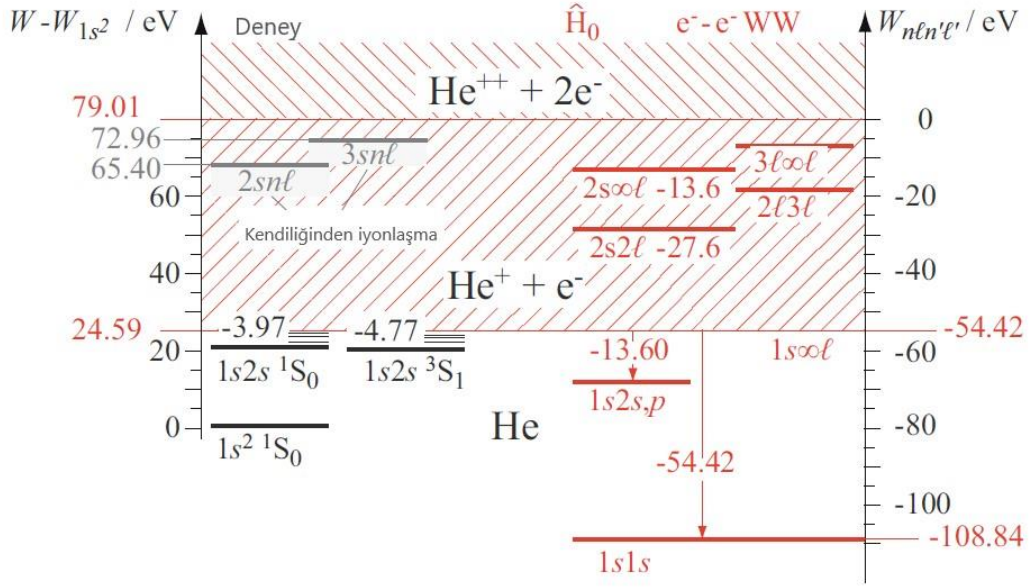


e-He çarpışmasında inelastik saçılma.

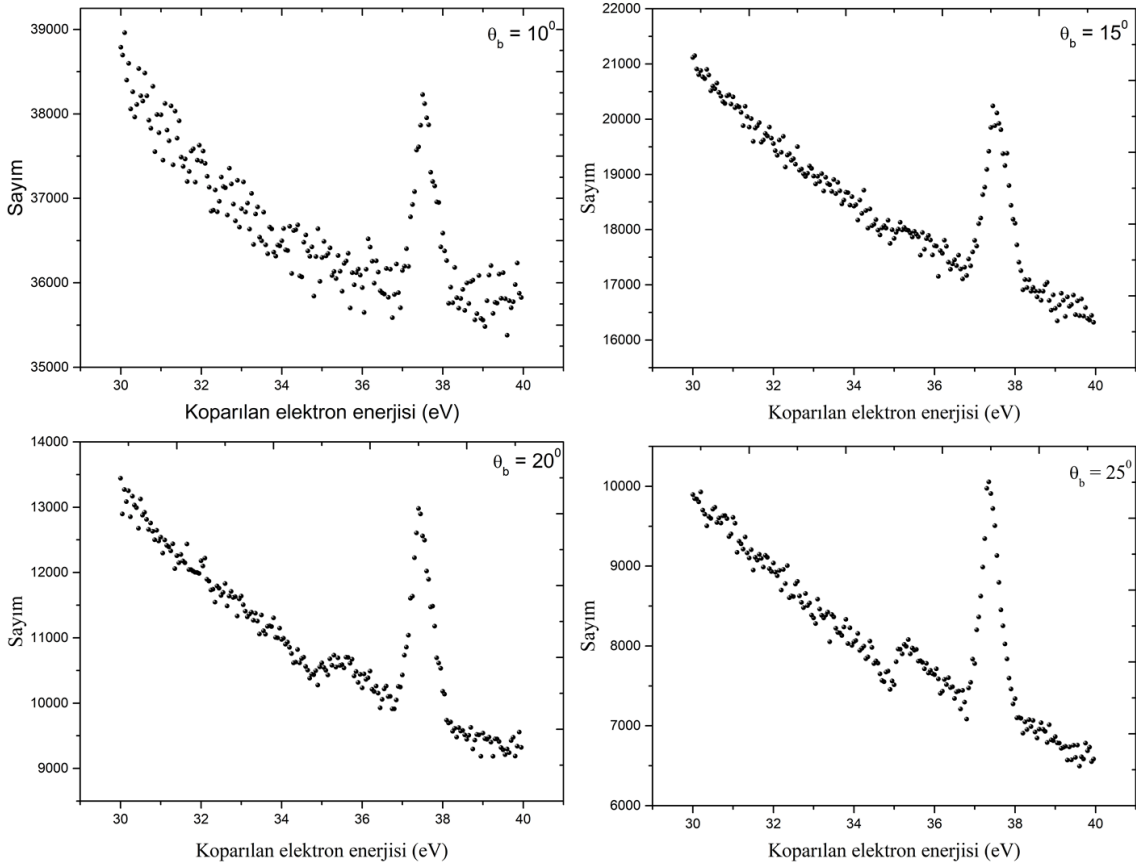
Şekil 2. He atomu için elastik ve inelastik saçılmada enerji kaybı spektrumu.

He atomunda kendiliğinden iyonlaşma enerji seviyeleri, birinci iyonlaşma eşığının üstünde yer almaktadır (Şekil 3). Her iki elektronun da taban enerji seviyesinden bu enerji seviyelerine uyarılması ile elektronlardan birisi ışmasız geçiş yaparak taban duruma döner. Diğer elektron ise bu enerjiyi alarak atomdan ayrılmaktadır. He atomunda $(2s^2)^1S$, $(2p^2)^1D$ ve $(2s2p)^1P$ kendiliğinden iyonlaşma (rezonans) enerji seviyeleri için enerji kaybı spektrumları alınmıştır. Enerji analizörleri ile koparılan elektronların 32–35 eV arasındaki enerji düzeylerine bakılmış ve ölçüm sonuçları, analizörün 10° 'den 80° açı değerine kadar taranması ile elde edilmiştir. Bu şekilde, tek bir analizörde alınan veriler direkt iyonlaşmanın katkısı ile beraber gözlenmiştir [43].

Rezonans profillerinin iyonlaşma potansiyelinin üzerinde olması sebebi ile bir girişim etkisi gözlenmektedir. Spektrumlar, koparılan analizör enerjisi 10 V kadar taranarak alınmıştır. Bu esnada gelen elektron demetinin enerjisi 200 eV değerinde sabit bir şekilde tutulmuştur.



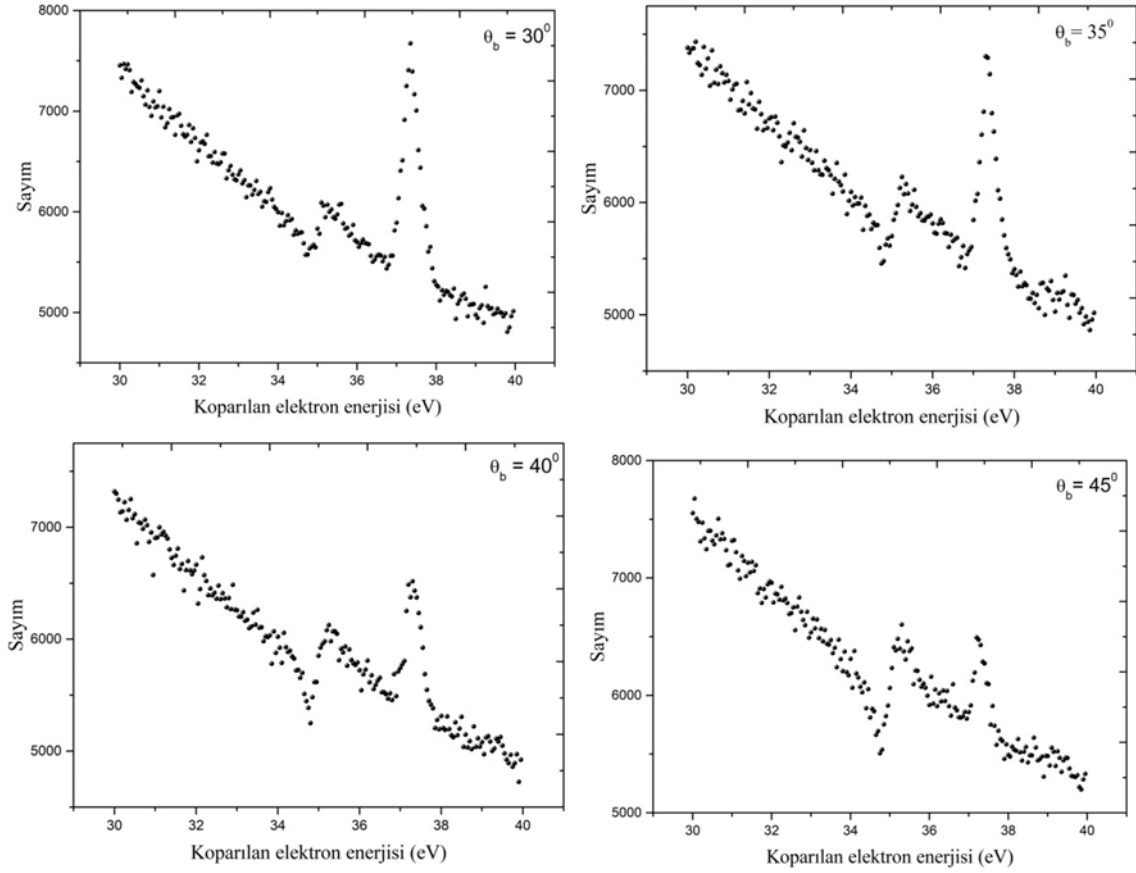
Şekil 3. Helyum atomuna ait enerji düzeyleri (uyarma, tekli iyonlaşma, ikili uyarılma-kendiliğinden iyonlaşma ve ikili iyonlaşma), [35].



Şekil 4. Gelen elektronun enerjisi $E_0 = 200$ eV için 10° , 15° , 20° ve 25° açısında koparılan elektron spektrumu.

Şekil 4’de dört açı için koparılan elektronların uyarılma spektrumları incelenmiştir. 10° ve 15° ’deki açılarda kendiliğinden iyonlaşma ve direkt iyonlaşmanın oluşturduğu bir

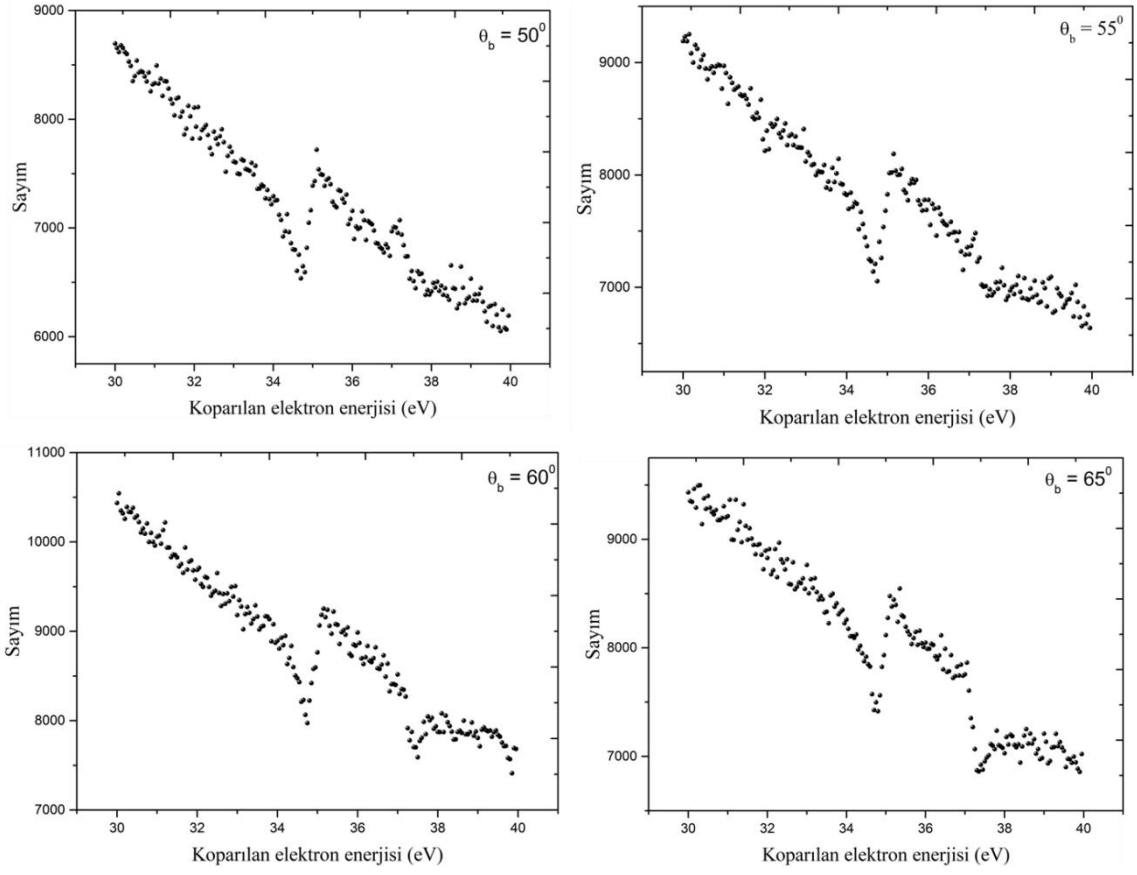
pik gözlenmiştir. 20° ve 25° 'deki açılarda ise iki olayda gözlenmiştir. Simetrik ve asimetrik yapı gözlenirken, simetrik yapının daha baskın olduğu görülmektedir.



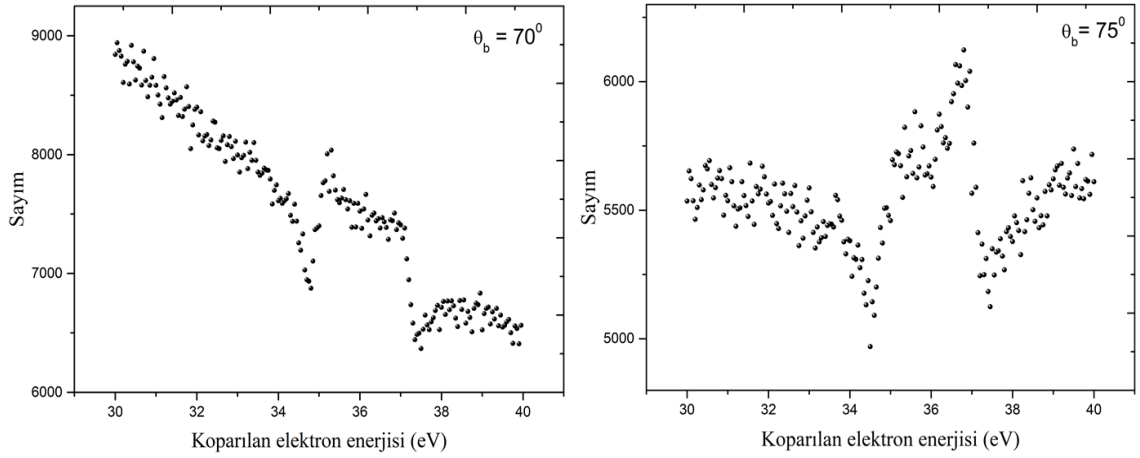
Şekil 5. Gelen elektronun enerjisi $E_0 = 200$ eV için 30° , 35° , 40° ve 45° açısında koparılan elektron spektrumu

Şekil 5'deki ölçümlerde dört açının da aynı şekilde pikler verdiği tespit edilmiştir. 30° , 35° , 40° ve 45° açılarda iki yapı da gözlenmektedir. Şekil 4'te elde edilen simetrik pikin şiddeti azalmıştır.

50° ve 55° 'de koparılan elektronların uyarılma spektrumları gözlenmiştir. Bu kısımda asimetrik yapı daha fazla görülmektedir. 60° ve 65° 'deki açılarda da benzer şekilde asimetrik bir yapı göstermektedir (Şekil 6).

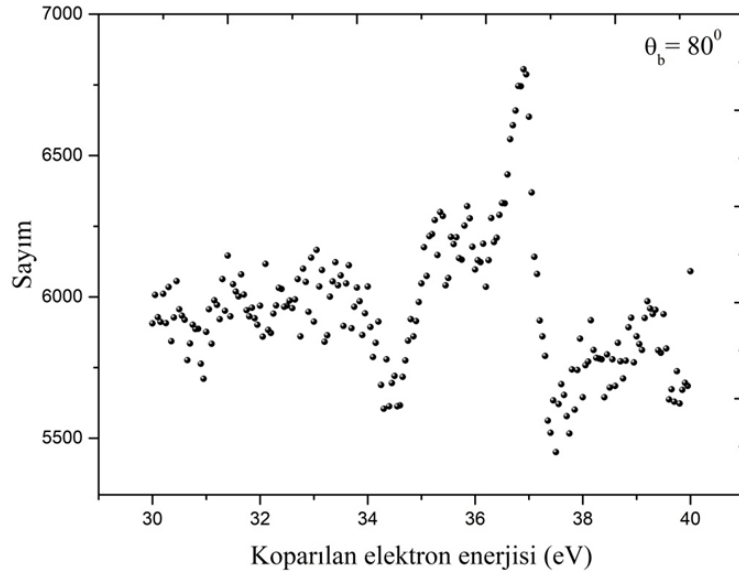


Şekil 6. Gelen elektronun enerjisi $E_0 = 200$ eV için 50° , 55° , 60° ve 65° açısında koparılan elektron spektrumu.



Şekil 7. Gelen elektronun enerjisi $E_0 = 200$ eV için 70° ve 75° açısında koparılan elektron spektrumu.

70° ve 75° 'deki açılarda benzer şekilde hem kendiliğinden iyonlaşma hem de direkt iyonlaşmanın katkısı vardır. Buna bağlı olarak 70° 'de asimetrik yapı hakimken 75° ve 80° 'de iki yapıda gözlenmiştir (Şekil 7 ve Şekil 8).



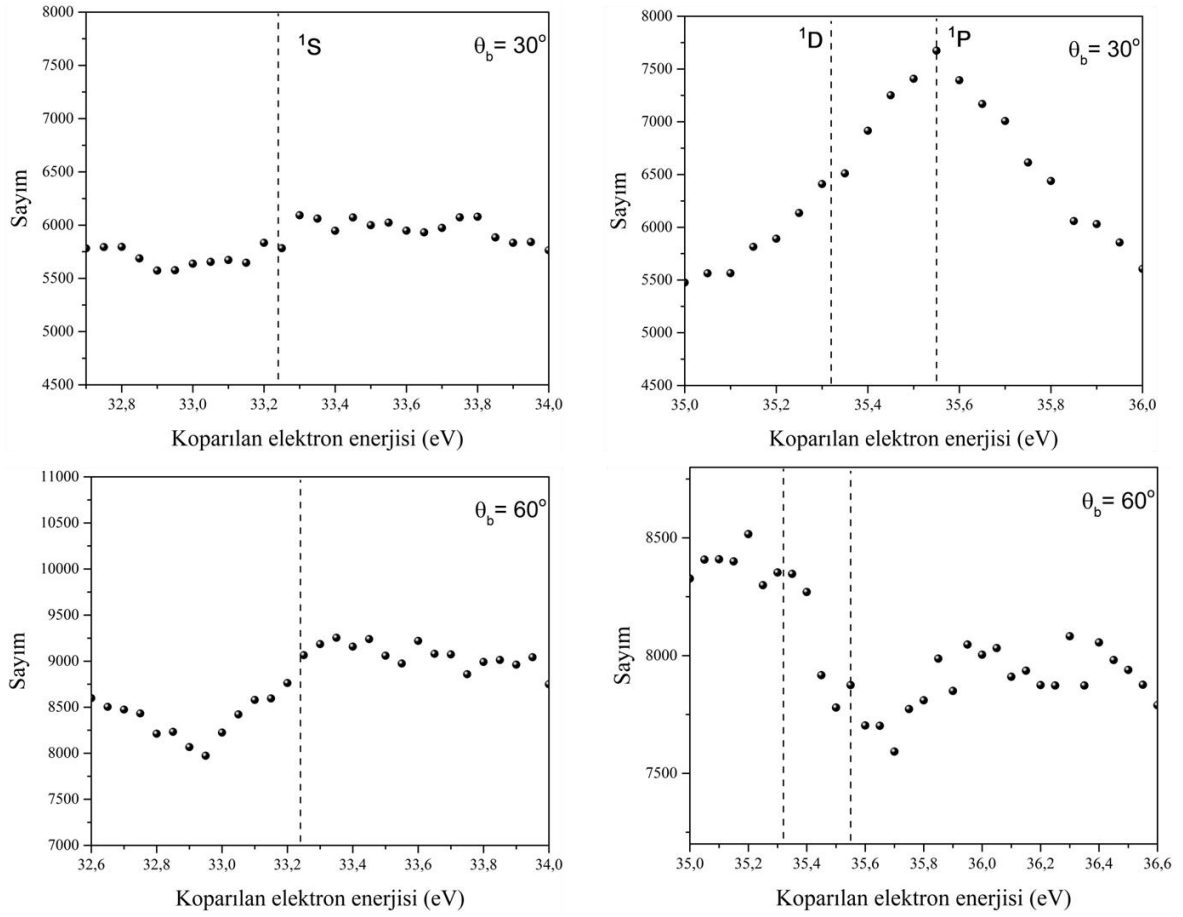
Şekil 8. Gelen elektronun enerjisi $E_0 = 200$ eV için 80° 'de koparılan elektron spektrumu.

4. Sonuç ve Yorum

Bu çalışmada, He atomuna ait ikili uyarılma-iyonlaşma enerji seviyelerinin açığa göre değişimlerini yorumlamak için diferansiyel tesir kesiti ölçümleri alınmış ve rezonans seviyelerinin 10° - 80° aralığındaki açısal spektrumu deneysel olarak gözlenmiştir. Direkt iyonlaşma olayından gelen gürültü (background) ile birlikte rezonans profillerinin, tesir kesiti ölçümlerinde karmaşık bir simetrik ve asimetric yapıya neden olduğu görülmüştür.

200 eV enerjiye sahip elektron demetinin enerjisinin farklı açılardaki spektrumlarına bakılmıştır. Analizörlerin çözünürlüğüne tabi olması ile $n=2$ durumu için birbirine yakın olan 1D ve 1P seviyeleri ayırt edilememiştir. Spektrumlarda, rezonans seviyeleri yakınlarında direkt iyonlaşma tesir kesitlerinin üstünde simetrik ve asimetric yapıda rezonans profilleri oluşmaktadır. Rezonans enerji profillerinden iyonlaşma ile direkt iyonlaşma, spektrumlarda üst üste binmesi nedeni ile ayrı ayrı gözlenememiştir.

$(2s^2)^1S$, Şekil 9'da $(2p^2)^1D$ ve $(2s2p)^1P$ piklerini daha net görebilmek adına bu rezonans seviyeleri için 30° , 60° 'de ölçümler alınmıştır. Buna göre küçük açı civarında enerji spektrumları simetrik bir yapıdayken, 60° gibi daha yüksek açılara doğru gidildikçe asimetric bir yapıya hakim olduğu görülmüştür. Sonraki çalışmalarda daha büyük açılarda benzer ölçümlerin alınması ve profillerin bu ölçümlerle karşılaştırılarak pik yapıları hakkında daha detaylı bilgi edinilmesi hedeflenmektedir.



Şekil 9. 30° ve 60° koparılan elektrona ait enerji spektrumları ve rezonans profillerinin değişimleri.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Yazar 1 Nurçin Kayar: Araştırma, Orijinal Taslak Yazımı, İnceleme ve Düzenleme.

Yazar 2 Zehra Nur Özer: Araştırma, Kaynak/Materyal/Malzeme Temini, Orijinal Taslak Yazımı, Proje Yönetimi, Veri İyileştirme, Biçimsel Analiz, Doğrulama, İnceleme ve Düzenleme.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Bu çalışma 15.FenBil.14, 15.Hız.Des.132, 18.KARİYER.178 numaralı AKÜ-Bilimsel Araştırma Projeleri ile desteklenmiştir.

Çatışma Beyanı

Bu çalışmanın yazarları olarak herhangi bir çatışma beyanımız bulunmadığını bildiririz.

Etik Kurul Onayı ve/veya Aydınlatılmış Onam Bilgileri

Bu çalışmanın yazarları olarak herhangi bir etik kurul onayı ve/veya aydınlatılmış onam bilgileri beyanımız bulunmadığını bildiririz.

Kaynakça

- [1] K. Bartschat and M. J. Kushner, "Electron collisions with atoms, ions, molecules, and surfaces: Fundamental science empowering advances in technology," *Proc. of the Nat. Ac. of Sciences*, 113 (26), 7026-7034, 2016.

- [2] X. Ren, T. Pflüger, J. Ullrich, O. Zatsarinny, K. Bartschat, D. H. Madison, and A. Dorn, "Low-energy electron-impact ionization of argon: Three-dimensional cross section," *Phys. Rev. A*, 85, 032702, 2012.
- [3] N. Oda, F. Nishimura, and S. Tahira, "Energy spectra of electrons from autoionization states in helium by electron impact," *Pyhs. Rev. Letts.*, 24, 42-45, 1970.
- [4] R. P. Madden and K. Codling, "Two-electron excitation states in helium," *Astrophys. Jour.*, 141, 364-375, 1965.
- [5] J. W. Cooper, U. Fano, and F. Prats, "Classification of two-electron excitation levels of helium," *Phys. Rev. Letts.*, 10, 518-521, 1963.
- [6] Z. Zhang, X. Shan, E. Wang, and X. Chen, "Ejected - electron spectroscopy of autoionizing resonances of helium excited by fast-electron impact," *Phys. Rev.A*, 85, 062702, 2012.
- [7] M. E. Rudd, "Observation of autoionization levels in He by positive ion bombardment," *Phys. Rev. Letts.*, 13, 503-505, 1964.
- [8] S. M. Silverman and E.N. Lassetre, "Additional collision cross sections for Helium especially in the ionized continuum," *The J. of Chem.Phys.*, 40, 1265, 1964.
- [9] F. G. Fender and J. P. Vinti, "Doubly-excited states in Helium," *Pyhs. Rev. Letts.*, 46(1), 77-78, 1934.
- [10] T. Y. Wu, "Energy states of doubly excited Helium," *Phys. Rev. Letts.*, 46, 239-239, 1934.
- [11] T. Y. Wu, "Auto-ionization in doubly excited Helium and the $\lambda 320,4$ and $\lambda 357,7$ lines," *American Phys.Soc. Jour. Archi.* 66, 291-294, 1944.
- [12] Wm.S. Wilson, "Atomic energy states for excited Helium," *Phys.Rev. Letts.*, 48, 536-537, 1935.
- [13] A.T. Kiang, S.T. Ma, and T.Y. Wu, , "Attempt to observe the spectrum of doubly excited Helium," *Pys. Rev. Letts.*, 50, 673-673, 1936.
- [14] B. H. Bransden, and A. Dalgarno, "The calculation of auto-ionization probabilities-I: Perturbation methods with application to auto-ionization in Helium," *Pro.of the Phys. Soc., Sec. A*, 66, 904, 1953.
- [15] R. K. Propin, "Calculation of the probability of autoionization in Helium and Lithium atoms," *Opt. and Spec.*, 8, 158-162, 1960.
- [16] J. W. Cooper, U. Fano, and F. Prats, "Classification of two-electron excitation levels of helium," *Phys. Rev. Letts.*, 10, 518-521, 1963.
- [17] P. G. Burke, D. D. McVicar, and K. Smith, "Calculation of autoionization levels in He," *Phys. Rev. Letts.*, 11, 559-561, 1963.
- [18] T.F. O'Malley and S. Geltman, "Compound-atom states for two-electron systems," *Phys. Rev. Letts*, 137, 1344-1352, 1965.
- [19] U. Fano, "Effects of configuration interaction on intensities and phase shifts," *Phys. Rev.*, 124, 1866-1878, 1961.
- [20] M. Domke, C. Xue, A. Puschnann, T. Mandel, E. Hudson, D. A. Shirley, G. Kaindl, C. H. Greene, H. R. Sadeghpour, and H. Petersen, "Extensive double-excitation states in atomic helium," *Phys.Rev. Letts.*, 66, 1306-1309, 1991.
- [21] D. G. McDonald, and A. Crowe, "Electron impact excitation-autoionization of the $(2s^2)^1S$ and $(2s2p)^3P$ states of Helium," *J. of Phys. B: At., Mol. and Opt. Phys.*, 25, 4313-4324, 1992.
- [22] F. Gelebart, R.J. Tweed, and J. Peresse, "Measurements of the absolute differential cross section for autoionization from the levels $(2s2p)^3P$ and $(2s^2)^1S$ of Helium," *J. of Phys. B: At. and Mol. Phys.*, 7, 174-178, 1974.
- [23] Ö. Şişe, D.J. Manura, and M. Doğan, "Exploring focal and aberration properties of electrostatic lenses through computer simulation," *Eur. J. of Phys.*, 29, 1165-1176, 2008.
- [24] J. Jureta, A.R. Milosavljevic, and B.P. Marinkovic, "High-energy electron impact study on autoionizing region in helium by detection of ejected electrons," *Int. Jour. of Mass Spec.*, 365, 114-120, 2014.
- [25] A. Pochat, R. J. Tweed, M. Doritch, and J. Peresse, "Double and triple differential cross sections for autoionisation of helium by electron impact," *J. of Phy. B: At. and Mol. Phys.*, 15, 2269-2283, 1982.
- [26] J. Lower, and E. Weigold, "Correlations in the autoionising region of He measured by the (e,2e) technique," *J. of Phys. B: At., Mol. and Opt. Phys.*, 23, 2819-2845, 1990.
- [27] A. Crowe, D.G. Mcdonald, S.E. Martin, and V.V. Balashov, "Studies of autoionization with (e,2e) spectroscopy," *Can. Jour. Phys.*, 74, 736-742, 1996.
- [28] M. J. Brunger, O. Samardzic, A. S. Kheifets, and E. Weigold, "A study of autoionization phenomena in helium using (e, 2e) spectroscopy," *J. of Phys. B: At., Mol. and Opt. Phys.*, 30, 3267-3285, 1997.
- [29] O. Samardzic, L. Campbell, M. J. Brunger, A. S. Kheifets, and E. Weigold, "Autoionization in electron-helium collisions: an (e,2e) investigation," *J. of Phys. B: At., Mol. and Opt. Phys.*, 30, 4383-4394, 1997.

- [30] M. Doğan, B. Lohmann, D. Cvejanovic, and A. Crowe, "A complete experimental study of electron impact ionization, abstracts of contributed papers," XXII ICPEAC (Int. Conf. on Ph., Elect. and At. Col.), Santa Fe, 18-24 Temmuz, 181-187, 2001.
- [31] M. Doğan, and A. Crowe, "Coincidence studies of the influence of resonances on simultaneous ionization-excitation of helium by electron impact," *J. of Phys. B: At., Mol. and Opt. Phys.*, 35, 2773-2781, 2002.
- [32] M. Doğan, "Correlation studies of simultaneous excitation-ionization in helium," Doktora Tezi, Univ. of Newcastle upon Tyne, Newcastle, 1999.
- [33] M. Ulu, "Elektron-Elektron Çakışma DeneY Düzeneğinin Durulması ve Düzeneğın Simülasyonu," Doktora Tezi, Selçuk Üniv., Fen Bil. Enst., Konya, 2007.
- [34] M. Ulu, Ö. Şiše, and M. Doğan, "Optimizing the performance of an electron gun design followed by lenses and apertures," *Rad. Phys. and Chem.*, 76, 636-641, 2007.
- [35] Ö. Şiše, "Helyum Atomunun Kendiliğinden İyonlaşma Tesir Kesitlerinin (e,2e) Çakışma Tekniğı ile Ölçülmesi," Doktora Tezi, Sakarya Üniv., Fen Bil. Enst., Sakarya, 2011.
- [36] Z. N. Özer, "Elektron-Elektron Çakışma Tekniğı (e,2e) ile H₂ Molekülünde Young Tipi Girişim Etkilerinin İncelenmesi," Doktora Tezi, Gebze Yüksek Tek. Enst., Gebze, 2013.
- [37] I. Bray and D. Fursa, "Electrons and photons colliding with atoms: development and application of the convergent close-coupling method," *J. of Phys. B: At., Mol. and Opt. Phys.*, 35, 117-146, 2002.
- [38] J. Frank and G. Hertz, "Über zusammenstösse zwischen electronen und den molekülen des quecksilberdampfes und die ionisierungsspannung desselben," *Ver. der Deutsc. Physikalisch. Ges.*, 16, 457-467, 1914.
- [39] N. Kayar, "Helyum atomunun ikili uyarılma-iyonlaşma rezonans profillerinin açısıl değışimlerinin incelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniv., Fen Bil. Enst., Afyonkarahisar, 2017.
- [40] A. Lahmam-Bennani, "Thirty years of experimental electron-electron (e,2e) coincidence studies: achievements and perspectives," *J. of Elec. Spec. and Rel. Phen.*, 23 (2-3), 365-376, 2002.
- [41] P. Lenard, "Über die absorption von kathodenstrahlen verschiedener geschwindigkeit," *Ann. der Phys.*, 317, 714-744, 1903.
- [42] M. Yavuz, "Elektron etkisi ile metan molekülünün ikili diferansiyel tesir kesitlerinin ölçülmesi," Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniv., Fen Bil.Enst., Afyonkarahisar, Türkiye, 2013.
- [43] Z. N. Ozer, N. Kayar, and H. A. Yalım, "Experimental study of double excitation-ionization resonance profiles of helium by electrons," in 4th Int. Conf. on Theo. and Exp. Studies in Nuc. App. and Tech., 2018, Antalya, p.95.