

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

**ASAL GAZLARIN İKİ RENK PROBLEMİNDE FAZA
BAĞLILIK VE ATTOSANIYE ATMALAR**

Dilan ALP

DOKTORA TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

**DİYARBAKIR
EKİM- 2010**

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

**ASAL GAZLARIN İKİ RENK PROBLEMİNDE FAZA
BAĞLILIK VE ATTOSANİYE ATMALAR**

Dilan ALP

DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN: Doç. Dr. Emine MEŞE

FİZİK ANABİLİM DALI






**DİYARBAKIR
EKİM-2010**

T.C
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DİYARBAKIR

Dilan ALP tarafından yapılan “Asal Gazların İki Renk Probleminde Faza Bağlılık ve Attosaniye Atmalar” konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Fizik Anabilim Dalında DOKTORA tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesinin

Ünvanı Adı Soyadı

Başkan	:Doç. Dr. Emine MEŞE	
Üye	:Prof. Dr. İrfan AÇIKGÖZ	
Üye	:Prof. Dr. Sezai OĞRAŞ	
Üye	:Yrd. Doç. Dr. Ömer ÇELİK	
Üye	:Yrd. Doç. Dr. Nurettin PİRİNÇÇİOĞLU	

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 18/10/2010

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

...../...../2010

Prof. Dr. Hamdi TEMEL

ENSTİTÜ MÜDÜRÜ

ÖZ

Bu çalışmada, 800 nm, 1200 nm ve 1300 nm dalgaboylarında fundamental alan ve fundamental alanın üçüncü harmoniğinden oluşan iki lazer alanına birlikte maruz kalan Argonun Floquet quasienerji spektrumunun iki alan arasındaki faz farkına bağlı olarak değişimi incelendi. Buna ek olarak sonuçları genelleştirmek amacı ile problem 390 nm ve 800 nm dalgaboylu fundamental alan ve 3. harmoniğini kullanarak Helyum atomu için incelendi.

Bu problem, quasienerji spektrumun ve dolayısıyla iyonlaşma oranının iki renk arasındaki faz farkına bağlı değişimlerinin, attosaniye atmalarının üretimine yararlı bilgi olması nedeniyle çalışıldı.

Anahtar Kelimeler: Floquet Quasienerji Spektrumu, Multifoton Prosesleri, Argon, Helyum, İki renk, Faz Farkı, Attosaniye atmaları.

ABSTRACT

In this study, the variation of quasienergy spectrum of Argon which exposed to 800 nm, 1200 nm and 1300 nm fundamental field and its third harmonic, with respect to the phase between two fields is investigated. To generalise the results the problem is extent to Helium atom in 390 nm and 800 nm fundamental fields together their third harmonics.

The main reason to study this problem is the expected variation of quasienergy spectrum and therefore the ionisation rate with respect to phase difference between two fields, which has implication on the production of Attosecond pulses.

Key words: Floquet Quasienergy Spectrum, Multiphoton Processes, Argon, Helium, Two colour, Phase Difference, Attosecond Pulses.

TEŞEKKÜR

Bilgi ve deneyimleriyle doktora çalışmamın her aşamasında her türlü destek, olanaklarını esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Emine MEŞE'ye, yüksek öğrenimim sırasında manevi destekleriyle bana güç veren Fizik Bölümü değerli Öğretim Üyelerine sonsuz teşekkürler. Düşünce ve manevi destekleriyle Fizik, Biyoloji, Kimya ve Matematik bölümündeki yüksek öğrenimlerini devam ettiren bütün arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunuyorum.

Eğitim için hiçbir özveriden kaçınmayan ve sevgi dolu varlıklarıyla hep yanımda olan sevgili Anne ve Babama, manevi destekleriyle umut ağacım olan kardeşlerime teşekkür ederim.

Bu çalışma COST P14 çerçevesinde TÜBİTAK/TBAG 107T308 nolu proje tarafından öğrenci bursu ile desteklenmiştir.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo-4.1: Argon Atomunun Klapisch potansiyel sabitleri

Tablo-4.2: Rezonans seviyeleri için belirlenen α_0 değerleri

Tablo-4.3: Çift parite durumunda 800 nm de $\omega = 0.0569542 a.u$ için kullanılan değerler

Tablo-4.4: $I_H=13.216$ a.u değeri ve 0 faz değeri için yakınsaklık testi.

Tablo-4.5: Tek parite durumunda 800 nm' de $\omega = 0.0569542 a.u$ için kullanılan değerler

Tablo-4.6: 390 nm Helyum atomunun quasienerji spektrumu için kullanılan değerler

Tablo-4.7: 800 nm Helyum atomunun quasienerji spektrumu için kullanılan değerler.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil-2.1: Argon atomunun quasienerji spektrumunun reel kısmının grafiği. Sol taraftaki grafik tek parite, sağ taraftaki grafik çift parite kullanılarak çizilmiştir.

Şekil-2.2: 390 nm' de Helyumun çift pariteli $m=0$ durumları için quasienerji spektrumu. (a), (b), (c), (d) ve (e) ile gösterilen durumlar giydirilmiş taban durumlarıdır ve sayılar metinde anlatılan durumları göstermektedir. Kesikli çizgiler ise en düşük dört KH durumudur.

Şekil-2.3: 800 nm dalga boyu için He spektrumu. (a), (b), (c) ile gösterilen durumlar giydirilmiş taban durumlarıdır. Kesikli çizgiler ise en düşük dört KH durumudur. Ek olarak yeşil noktalar aynı alanda hidrojen spektrumunu göstermektedir

Şekil-2.4: Fundamental alan 772 nm frekanslı, $1 \times 10^{13} W/cm^2$ şiddetinde, \circ sadece fundamental alanın varlığında bir-renk sonuçlarını, \diamond faz değeri 0 iken ve harmonik alan $1 \times 10^9 W/cm^2$, ∇ faz değeri 180° iken ve harmonik alan $1 \times 10^9 W/cm^2$, \triangle faz değeri 0 iken ve harmonik alan $1 \times 10^{11} W/cm^2$, \square faz değeri 180° iken ve harmonik alan $1 \times 10^{11} W/cm^2$ değerleri kullanılarak çizilmiştir.

Şekil-2.5: Bir ve iki lazer alanı kullanılarak çizilmiş He atomunun Harmonik spektrumu.

Şekil-2.6: Hidrojen atomunun 13. harmoniği kullanılarak bağıl faza bağlı iki renk fotoelektron spektrumundaki iki pik incelenmiştir. (Ti: safir laser $\omega_L = 1.55 eV$) Noktalı-kesikli çizgi eşik üzeri iyonlaşma spektrumunu, Uzun-kesikli çizgi 0 faz değerini, Kesikli çizgi 180° faz değerini, Sürekli çizgi ise 90° faz değerini göstermektedir

Şekil-2.7: He atomunun harmonik spektrumu. Siyah çizgi 800 nm de fundamental alanın $I_1 = 10^{15} W/cm^2$, kırmızı ve mavi çizgiler 394 nm de sırasıyla $I_2 = 10^{14} W/cm^2$ ve $I_2 = 10^{15} W/cm^2$ kullanılarak elde edilmiştir.

Şekil-2.8: Argon atomu harmonik Spektrum. (a) bir renk ve 20-fs lazer pulsu, (b) iki renk lazer kullanılarak oluşturulmuştur.

Şekil-4.1: 800 nm Argon atomu için $I_H=11.83$ a.u değeri ve çift parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.2: 800 nm Argon atomu için $I_H=12.43$ a.u değeri ve çift parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.3: 800 nm Argon atomu için $I_H=12.8$ a.u değeri ve çift parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.4: 800 nm Argon atomu için $I_H=13.216$ a.u değeri ve çift parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin reel kısmının

değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.5: 800 nm Argon atomu için $I_H=15.3$ a.u değeri ve çift parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.6: 800 nm'de Argon Atomu için fundamental lazer ile $1 \times 10^{12} W/cm^2$ alan şiddetine sahip 3. harmoniğin etkisi altında çift parite durumların $0^\circ - 30^\circ - 90^\circ - 120^\circ - 180^\circ$ farklı faz değerleri için quasienerji spektrumun reel kısmının fundamental alan genliği α_0 ' a bağlı olarak değişimi.

Şekil-4.7: Tek renk problemi kapsamında 800 nm ve çift parite durumu için çizilmiş grafik.

Şekil-4.8: 800 nm Argon atomu için $I_H=11.83$ a.u değeri ve çift parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.9: 800 nm Argon atomu için $I_H=12.43$ a.u değeri ve çift parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının

değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.10: 800 nm Argon atomu için $I_H=12.8$ a.u değeri ve çift parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.11: 800 nm Argon atomu için $I_H=13.216$ a.u değeri ve çift parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.12: 800 nm Argon atomu için $I_H=15.3$ a.u değeri ve çift parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.13: 800 nm Argon atomu için $I_H=11.83$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.14: 800 nm Argon atomu için $I_H=12.43$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.15: 800 nm Argon atomu için $I_H=12.7$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.16: 800 nm Argon atomu için $I_H=12.8$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.17: 800 nm Argon atomu için $I_H=13.216$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde,

enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.18: 800 nm Argon atomu için $I_H=14.50$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.19: 800 nm Argon atomu için $I_H=15.3$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.20: 800 nm Argon atomu için $I_H=11.83$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.21: 800 nm Argon atomu için $I_H=12.43$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın

şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.22: 800 nm Argon atomu için $I_H=12.7$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.23: 800 nm Argon atomu için $I_H=12.8$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.24: 800 nm Argon atomu için $I_H=13.216$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.25: 800 nm Argon atomu için $I_H=14.5$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde,

enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.26: 800 nm Argon atomu için $I_H=15.5$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.27: 800 nm ve fundamental alan ile $1 \times 10^{12} W/cm^2$ alan şiddetine sahip 3.harmoniğin etkisi altında Argonun tek parite durumlarının $0^\circ - 30^\circ - 90^\circ - 120^\circ - 180^\circ$ farklı faz değerleri için quasienerji spektrumun reel kısmının fundamental alan şiddeti α_0 a.u.'a bağlı olarak değişimi.

Şekil-4.28: İki rek problemi kapsamında 0° faz durumu için Argonun quasienerji spektrumu

Şekil-4.29: 800 nm de Argon atomu için tek renkli lazer kullanılarak çizilen quasienerji spektrumu.

Şekil-4.30: 5. Harmonik ve 800 nm de Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ kullanılarak, farklı faz değerlerinde Quasienerji spektrumun enerji değerinin reel kısmının bütün α_0 (a.u) değerlerine karşı grafiği

Şekil-4.31: 7. Harmonik ve 800 nm de Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ kullanılarak, farklı faz değerlerinde quasienerji spektrumunun enerji değerinin reel kısmının α_0 (a.u) değerlerine karşı grafiği

Şekil-4.32: 800 nm de Argon Atomu 0° faz durumu için quasienerji spektrumundan belli bir kesit. Siyah nokta ile belirlenen enerji seviyeleri 5. harmonik kullanılarak çizilmiştir. Kırmızı nokta ile belirlenen enerji seviyeleri 7. harmonik kullanılarak çizilmiştir.

Şekil-4.33: 800 nm ve 3. Harmonik durumu için Argon atomunun taban enerji seviyesi

Şekil-4.34: $\alpha_0=12.8$ a.u, 800 nm ve 3. Harmonik durumunda Argon atomunun taban enerji ve uyarılmış enerji seviyeleri için quasienerjinin sanal kısımlarının faza bağlı değişimi incelenmiştir.

Şekil-4.35: $I_H=13.216$ a.u değerinde 800 nm ve 3. Harmonik durumunda Argon atomunun taban enerji ve uyarılmış enerji seviyeleri için quasienerjinin sanal kısımlarının faza bağlı değişimi incelenmiştir.

Şekil-4.36: 3. Harmonik durumunda, iyonlaşma oranının faza bağlı grafiği α_0 ' ın (c)12.8, (b)13.216, (a)15.3 a.u değerleri için incelenmiştir.

Şekil-4.37: Argon atomunun iyonlaşma oranının $(-2(\text{Im}(\text{QE})))$ quasienerji seviyelerinin reel kısmına karşı değişimi. Siyah renk 0° faz, yeşil renk 90° faz, kırmızı renk 180° faz değerini gösterir.

Şekil-4.38: 1200 nm de Argon atomu $I_H= 33.2$ a.u, $\sigma=-0.038$ ve tek parite durumunda quasienerji seviyelerinin reel kısmının faza bağlı grafiği. (a) $I_L=10^{10}$ (b) $I_L=10^{11}$ (c) $I_L=10^{12}$

Şekil-4.39: 1200 nm de Argon atomu $I_H= 33.2$ a.u, $\sigma= -0.038$ ve çift parite durumunda quasienerji seviyelerinin reel kısmının faza bağlı grafiği. (a) $I_L=10^{10}$, (b) $I_L=10^{11}$, (c) $I_L=10^{12}$

Şekil-4.40: 1200 nm dalgaboyunda ve fundamental alan ile $1 \times 10^{12} W/cm^2$ alan şiddetine sahip 3. Harmoniğin etkisi altında Argon atomunun tek parite durumlarının quasienerji spektrumun reel kısmının fundamental alan şiddetinin, α_0 (a.u)' a bağlı olarak değişimi. Siyah noktalar 0° faz değeri, kırmızı 180° faz değeri için çizilmiştir.

Şekil-4.41: 1300 nm de Argon atomu $I_H= 33.2$ a.u, $\sigma= -0.038$ ve tek parite durumunda quasienerji seviyelerinin reel kısmının faza bağlı grafiği. (a) $I_L=10^{10}$ (b) $I_L=10^{11}$ (c) $I_L=10^{12}$

Şekil-4.42: 1300 nm de Argon atomu $I_H= 33.2$ a.u, $\sigma= -0.028$ ve tek parite durumunda quasienerji seviyelerinin reel kısmının faza bağlı grafiği. (a) $I_L=10^{10}$ (b) $I_L=10^{11}$ (c) $I_L=10^{12}$

Şekil-4.43: 1300 nm de Argon atomu $I_H= 33.2$ a.u, $\sigma= -0.038$ ve çift parite durumunda quasienerji seviyelerinin reel kısmının faza bağlı grafiği. (a) $I_L=10^{10}$ (b) $I_L=10^{11}$ (c) $I_L=10^{11}$

Şekil-4.44: 1300 nm de Argon atomu $I_H= 33.2$ a.u, $\sigma= -0.028$ ve çift parite durumunda quasienerji seviyelerinin reel kısmının faza bağlı grafiği. (a) $I_L=10^{10}$ (b) $I_L=10^{11}$ (c) $I_L=10^{11}$

Şekil-4.45: 1300 nm de Argon atomu $I_H= 33.2$ a.u, $\sigma= -0.020$ ve çift parite durumunda quasienerji seviyelerinin reel kısmının faza bağlı grafiği. (a) $I_L=10^{10}$ (b) $I_L=10^{11}$ (c) $I_L=10^{12}$

Şekil-4.46: 1300 nm dalgaboyunda ve fundamental alan ile $1 \times 10^{12} \text{ W/cm}^2$ alan şiddetine sahip 3. Harmoniğin etkisi altında Argon atomunun tek parite durumlarının quasienerji spektrumunun reel kısmının fundamental alan şiddetinin, α_0 (a.u)' a bağlı olarak değişimi. Siyah noktalar 0° faz değeri, kırmızı noktolar 180° faz değeri için çizilmiştir.

Şekil-4.47: 390 nm dalgaboyunda ve fundamental alan ile $1 \times 10^{12} \text{ W/cm}^2$ alan şiddetine sahip 3. Harmoniğin etkisi altında Helyum atomunun $m=0$ çift parite durumlarının quasienerji spektrumunun reel kısmının fundamental alan şiddetinin, α_0 (a.u)' a bağlı olarak değişimi. (a) 0° faz değeri (b) 180° faz değeri için çizilmiştir.

Şekil-4.48: 390 nm dalgaboyunda ve fundamental alan ile $1 \times 10^{12} \text{ W/cm}^2$ alan şiddetine sahip 3. harmoniğin etkisi altında Helyum atomunun $m=1$ tek parite durumlarının quasienerji spektrumunun reel kısmının fundamental alan şiddetinin, α_0 (a.u)' a bağlı olarak değişimi. (a) 0° faz değeri (b) 180° faz değeri için çizilmiştir.

Şekil-4.49: 800 nm dalgaboyunda ve fundamental alan ile $1 \times 10^{12} \text{ W/cm}^2$ alan şiddetine sahip 3. Harmoniğin etkisi altında Helyum atomunun $m=0$ çift parite durumlarının quasienerji Spektrumunun reel kısmının fundamental alan yoğunluğunun, α_0 (a.u)' a bağlı olarak değişimi. (a) 0° faz değeri (b) 180° faz değeri için çizilmiştir.

Şekil-4.50: 800 nm dalgaboyunda ve fundamental alan ile $1 \times 10^{12} \text{ W/cm}^2$ alan şiddetine sahip 3. Harmoniğin etkisi altında Helyum atomunun $m=1$ tek parite durumlarının quasienerji spektrumunun reel kısmının fundamental alan şiddetinin, α_0 (a.u)' a bağlı olarak değişimi. (a) 0° faz değeri (b) 180° faz değeri için çizilmiştir.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
KAYNAKLAR.....	4
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	8
KAYNAKLAR.....	19
3. MATERYAL VE METOT.....	23
3.1. Bir Renk Floquet Metodu.....	23
3.2. İki Renk Floquet Metodu.....	24
3.3. Quasienerji Hesaplanmasında Teknik Ayrıntılar.....	30
3.4. Kullanılan Model Potansiyel.....	30
KAYNAKLAR.....	31

4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	33
4.1. İki Renk Problemi.....	33
4.1.1. Güçlü Lazer Alanına Maruz Kalan Argon Atomunun Floquet Yöntemiyle Elde Edilen Quasienerji Seviyeleinin Faz Farkına Bağlılıklarının İncelenmesi.....	34
4.1.2. Güçlü Lazer Alanına Maruz Kalan Helyum Atomunun Floquet Yöntemiyle Elde Edilen Quasienerji Seviyeleinin Faz Farkına Bağlılıklarının İncelenmesi.....	89
KAYNAKLAR.....	95
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	96
ÖZGEÇMİŞ	

1. GİRİŞ:

Lazer atmasına maruz kalan bir atomun dinamikleri giydirilmiş durumlardan ve multifoton rezonanslarında bu giydirilmiş durumlar arasındaki geçişlerden anlaşılabilir^{1,2,3,4,5}. Seçim kuralları izin verdiği zaman, iki giydirilmiş durum aynı ya da bir biri ile $\hbar\omega$ 'nın tam sayı katları kadar farklı quasienerjilere sahip oldukları alan yoğunlukları ve frekanslarda multifoton rezonansları oluşur⁶. Bu rezonanslar Freeman rezonansları olarak adlandırılır. Genellikle yüksek alan şiddetlerinde oluşan büyük Stark kaymalı bağlı durumlar nedeniyle güçlü lazer atmalarında oluşur⁷. Bu rezonanslar, yeterince uzun süreli atmalar için eşik üzeri iyonlaşma (ATI) spektrumunun yüksek enerji plato kısmına da katkıda bulunmaktadır^{8,9,10,11,12,13,14}. Lazer alanında atomların quasienerji spektrumu yirmi yıldan daha uzun süredir çalışılmasına rağmen bu çalışmaların çoğu Hidrojen atomu ve uv ya da xuv dalga boyları düşünülerek yapılmıştır^{19,20,21,22,23,24,26}. Sadece son zamanlarda 800 nm'de Argon kullanılarak kompleks bir atomun quasienerji haritası çıkarıldı^{14,15}.

Bir renkli lazer alanı kullanılarak harmonik üretiminde tedirginmesiz Floquet^{14,15,16,25,27} ve zamana bağlı Schrödinger denkleminin sayısal integrasyonu gibi birçok metot kullanılarak quasienerji spektrum elde edilmiştir^{17,18}. Teorik olarak yapılan bu çalışmalarda güçlü lazer alanı ile etkileşen atomun davranışları araştırılmıştır. Ayrıca multifoton süreçlerini içerisinde farklı frekanslı iki lazer alanı kullanılarak, deneysel³¹ ve teorik^{32,33} olarak yapılan çalışmalar da büyük ilgi görmektedir. Bu anlamda iki renk kullanılarak yapılan birçok çalışmada örneğin, eşik üzeri iyonlaşma (ATI) sürecinde faza

bağlılık araştırılmış^{33,34} ve bu anlamda iyonlaşma süreçlerine ve yüksek harmonik üretimine etkileri incelenmiştir.

Harmonik üretimin tedirginme olmamış oranları ve multifoton iyonlaşma oranları bir elektronlu atom için Sturman-Floquet formalizmi kullanılarak elde edilmiştir. Bu yöntem, multifoton süreçlerinin yarı-klasik yaklaşımlarından bir tanesidir. Bu teknikte kullanılan dalga fonksiyonları, dipol yaklaşıklığı kullanılarak yazılmıştır. Atomun güçlü alanda uyarılma ve iyonlaşma dinamiği zamana bağlı özdeğer problemi olarak tanımlanır. Frekansları tam sayı oranlı iki renkli alan kullanılarak iyonlaşma için Sturman-Floquet formalizmi kullanılarak hesaplamaya literatürde rastlanmaktadır. Bunların bir kaç referanslarda verilmektedir^{26,27,28,29,30}. Ancak bu hesaplamaların tümü Hidrojen atomu için yapılmıştır. Floquet metodu kullanılarak Hidrojen atomunun taban enerji seviyesinin rezonans ve rezonans olmayan iyonlaşma oranları, 1064 nm ($\omega_L = 0.0428 a.u.$) dalgaboylu tedirginme davranış gösterebilen zayıf şiddetteki lazer alanı ile ve tedirginmesiz davranış gösteren ikinci bir lazer alanı kullanılarak incelenen çalışmalardan bir tanesidir.³⁰

Asal gazlar için Sturman-Floquet formalizmi ile frekansları tamsayı oranlı iki renkli alanlar ile sonuç üretimi ve analizi, özellikle ana frekanslı bir alanın kendi 3. harmoniği ile birlikte yapılmış multifoton süreçlerinin analizi bilginiz dahilinde yapılmadı. Biz bu bağlamda asal gazlar özelde Argon ve Helyum için quasienerji spektrumunun iki lazer arasındaki faza bağlılığın Attosaniye atımların üretiminde önemli rol alması nedeniyle bu çalışmada bu konuyu araştırmayı hedefledik.

Attosaniye atımları ve atım trenleri bize daha önce olmadığı kadar ışık-madde etkileşmesi hakkında ayrıntılı bilgi vermektedir. Attosaniye bilimi büyük bir iddia ile ilerleme aşamasındadır. Attosaniye atımlarının kuvvetli lazer fiziği alanının “en sıcak” konusu olması şüphesiz sürpriz değildir. Hem deneysel hem de teorik olarak yapılan çalışmalarda iki renk lazer kullanılarak Attosaniye atımları ve yüksek mertebeden harmonikler üretilmiştir.^{35,36} Bu atımlar şimdi çok hızlı elektronik süreçlerde benzersiz bir zaman ölçeği çözünürlüğü sağlayan prob olarak kullanılabilir. Yakın zamanda Attosaniye atım treni kullanarak geçici olarak sınırlanmış elektron dalga paketi elde edilmiş ve kuvvetli lazer alanıyla etkileşimi incelenmiştir. Tezin de amacı olan iki renk lazer kullanımı ile quasienerji spektrumun ve dolayısıyla iyonlaşma oranının faz farkına bağlı değişimlerinin, Attosaniye atımlarının üretiminde yararlı bilgi sunması nedeniyle çalışıldı.

İzleyen ikinci bölümde konu kapsamında kaynak araştırması, üçüncü bölümde iyi bilinen Floquet metodu bir renk ve iki renk durumları için verilmiştir. Dördüncü bölümde bulgularımız ve tartışma verilerek, sonuç bölümünde sonuçlandırılmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Shirley JH, "Solution of Schrödinger equation with a Hamiltonian periodic in time", *Phys. Rev.*, 138, B979-&, (1995).
2. Potvliege R. M. and Shakeshaft R., "Multiphoton processes in atomic hydrogen", *Electronic and atomic Collisions.*, 497-506, (1992).
3. Joachain C. J., Kylstra N. J. and Dörr M., "High-intensity laser-atom physics", *Adv. At. Mol. Opt. Phys.*, 42, 225-286 (2000).
4. Day H. C., Piraux B., and Potvliege R. M., "Multistate non-Hermitian Floquet dynamics in short laser pulses", *Phys. Rev. A*, 61, 031402-1-4 (R), (2000).
5. Chu S. I. and Telnov D. A., "Beyond the Floquet theorem: generalized Floquet formalisms and quasienerji methods for atomic and molecular multiphoton processes in intense laser fields", *Phys. Rep.*, 390, 1-131, (2004).
6. Gontier Y. and Trahin M., "Higher-order effects in resoannt multiphoton processes", *Phys. Rev. A*, 7, 1899-1911, (1973).
7. Freeman R. R., Bucksbaum P. H., Milchberg H., Darack S. Schumacher D. and Geusic M. E., Above-threshold ionisation with subpicosecond laser-pulses", *Phys. Rev. Lett.*, 59, 1092-1095, (1987).
8. Muller H. G. and Kooiman F. C., Bunching and focusing of tunneling wave packets in enhancement of high-order above-threshold ionisation", *Phys. Rev. Lett.*, 81, 1207 1210, (1998).
9. Muller H. G., "Numerical simulation of high-order above-threshold-ionisation enhancement in argon", *Phys. Rev. A*, 60, 1341-1350, (1999).

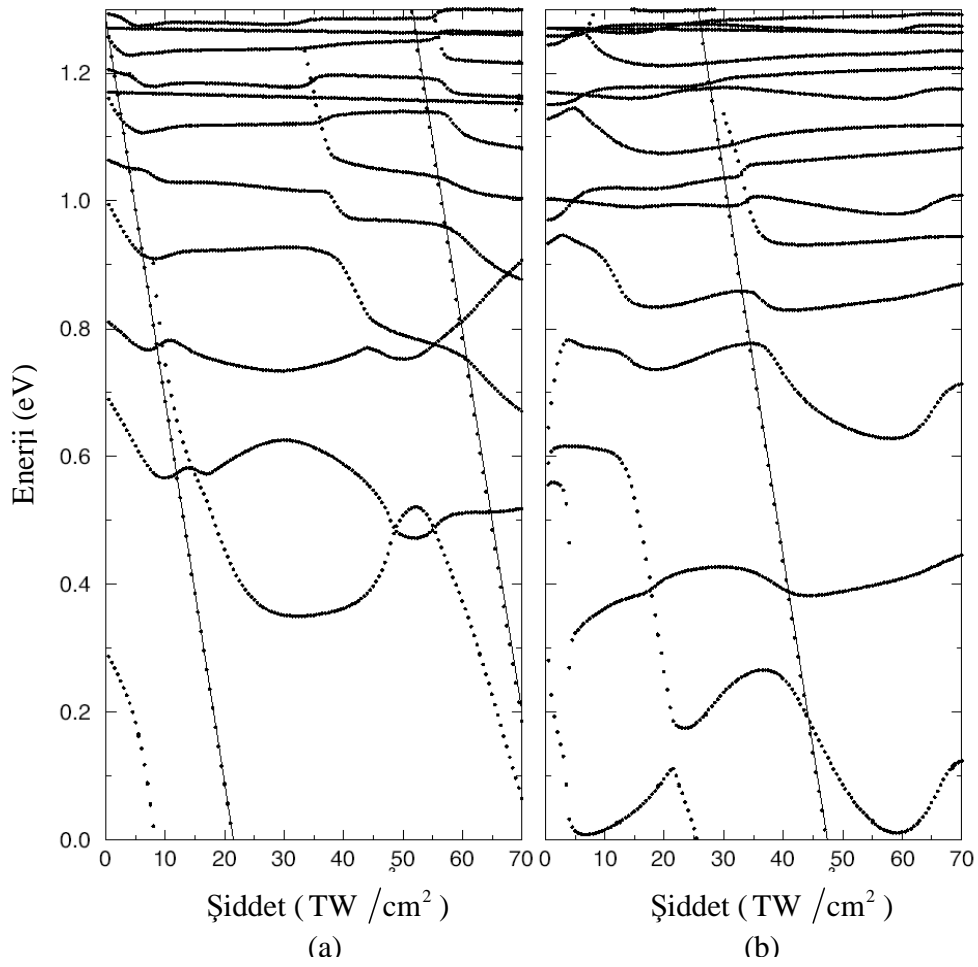
- 10.** Muller H. G., “Tunneling excitation to resonant states in helium as main source of superponderomotive photoelectrons in the tunneling regime”, *Phys. Rev. Lett.*, 83, 3158-3161, (1999).
- 11.** Nandor M. J., Walker M. A., Van Woerkom L. D. and Muller H. G., “Detailed comparison of above-threshold-ionisation spectra from accurate numerical integrations and high-resolution measurements”, *Phys. Rev. A*, 60, R1771-R1774, (1999).
- 12.** Wassaf J., Veniard V., Taieb R., and Maquet A., “Strong field atomic ionization: Origin of high-energy structures in photoelectron spectra”, *Phys. Rev. Lett.*, 90, 1303-1-4, (2003).
- 13.** Wassaf J., Veniard V., Taieb R., and Maquet A., “Roles of resonances and recollisions in strong-field atomic phenomena: Above threshold ionization”, *Phys. Rev. A*, 67, 053405-1-12, (2003).
- 14.** Potvliege R. M., Vucic S., High order above-threshold ionization of argon: Plateau resonances and the Floquet quasienergy spectrum, *Phys. Rev. A*, 74, 023412-1-11, (2006).
- 15.** Mese E. and Potvliege R. M., “The Quasienergy Spectrum of Argon from 400 to 800 nm”, *Laser Phys. Lett.* 4, No. 5, 357-362, (2007).
- 16.** Mese E, Potvliege RM, “Quasienergy Spectrum of Complex Atoms”, *Phys. Rev. A.*, 77, 023414-1-9, (2008).
- 17.** Gersten JI and Mittleman MH, “Shift of atomic states by laser fields”, *J. Phys. B. At. Mol. Opt. Phys.* 9, 2561-2572, (1976).
- 18.** Gavrilin M and Kaminski JZ, “Free-free transitions in intense high-frequency laser fields”, *Phys. Rev. Lett.*, 52, 613-616, (1984).

19. Gavrilu M, “H- in intense laser fields – laser-induced excited-states and dichotomy”, *Super-Intense Laser Atom Phys.*, 316, 461-481, (1993).
20. Fearnside AS, Potvliege RM and Shakeshaft R, “Light induced state of H and H-, shadow states, and the dressed states”, *Phys. Rev. A.*, 51, 1471-1481, (1995).
21. Holt CR, Raymer MG and Reinhardt WP, “Time dependences of 2-photon, 3-photon and 4-photon ionization of atomic-hydrogen in the ground 1s and metastable 2s states”, *Phys. Rev. A.*, 27, 2971-2988, (1983).
22. Potvliege RM and Shakeshaft R, “Multiphoton processes in an intense laser field harmonic generation and total ionisation rates for atomic-hydrogen”, *Phys. Rev. A.*, 40, 3061-3079, (1989).
23. Pont M, Potvliege RM, Shakeshaft R and Smith PHG, “Geometric phases in multiphoton ionization”, *Phys. Rev. A*, 46, 555-566, (1992).
24. Latinne O, Kylstra NJ, Dörr M, Purvis J, Terao-Dunseath M, Joachain CJ, and Burke PG, “Laser-induced degeneracies involving autoionizing states in complex atoms”, *Phys. Rev. Lett.* 74, 46-49, (1995).
25. Cyr A, Latinne O and Burke PG, “R-matrix Floquet theory of multiphoton processes .9. Three-photon laser-induced degenerate states in argon”, *J. Phys. B. At. Mol. Opt.* 30, 659 -666, (1997).
26. Dörr M, Latinne O, Joachain CJ, “Time evolution of two photon population transfer between the 1s and 2s states of a hydrogen atom”, *Phys. Rev. A*, 55, 3697-3703, (1997).
27. Mese E, Floquet calculations of rates of frequency conversion and multiphoton ionisation in intense laser field. *University of Durham (1997)*.

- 28.** Jaron A, Mese E and Potvliege RM, “Floquet analysis of laser-induced continuum structures”, *J. Phys. B. At. Mol. Opt. Phys.* *33*, 1487-1505, (2000).
- 29.** Veniard V, Taieb R, and Maquet A, Phase dependence of (n+1)-color (n>1) ir-uv Photonization of Atoms with higher harmonics, *Phys. Rev. A*, *54*, 721-728, (1996).
- 30.** Potvliege RM and Smith PHG, “2-Colour multiphoton ionisation of hydrogen by an intense laser field and its third harmonic”, *J. Phys. B. At. Mol. Opt.* *24*, L641 L646, (1997).
- 31.** D.W Schumacher, F. Weihe, H. G. Muller, *Phys. Rev. Lett.* *73*, 1344, (1994)
- 32.** K. J. Schafer and K. C. Kulander, *Phys. Rev. A*, *45*, 8026, (1992)
- 33.** R. M. Potvliege and H. G. Smith, *J. Phys. B*, *25*, 2501 (1992)
- 34.** D. A. Telnov, J. Wang, S. I. Chu, *Phys. Rev. A*, *51*, 4797 (1995)
- 35.** J. Mauritsson, P. Johnsson, E. Gustafsson, A. L’Huillier, K.J. Schafer, M.B. Gaarde, “Attosecond pulse trains generated using two color laser fields”, *Phys. Rev. Lett.* *97*, 013001 (2006)
- 36.** N. Dudovich, O. Smirnova, J. Levesque, Y. Mairesse, M.YU. Ivanov, D.M. Villeneuve, P.B. Corkum, “Measuring and controlling the birth of attosecond XUV pulses”, *Nature physics* *4* 34 (2006)

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tek renk problemi kapsamında; 800 nm de Argon atomunun spektrumu $7 \times 10^{13} \text{ TW / cm}^2$ şiddetine kadar hesaplandı. Şekil-2.1 (b) ile gösterilen spektrumda taban enerji seviyeleri ile giydirilmiş enerji seviyeleri arasındaki etkileşme 21 TW / cm^2 ve 47 TW / cm^2 aralığında gerçekleşmiştir ⁸.



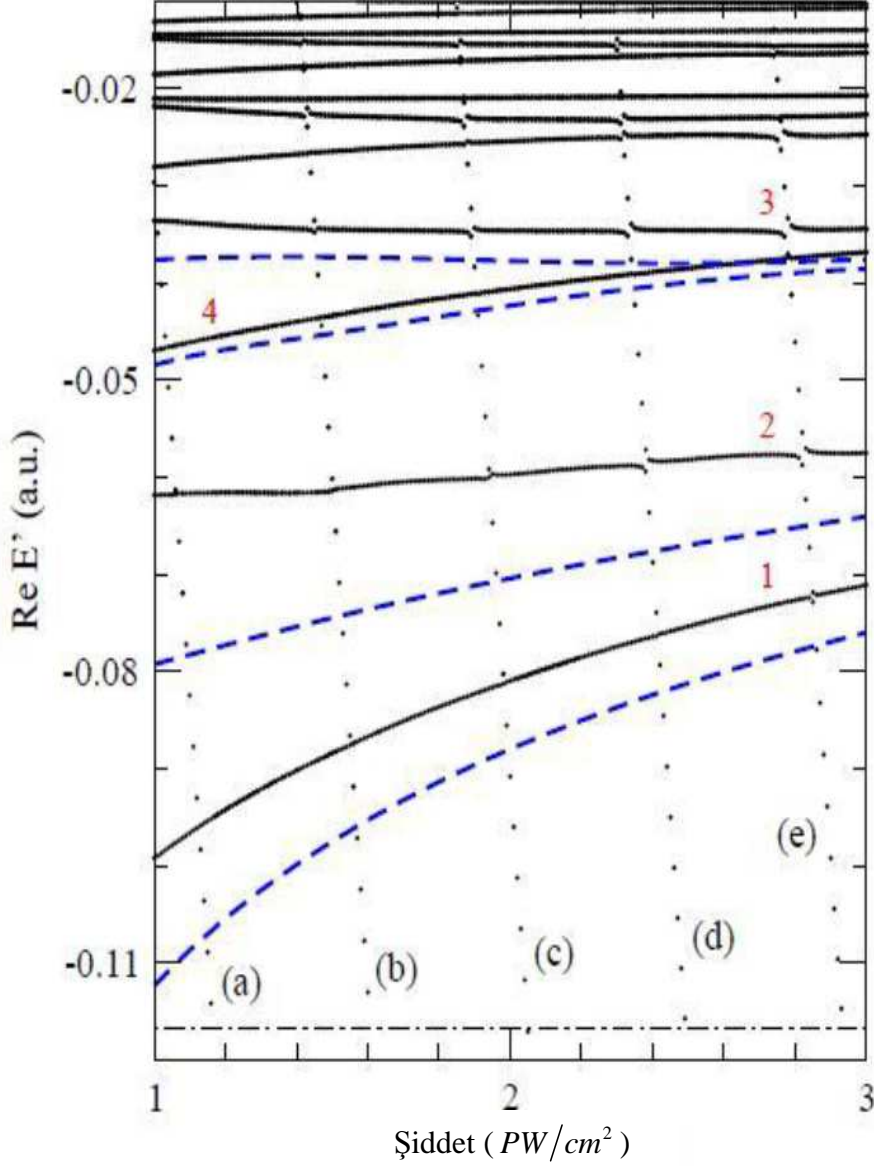
Şekil-2.1: Argon atomunun quasienerji spektrumunun reel kısmının grafiği. (a) tek parite, (b) çift parite kullanılarak çizilmiştir⁸.

Tek renkli lazer alanı kullanılarak, $m = 0$ spektrumunu incelendiğinde: dikkate değecek kadar fazla sayıda doğrudan ya da “kaçınılmış karşılaşmaların” varlığını görmekteyiz. $m = 0$, spektrumunda $\alpha_0 > 30 TW/cm^2$ quasienerji eğrilerin çoğundaki “karşılaşma” tipi yapılar bu eğrileri temsil eden durumların giydirilmiş taban durum ile etkileşmesinden kaynaklanmaktadır. Giydirilmiş taban durum eğrisi α_0 ’un artışı ile hızla aşağı doğru azalırken giydirilmiş uyarılmış durumlar ile çakışarak bu karşılaşmalar oluşturmaktadır. Alan şiddetine bağlı olarak bu karşılaşmalar doğrudan ya da “kaçınılmış karşılaşma” olabilmektedir. Doğrudan karşılaşmalar, giydirilmiş taban durumlar çoğu zaman uyarılmış durumların quasienerjisinin değişimi ile görünmektedir.

Uyarılmış durumlar ve sürekli durum olan taban durum ile çiftlenimi artan dalga boyu ile artmaktadır^{2,3}. Daha ayrıntılı bir tartışma tek renk lazer alanı kullanılarak oluşturulan Argonun quasienerji spektrumu referansı² ile verilen makalede görölmektedir. Ek olarak Argon için hesaplanan diğer bazı sonuçlar ve bir kaç alkali atom için hesaplanan quasienerji spektrumu ile karşılaştırılması belirtilen referansda¹ ayrıntılı olarak incelenmiştir. Aynı makalede tek renk problemi kapsamında alkali atomlarının quasienerji spektrumu ve dalga boyuna bağlı değişimi ayrıntılı tartışılarak verilmiştir.

Çift parite ve tek parite durumları için sergilendiği üzere yüksek alan şiddetlerinde tek renk lazer kullanılarak quasienerji eğrilerinin dalga boyuna karşı değişiminin çok küçük olduğu, karşılaştırma yapılarak incelenmiştir^{1,2}.

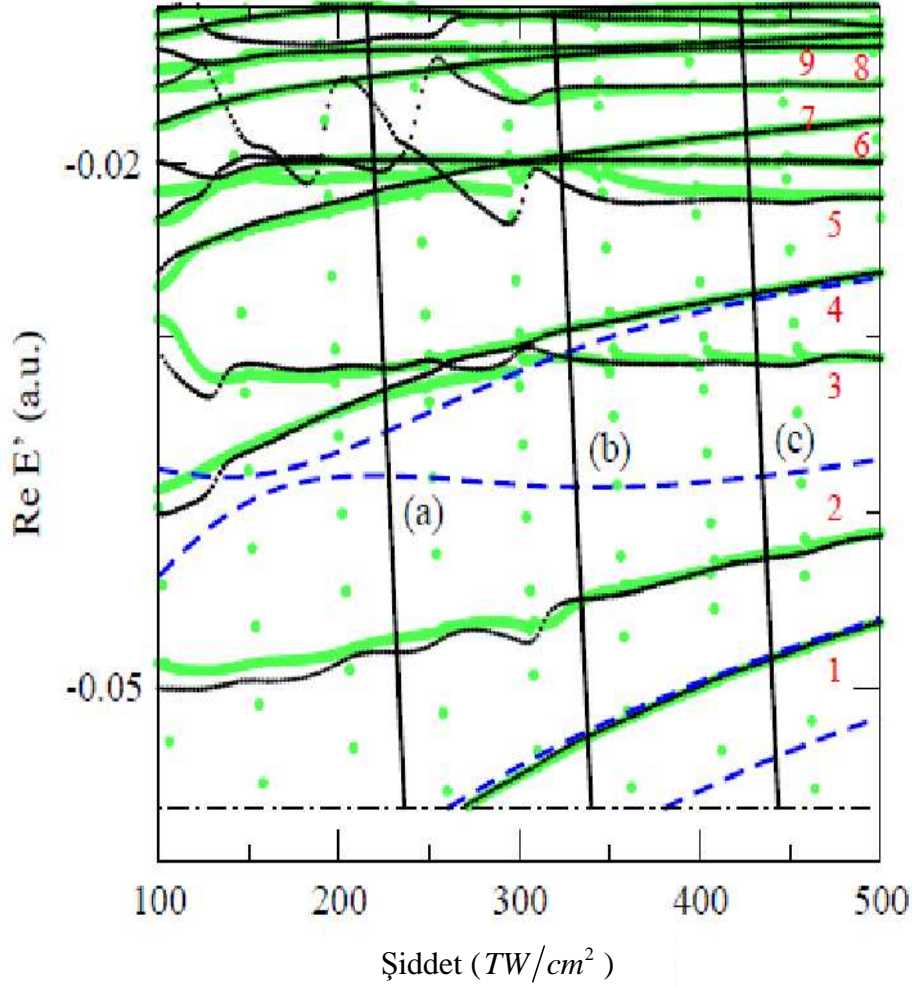
Yine tek renkli lazer alanı kullanılarak, 390 nm dalga boyunda ve $3 \times 10^{15} \text{ W/cm}^2$ aralığındaki alan şiddetleri için He'un çift parite $m = 0$ durumlarında quasienerji spektrumu hesaplandı⁶ ve sonuçlar Şekil-2.2 ile verilmektedir.



Şekil-2.2: 390 nm' de Helyumun çift pariteli $m = 0$ durumları için quasienerji spektrumu. (a), (b), (c), (d) ve (e) ile gösterilen durumlar giydirilmiş taban durumlardır. Kesikli çizgiler ise en düşük dört Krammer Henneberger (KH) durumudur⁶.

Bu hesaplardan elde edilen sonuçlar R. M. Potvliege ve arkadaşları tarafından yapılan 800 nm He ve Hidrojen spektrumun yer aldığı makalede karşılaştırılarak incelenmiştir⁶. Bu makaleden alınan Şekil-2.3 ile verilen 800 nm He spektrumunu

$\alpha_0 \gg 0$ değerleri için Hidrojen spektrumu ile karşılaştırılması yapılarak her iki spektrumun benzer olduğu vurgulanmıştır. Bu da yüksek alan yoğunluklarında giydirilmiş uyarılmış durum spektrumlarının türden bağımsız olduğu genellemesini doğrulamaktadır.



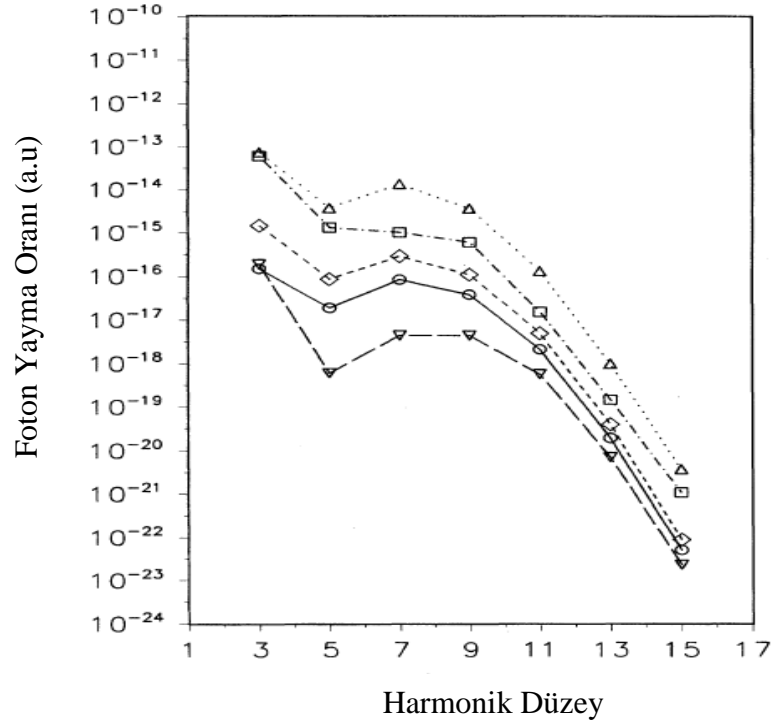
Şekil-2.3: Şekil-2.2 ile aynı durum fakat 800 nm dalga boyu için He spektrumu. (a), (b), (c) ile gösterilen durumlar giydirilmiş taban durumlardır . Kesikli çizgiler ise en düşük dört KH durumudur. Ek olarak yeşil noktalar aynı alanda hidrojen spektrumunu göstermektedir ⁶.

Ek olarak Hidrojen spektrumunda da “kaçınılmış karşılaşma” görülmektedir. Her iki Őekildeki durumlar kendi sıfır-alan değerlerine değil kendi büyük α_0 limit değerlerine göre numaralandırılmıştır. Coulomb potansiyeli ile oluşan en düşük enerjili dört bağlı durumları mavi kesikli çizgi ile Kramer-Henneberger (KH)

durumları olarak gösterilmektedir. Şekil-2.2 ve Şekil-2.3 ikisi de giydirilmiş uyarılmış durumların aynı simetrikli KH durumlarına yakınsadıkları görülmektedir. Yüksek frekans limiti için bu dört KH eğrisine yakınsayan Floquet quasienerji durumları 1, 2, 3 ve 4 durumlarıdır. Bu dört durum, 390 nm’ de KH durumlarına 800 nm’den daha yakındır³.

Tek renk lazer alan şiddeti değişirken rezonans giydirilmiş durumlar arasındaki değişim uzun yıllar önce incelenmiştir^{4,5,7,14,15}: Quasienerjinin reel kısmı doğrudan ya da “kaçınılmış karşılaşma” özelliği ile belirlenebilir. Bu karşılaşma tipi quasienerjinin sanal kısmının değerine bağlıdır ve bazı dalga boylarında doğrudan olurken diğerlerinde “kaçınılmış karşılaşma” tarzında olabilir. Buna karşılık gelen adyabatik quasienerji eğrileri, doğrudan ve “kaçınılmış karşılaşma” etkileşimleri arasında değişim gösterdiğinde, limitler arasında değişime olur. Bu tip değişimler genellikle iki quasienerjinin yozlaşmaya sebep olduğu elektrik alan genliklerinin kompleks değerlerinde oluşur. Bazı durumlar için bazı dalga boylarında yozlaşma reel alan genliğinde de oluşabilir ve ‘lazer-indirgenmiş yozlaşma’ olayına sebep olur^{16,17,18}.

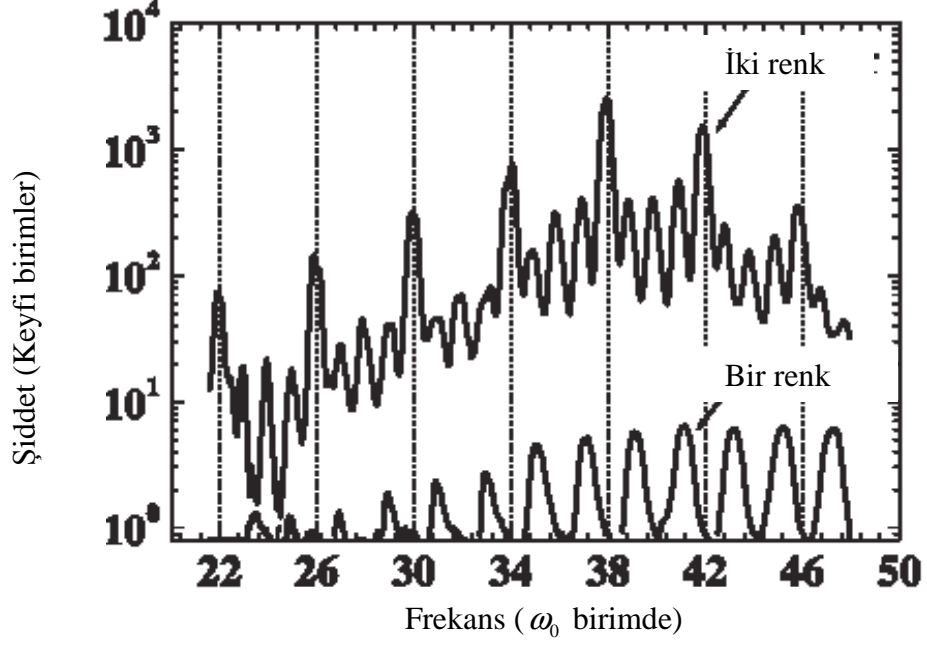
Yüksek Harmonik üretiminde tedirginmesiz yaklaşım davranışları altında zamandan bağımsız Floquet metodu geliştirilerek, iki lazer alan şiddeti kullanılarak yaratılan faz farkı ile foto-emmisyon oranının harmonik basamağına göre grafikleri çizilmiştir⁹.



Şekil-2.4: Fundamental alan 772 nm frekanslı, $1 \times 10^{13} \text{ W/cm}^2$ şiddetinde, ○ sadece fundamental alanın varlığında bir-renk sonuçlarını, ◇ faz değeri 0 iken ve harmonik alan $1 \times 10^9 \text{ W/cm}^2$, ▽ faz değeri 180 iken ve harmonik alan $1 \times 10^9 \text{ W/cm}^2$, △ faz değeri 0 iken ve harmonik alan $1 \times 10^{11} \text{ W/cm}^2$, □ faz değeri 180 iken ve harmonik alan $1 \times 10^{11} \text{ W/cm}^2$ değerleri kullanılarak çizilmiştir⁹.

Güçlü lazer alanında, fundamental alanın 772 nm de ve Hidrojen atomunun 3. harmoniği kullanılarak elde edilen spektrumlarda faz farkı yaratılarak foton-yayma oranları karşılaştırılmıştır. Harmonik alan ve faz değişimiyle spektrumda değişimler incelenmiştir.

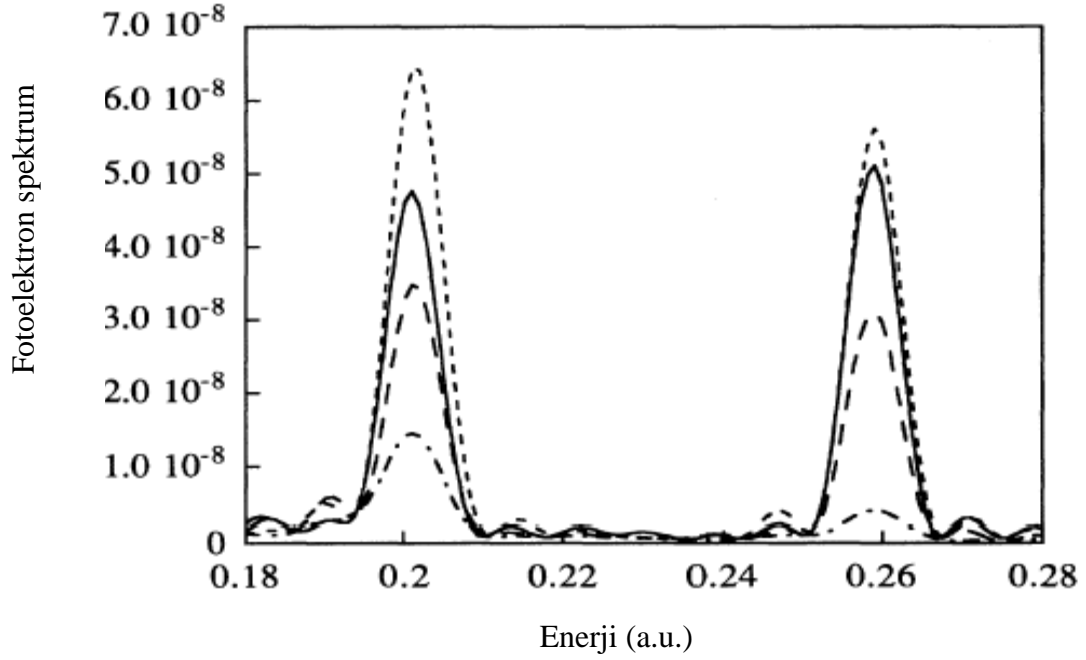
Deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada, laser enerjileri sabit tutularak 38. harmonik basamağında, iki renk lazer kullanılarak şiddetleri karşılaştırılmıştır¹⁰.



Şekil-2.5: Bir ve iki lazer alanı kullanılarak çizilmiş He atomunun Harmonik spektrumu¹⁰.

Deneysel olarak iki lazer alanı kullanarak, 28° faz farkı ve $10^{14} W/cm^2$ harmonik alanın şiddeti kullanılarak Helyum atomunun harmonik spektrumu elde edilmiştir.

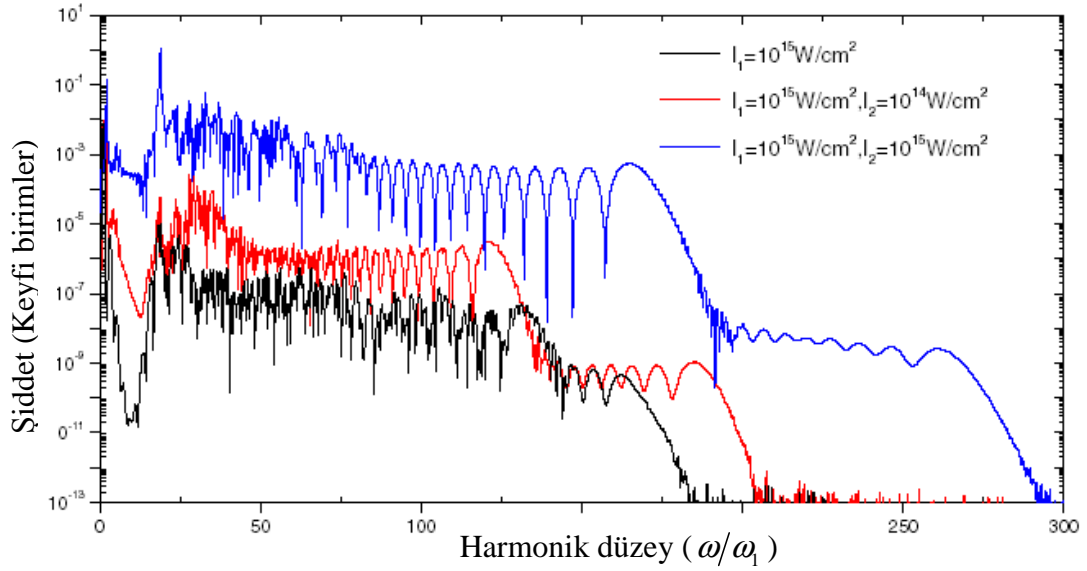
Atomik sistemlerde, tek-atom iyonlaşması yardımıyla yüksek mertebeden harmonik alan kullanılarak iki farklı frekansa sahip lazer ile Hidrojen atomu için fotoelektron spektrumu elde edilmiştir¹¹.



Şekil-2.6: Hidrojen atomunun 13. harmoniği kullanılarak relative faza bağlı iki renk fotoelektron spektrumundaki iki pik incelenmiştir. (Ti: safir laser $\omega_L = 1.55 eV$) Noktalı-kesikli çizgi eşik üzeri iyonlaşma spektrumunu, uzun-kesikli çizgi 0° faz değerini, kesikli çizgi 180° faz değerini, sürekli çizgi ise 90° faz değerini göstermektedir¹¹.

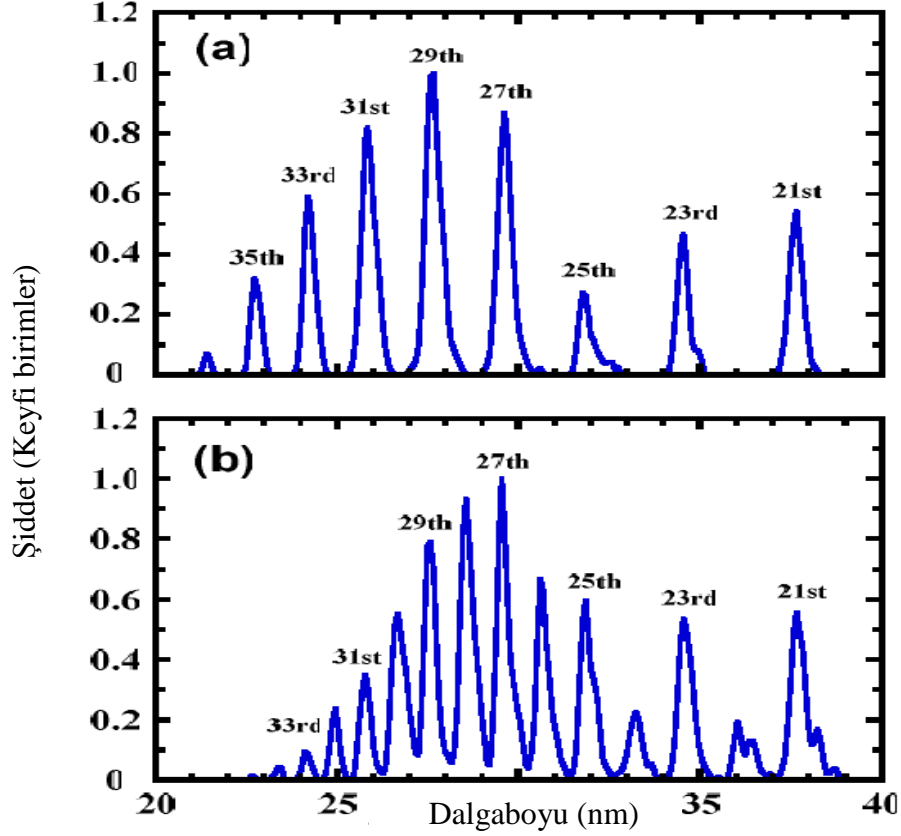
Hidrojen atomunun taban enerji düzeyi için Ti:safir lazerin fundamental alanın frekansı $\omega_L = 1.55 eV$ ve onun 13. harmoniği ile ikinci lazerin frekansı ise $\omega_H = 20.15 eV$ şeklinde kullanılarak yukarıdaki spektrum elde edilmiştir. Elde edilen spektrumda faz 0° - 90° 'dan 180° 'ye değişinceye kadar pikte büyük bir değişim gözlenmiştir.

Tek-aktif elektron yaklaşımı kullanılarak bir boyutlu zamana bağlı Schrödinger dalga denkleminin sayısal çözümleri ile iki-renk lazer alanı ve Helyum atomu kullanılarak, yüksek mertebeden harmonik spektrumu oluşturulmuştur¹².



Şekil-2.7: He atomunun harmonik spektrumu. Siyah çizgi 800 nm de fundamental alanın $I_1 = 10^{15} W/cm^2$, kırmızı ve mavi çizgiler 394 nm de sırasıyla $I_2 = 10^{14} W/cm^2$ ve $I_2 = 10^{15} W/cm^2$ kullanılarak elde edilmiştir¹².

DeneySEL yapılan bu çalışmada, 10-fs fundamental lazer alanı ve paralel polarize olmuş ikinci bir lazer alanı ve 2. harmoniği kullanılarak Argon atomu için yüksek mertebeden harmonik üretimin spektrumu elde edilmiştir¹³.



Şekil-2.8: Argon atomu harmonik spektrum. (a) Bir renk ve 20-fs lazer pulsu, (b) İki renk lazer kullanılarak oluşturulmuştur¹³.

Frekansları tam sayı oranlı iki renk lazer alanı kullanılarak iyonlaşma için Sturmian-Floquet formalizmi kullanılarak hesaplamaya literatürde rastlanmaktadır^{19,20,21,22,23}. Ancak bu çalışmaların tümü Hidrojen atomu için yapılmıştır. Floquet metodu kullanılarak Hidrojen atomunun taban enerji seviyesinin rezonans ve rezonans olmayan iyonlaşma oranları, 1064 nm ($\omega_L = 0.0428 a.u.$) dalgaboylu tedirginme davranışı gösteren zayıf şiddetteki lazer alanı ile ve tedirginmesiz davranış gösteren ikinci bir lazer alanı kullanılarak incelenen çalışmalardan bir tanesidir. Yine aynı çalışmada, tedirginmesiz Floquet yaklaşımı altında fundamental alan ve onun 3. harmoniği kullanılarak iki lazer alanının iyonlaşma oranı üzerindeki etkileri de incelenmiştir²³. Ayrıca hidrojen iyonları için Hermitik olmayan Floquet yaklaşımı altında, fundamental alan frekansı 532 nm ve

775 nm ve onun 3. harmoniği kullanılarak yüksek mertebeden harmonik oranları da hesaplanmıştır²⁴.

Yukarıdaki çalışmalara ek iki renk problemi kapsamında yüksek mertebeden harmoniklerin üretilmesinde polarizasyon etkileri de araştırılmıştır. Dairesel polarize olmuş lazer fundamental alan ve çizgisel polarize olmuş 2. harmoniği kullanılarak deneysel olarak gerçekleştirilen çalışmada, Helyum atomu kullanılmıştır²⁵. Yine dairesele polarize iki lazer alanı kullanılarak, yüksek mertebeden harmonik üretiminde teorik olarak Lewenstein modelinden yararlanılarak harmonik spektrumlar iki renk problemi kapsamında oluşturulmuştur²⁶. Ayrıca Argon atomu için deneysel olarak, ortogonal polarize olmuş iki lazer alanı kullanılarak yüksek mertebeden harmonik üretimine etkileri de incelenmiştir²⁷.

İki renk lazer alanı kullanılarak Attosaniye atmaları üretilmesinde de etkili olmuştur. Yüksek mertebeden harmonik üretimi ile hidrojen atomu için Schrödinger denklemini nümerik olarak hesaplanarak birçok attosaniye atmaları üretilmiştir²⁸. Bir başka çalışmada Argon atomu güçlü lazer alanı ve onun 2. harmoniği kullanılarak Attosaniye atım trenleri deneysel olarak elde edilmiştir²⁹. Bu çalışmalara ek olarak, polarizasyon etkileri araştırılmış ve özellikle ortogonal polarize olmuş iki renk lazer alanı kullanılarak attosaniye atımları üretilmiştir³⁰.

KAYNAKLAR

1. Mese E., Potvliege R. M., Quasienergy Spectrum of Complex Atoms, *Phys. Rev. A.*, 77, 023414-1-9, (2008).
2. Mese E and Potvliege RM, The Quasienergy Spectrum of Argon from 400 to 800 nm, *Laser Phys. Lett.* 4, No. 5, 357-362, (2007).
3. Mese E, *Floquet calculations of rates of frequency conversion and multiphoton ionisation in intense laser field*, University of Durham (1997).
4. Pont M., Walet N. R. and Gavrilu M., Radiative distortion of the hydrogen-atom in superintense, high-frequency fields of linear-polarisation, *Phys. Rev. A*, 41, 477-494, (1990).
5. Latinne O., Kylstra N.J., Dörr M., Purvis J., Terao-Dunseath M., Joachain C.J., and Burke PG, "Laser-induced degeneracies involving autoionizing states in kompleks atoms", *Phys. Rev. Lett.* 74, 46-49, (1995).
6. R. M. Potvliege, E. Mese, S. Vucic, Multiphoton Ionization and multiphoton resonances in the tunneling regime, *Phys. Rev. A.*, 053402 81, (2010)
7. Parker S, Meharg KJ, Mc Kenna K. A. and Taylor K. T., Title, *J. Phys. B At. Mol. Opt.*, 40, 1729-1745, (2007).
8. Potvliege RM, Vucic S, High order above-threshold ionization of argon: Plateau resonances and the floquet quasienergy spectrum, *Phys. Rev. A*, 74, 023412-1-11, (2006).
9. Dimitry A. Telnov, Jing Yang Wang, Shin I Chu, Two colour phase control of high-order harmonic generation in intense laser field, *Phys. Rew. A*, 52, 5 (1995)
10. I. J. Kim, Y. S. Lee, Efficient High-order Harmonic Generation in atwo-colour laser field, *Appl. Phys. B*. 78, 859-861 (2004)

11. Veniard V., Taieb R., Maquet A., Two Colour Multiphoton Ionisation of Atoms Using High Order Harmonic Radiation, *Phys. Rev. Lett.*, 74, 21, (1995)
12. Zhai Z., Xue-Shen Liu, Extension of the high order harmonic and an isolated sub-100 as pulse generation in a two colour laser field, *J. Phys. B. At. Mol. Opt. Phys.* 41, 125602, (2008)
13. Oishi A., Kannari F., Generation of extreme ultraviolet continuum radiation driven by sub-10-fs two colour field, *Optical Society of America* (2006)
14. Holt C. R., Raymer M. G. and Reinhardt W. P., "Time dependences of 2-photon, 3-photon and 4-photon ionization of atomic-hydrogen in the ground 12s and metastable 22s states", *Phys. Rev. A.*, 27, 2971-2988, (1983).
15. Potvliege R. M. and Shakeshaft R., "Multiphoton processes in an intense laser field harmonic generation and total ionisation rates for atomic-hydrogen", *Phys. Rev. A.*, 40, 3061-3079, (1989).
16. Pont M., Potvliege R. M., Shakeshaft R. and Smith PHG, "Geometric phases in multiphoton ionization", *Phys. Rev. A*, 46, 555-566, (1992).
17. Latinne O, Kylstra N.J., Dörr M., Purvis J., Terao-Dunseath M., Joachain C.J., and Burke P. G., "Laser-induced degeneracies involving autoionizing states in complex atoms", *Phys. Rev. Lett.* 74, 46-49, (1995).
18. Cyr A, Latinne O and Burke P. G., "R-matrix Floquet theory of multiphoton processes .9. Three-photon laser-induced degenerate states in argon", *J. Phys. B. At. Mol. Opt.* 30, 659 -666, (1997).
19. Dörr M, Latinne O, Joachain CJ, "Time evolution of two photon population transfer between the 1s and 2s states of a hydrogen atom", *Phys. Rev. A*, 55, 3697-3703, (1997).

- 20.** Mese E, Floquet calculations of rates of frequency conversion and multiphoton ionisation in intense laser field. , *University of Durham (1997)*.
- 21.** Jaron A, Mese E and Potvliege RM, “Floquet analysis of laser-induced continuum structures”, *J. Phys. B. At. Mol. Opt. Phys.* 33, 1487-1505, (2000).
- 22.** Veniard V, Taieb R, and Maquet A, Phase dependence of (n+1)-color (n>1) ir-uv Photonization of Atoms with higher harmonics, *Phys. Rev. A*, 54, 721-728, (1996).
- 23.** Potvliege RM and Smith PHG, “2-Colour multiphoton ionisation of hydrogen by an intense laser field and its third harmonic”, *J. Phys. B. At. Mol. Opt.* 24, L641 L646, (1997).
- 24.** Dmitry A. Telnov, Jingyan Wang, and Shih-I Chu, Two-color phase control of high-order harmonic generation in intense laser fields, *Phys. Rev. A.*, 52, 3988, (1995)
- 25.** X. Min, S. I. Chu, Generation of circular polarized multiple high order harmonic emission from two- color crossed laser beams, *Phys. Rev. A.*, 58, 4, (1998)
- 26.** F. Ceccherini, D. Bauer, F. Cornolti, Harmonic generation in two color circularly polarized laser fields, *Conference Proceedings Vol. 88, “Atoms and Plasmas in Super Intense Laser Fields” (2004)*
- 27.** I. J. Kim, C. M. Kim, H. T. Kim, G. H. Lee, J. Y. Park, Highly efficient High-harmonic generation in an orthogonally polarized two-color laser field, *Phys. Rev. Lett.*, 94, 243901, (2005)
- 28.** Ch. Siedschlag, H. G. Muller, M. J. J. Vrakking, Generation of isolated of attosecond pulses by two colour laser fields, *Laser Phys.*, 15, 916-925, (2005)
- 29.** J. Mauritsson, P. Johnson, E. Gustafsson, A. L. Huiller, K. J. Schafer, Attosecond Pulse trains generated using two colour Laser fields, *Phys. Rev. Lett.*, 97, 013001, (2006)

30. Y. Yu, X. Song, Y. Fu, R. Li, Y. Cheng, Z. Xu, Theoretical investigation of single attosecond pulse generation in an ortogonally polarized two-color laser field, *Optics Express*, 16, 2, (2008)

3. MATERYAL VE METOT

3.1. BİR RENK FLOQUET METODU

Bir renk Floquet metodu kullanılarak elde edilen floquet spektrumları literatürde geniş yer tutmaktadır^{1,2,3,9}. Bu metotta, monokromatik uzaysal olarak homojen bir lazer alanında aktif tek elektron yaklaşımında Argon atomu düşünüldü. Alan klasik olarak ifade edildi ve dipol yaklaşımında aşağıda verilen vektör potansiyeli ile tanımlandı:

$$A(t) = (F_0/\omega) \sin(\omega t) \quad (3.1.1)$$

Burada F_0 , elektrik alan genliği ve ω açısal frekanstır. Schrödinger denklemi,

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(t) = [H_{at} + V(t)] \Psi(t) \quad (3.1.2)$$

ile verilir. Burada H_{at} alanın yokluğundaki hamiltonyendir ve de etkileşme potansiyeli $V(t)$ de hız ayarında

$$V(t) = (-e/mc) \mathbf{A}(t) \cdot \mathbf{p} \quad (3.1.3)$$

ile verilmektedir. Burada e , m , \mathbf{p} sırasıyla elektronun yükü, kütlesi ve momentumudur. Floquet Ansatz'ı yapılarak Ψ_n Floquet harmonikleri için çiftlenimli zamandan bağımsız denklem sistemi elde edilir:

$$(\varepsilon + n\omega - H_{at}) \Psi_n = V_+ \Psi_{n-1} + V_- \Psi_{n+1} \quad (3.1.4)$$

Burada V_+ ve V_- sırasıyla soğurma ve yayma işlemcileridir. Floquet denklemi olarak adlandırılan bu denklemin çözümü ile ε quasienerji değerleri ve dolayısıyla iyonlaşma oranı elde edilir. Quasienerji

$$\varepsilon = -I_p + \Delta_{ac} + N\omega - \frac{i\Gamma}{2} \quad (3.1.5)$$

şeklinde ifade edilir. Burada I_p alanın yokluğunda taban durumunun bağlanma enerjisidir. Δ_{ac} Stark yarılması ve Γ ise iyonlaşma enerjisidir.

Ayrıca, dalga fonksiyonunun alandaki bağlı durumu temsil etmesi ve foto-iyonlaşmayı temsil edebilmesi için dalga fonksiyonunun çekirdekte düzenli olmasını ve asimptotik uzaklıklarda kanalın açık olduğu durumda dışa yönelen, tersi durumda ise sönümlü dalgalardan oluşması gerektiği vurgulanmalıdır.

3.2. İKİ RENK FLOQUET METODU:

Aşağıda özetlenen Floquet teorisi iki renk durumna genelleştirilmiş hali literatürde sık kullanılmaktadır^{4,5,6,7,10,11,12,13,14}. Kullanılacak ikinci rengin frekansı fundamental demet olarak adlandırılan birinci demetin yüksek harmonikleri olacaktır. Diğer bir deyişle ikincil demetin frekansı birincininkiyle bir tam sayı ile oranlı olmalıdır: $\omega_H = n\omega_L$. Burada ω_L fundamental demetin frekansı, n tam sayı ve ω_H ikincil demetin frekansdır. Bu tip frekanslar “tam sayı oranlı frekanslar” olarak adlandırılır. L indisi düşük frekans alanını ve H indisi yüksek frekans alanını gösterir.

Atomik Hamiltonyen

$$H_A = \frac{\hat{p}^2}{2} - \frac{1}{r} \quad (3.2.1)$$

ve etkileşme Hamiltonyeni hız ayarında

$$H_I(t) = \frac{1}{c} \mathbf{A}(t) \cdot \mathbf{p} \quad (3.2.2)$$

ile verilir. Burada \mathbf{p} kanonik momentum ve $\mathbf{A}(t)$ dipol yaklaşımında alanın klasik vektör potansiyelidir.

İki renk alan için $\mathbf{A}(t)$ vektör potansiyeli,

$$\mathbf{A}(t) = \text{Re}(\mathbf{A}_{0H}e^{-i\omega_H t}) + \text{Re}(\mathbf{A}_{0L}e^{-i\omega_L t}) \quad (3.2.3)$$

şeklindedir. Buradan

$$H_I(t) = -\frac{1}{c} \left\{ \text{Re}(\mathbf{A}_{0H}e^{-i\omega_H t}) + \text{Re}(\mathbf{A}_{0L}e^{-i\omega_L t}) \right\} \cdot \mathbf{p} \quad (3.2.4)$$

$$\text{Re}(e^{-i\omega_H t}) = \text{Re}(\cos \omega_H t - i \sin \omega_H t) = \cos \omega_H t \quad (3.2.5)$$

elde edilir.

Her iki alan için absorpsiyon ve emisyon operatörleri kullanılarak;

$$V_{H+} = (-1/2c) \mathbf{A}_{0H} \cdot \mathbf{p} \quad (3.2.6)$$

$$V_{L+} = (-1/2c) \mathbf{A}_{0L} \cdot \mathbf{p}$$

ve

$$V_{H-} = V_{H+}^\dagger \quad (3.2.7)$$

$$V_{L-} = V_{L+}^\dagger$$

etkileşme potansiyeli,

$$H_I(t) = -\frac{1}{c} [\cos \omega_H t + \cos \omega_L t] [\mathbf{A}_{0H} + \mathbf{A}_{0L}] \cdot \mathbf{p} \quad (3.2.8)$$

şeklinde yazılır.

Denklem (3.2.8)' de $\cos \omega t = \frac{e^{i\omega t} + e^{-i\omega t}}{2}$ yerine yazılır

$$H_I(t) = -\frac{1}{c} \left[\mathbf{A}_{0H} \frac{e^{i\omega_H t} + e^{-i\omega_H t}}{2} + \mathbf{A}_{0L} \frac{e^{i\omega_L t} + e^{-i\omega_L t}}{2} \right] \cdot \mathbf{p} \quad (3.2.9)$$

$$H_I(t) = -\frac{1}{2c} \mathbf{A}_{0H} \cdot \mathbf{p} e^{i\omega_H t} - \frac{1}{2c} \mathbf{A}_{0H} \cdot \mathbf{p} e^{-i\omega_H t} - \frac{1}{2c} \mathbf{A}_{0L} \cdot \mathbf{p} e^{i\omega_L t} - \frac{1}{2c} \mathbf{A}_{0L} \cdot \mathbf{p} e^{-i\omega_L t} \quad (3.2.10)$$

zamana bağlı Schrödinger denklemi

$$i\hbar \frac{d}{dt} |\psi(t)\rangle = [H_a + H_I(t)] |\psi(t)\rangle \quad (3.2.11)$$

bir renk durumu için benzer çözümler

$$|\psi(t)\rangle = e^{iEt} \sum_{m,n} e^{-i(m\omega_H + n\omega_L)t} |\psi_{m,n}\rangle \quad (3.2.12)$$

dir.

Burada (m,n) indisli harmonik bileşenler, m yüksek frekanslı ve n düşük frekanslı gerçek ya da sanal fotonların soğurulmasını temsil eder. Bu denklemleri Schrödinger denkleminde yerine yazılarak $|\psi_{m,n}\rangle$ harmonik bileşenler için zamandan bağımsız çiftlenmiş durumların takımlarını elde edilir:

$$\frac{d}{dt} \left[e^{iEt} \sum_{m,n} e^{-i(m\omega_H + n\omega_L)t} |\psi_{m,n}\rangle \right] - H_a |\psi_{m,n}\rangle \quad (3.2.13)$$

$$= \left[V_{H+} e^{-i\omega_H t} + V_{H-} e^{-i\omega_H t} + V_{L+} e^{-i\omega_L t} + V_{L-} e^{-i\omega_L t} \right] \left[e^{iEt} \sum_{m,n} e^{-i(m\omega_H + n\omega_L)t} |\psi_{m,n}\rangle \right]$$

$$E e^{iEt} \sum_{m,n} e^{-i(m\omega_H + n\omega_L)t} |\psi_{m,n}\rangle + e^{iEt} \sum_{m,n} (m\omega_H + n\omega_L) e^{-i(m\omega_H + n\omega_L)t} |\psi_{m,n}\rangle \quad (3.2.14)$$

$$= \left[V_{H+} e^{-i\omega_H t} + V_{H-} e^{-i\omega_H t} + V_{L+} e^{-i\omega_L t} + V_{L-} e^{-i\omega_L t} \right] \left[e^{iEt} \sum_{m,n} e^{-i(m\omega_H + n\omega_L)t} |\psi_{m,n}\rangle \right]$$

$$\sum_{m,n} (E + m\omega_H + n\omega_L - H_a) e^{iEt} e^{-i(m\omega_H + n\omega_L)t} |\psi_{m,n}\rangle \quad (3.2.15)$$

$$= \sum_{m,n} \left(V_{H+} e^{-i((m+1)\omega_H + n\omega_L)t} + V_{H-} e^{-i((m-1)\omega_H + n\omega_L)t} + V_{L+} e^{-i(m\omega_H + (n+1)\omega_L)t} + V_{L-} e^{-i(m\omega_H + (n-1)\omega_L)t} \right) e^{iEt} |\psi_{m,n}\rangle$$

$$\sum_{m,n} (E + m\omega_H + n\omega_L - H_a) e^{-i(m\omega_H + n\omega_L)t} |\psi_{m,n}\rangle \quad (3.2.16)$$

$$= \sum_{m,n} \left(V_{H^+} e^{-i((m+1)\omega_H + n\omega_L)t} + V_{H^-} e^{-i((m-1)\omega_H + n\omega_L)t} + V_{L^+} e^{-i(m\omega_H + (n+1)\omega_L)t} + V_{L^-} e^{-i(m\omega_H + (n-1)\omega_L)t} \right) |\psi_{m,n}\rangle$$

$$m+1 \rightarrow M \quad (3.2.17)$$

$$m = M - 1$$

$$\sum_{m,n} (E + m\omega_H + n\omega_L - H_a) e^{-i(m\omega_H + n\omega_L)t} |\psi_{m,n}\rangle \quad (3.2.18)$$

$$= \sum_{m,n} \left(V_{H^+} e^{-i(m\omega_H + n\omega_L)t} |\psi_{M-1,N}\rangle + V_{H^-} e^{-i(m\omega_H + n\omega_L)t} |\psi_{M+1,N}\rangle + V_{L^+} e^{-i(m\omega_H + n\omega_L)t} |\psi_{M,N-1}\rangle + V_{L^-} e^{-i(m\omega_H + n\omega_L)t} |\psi_{M,N+1}\rangle \right)$$

Sınır koşulları:

- Harmonik bileşenler orijinde ($r \sim 0$ limitinde) düzenli olmalıdır.
- Harmonik bileşenler $r \rightarrow \infty$ limitinde dışa yönelen dalgaların süper pozisyonu olarak davranmalıdır.

Bu koşulların iki renk durumuna genelleştirilmiş hali

$$\langle r | \psi_{mn} \rangle = \sum_{m',n'} f_{m'n'mn}(\hat{r}, E) r^{iv_{m'n'}} \frac{1}{r} e^{ik_{m'n'}(E)r} \quad (3.2.19)$$

dir. Burada k_{mn} , (m,n) 'inci kanalın dalga sayısıdır ve

$$k_{mn}(E) = [2(E + m\omega_H + n\omega_L)]^{1/2} \quad (3.2.20)$$

ile verilir.

v_{mn} ' de z rezidual iyonik yük olmak üzere

$$v_{mn} = z/k_{mn} \quad (3.2.21)$$

dır. $f_{m'n'm}(\hat{r}, E)$ katsayısı, (m,n) kanalında m' yüksek frekanslı ve n' düşük frekanslı gerçek fotonların soğurulma genliğidir. Yukarıda elde edilen çiftlenimli denklem sınır koşulları ile birlikte E quasienerji için özdeğer problemini oluşturur.

$$\omega_H \text{ ve } \omega_L \text{ frekansları tam sayı oranlı frekanslar olduklarından } \frac{\omega_H}{N_H} = \frac{\omega_L}{N_L}$$

yazabiliriz. N_H ve N_L tamsayıdır. $\omega \equiv \omega_L/N_L$ şeklinde bir ana frekans kullanılarak, Floquet Ansatz'ı

$$|\psi(t)\rangle = e^{iEt} \sum_n e^{-in\omega t} |\psi_n\rangle \quad (3.2.22)$$

Şeklinde yazılır. Bunu zamana bağlı Schrödinger denkleminde yerine yazılırsa

$$\begin{aligned} i \frac{d}{dt} \left\{ e^{iEt} \sum_n e^{-in\omega t} |\psi_n\rangle \right\} - H_a |\psi_n\rangle \\ = \left[V_{H+} e^{-i\omega_H t} + V_{H-} e^{-i\omega_H t} + V_{L+} e^{-i\omega_L t} + V_{L-} e^{-i\omega_L t} \right] |\psi_n\rangle \end{aligned} \quad (3.2.23)$$

$$\omega \equiv \omega_L/N_L$$

$$\omega_H = N_H \omega \quad (3.2.24)$$

$$\omega_L = N_L \omega$$

$$(E + n\omega - H_a) |\psi_n\rangle = \sum_n \left[V_{H+} e^{-i(N_H+n)\omega t} + V_{H-} e^{-i(n-N_H)\omega t} + V_{L+} e^{-i(N_L+n)\omega t} + V_{L-} e^{-i(n-N_L)\omega t} \right] |\psi_n\rangle$$

elde edilir.

Burada,

$$\begin{aligned} N_H + n = N &\Rightarrow n \rightarrow n - N_H \\ N_L + n = N &\Rightarrow n \rightarrow n - N_L \\ n - N_H = N &\Rightarrow n \rightarrow n + N_H \\ n - N_L = N &\Rightarrow n \rightarrow n + N_L \end{aligned} \quad (3.2.25)$$

kullanılarak

$$\begin{aligned}
& (E + n\omega - H_a) |\psi_n\rangle e^{-in\omega t} \\
&= \sum_n \left[V_{H+} |\psi_{n-N_H}\rangle + V_{H-} |\psi_{n+N_H}\rangle + V_{L+} |\psi_{n-N_L}\rangle + V_{L-} |\psi_{n+N_L}\rangle \right] e^{-in\omega t} \\
& (E + n\omega - H_a) |\psi_n\rangle = V_{H+} |\psi_{n-N_H}\rangle + V_{H-} |\psi_{n+N_H}\rangle + V_{L+} |\psi_{n-N_L}\rangle + V_{L-} |\psi_{n+N_L}\rangle \quad (3.2.26)
\end{aligned}$$

çiftlenimli özdeğer denklemleri elde edilir. Kompleks quasienerji, bu denklem ve sınır değer koşulları ile birlikte çözümlenerek bulunur. Bu durumda E özdeğerleri görüldüğü gibi sadece iki alanın frekans ve yoğunluklarına bağlı değil, iki demet arasındaki faz farkına da bağlıdır. Aşağıdaki bağıntıdan açıkça görülebilir.

$$\omega_H = \omega_L \text{ ve } I_H = I_L, \quad t=0 \text{ da } \varphi \text{ faz farkı olsun.}$$

Eğer $\varphi = 0$ ise iki alanın farklı genlikleri birbirini güçlendirirken, $\varphi = \pi$ için sıfır verecek şekilde birbirini zayıflatır. Frekansları tam sayı oranlı olmayan alanlar için faza bağlılık bir faz dönüşümü ile giderilebilir. Ama frekansları tam sayı oranlı alanlarda bu mümkün değildir. Faza bağlılığın giderilmesi ancak özel bir değerde giderilebilir. Bu da sayısal araştırma ile bulunmalıdır.

Alanların özdeş olduğu yukarıdaki basit örnek dışında, düşük frekanslı alana bir faz farkı eklemek, aynı faz farkını yüksek frekanslı alandan çıkarmaya özdeş değildir.

$$\cos(N_L \omega t) \rightarrow \cos(N_L \omega t + \varphi_L) \text{ ve } \cos(N_H \omega t) \rightarrow \cos(N_H \omega t - \varphi_L) \quad (3.2.27)$$

denklemleri özdeş değildir. Ama yüksek frekanslı alanda özdeş faz değişimi

$$\cos(N_H \omega t) \rightarrow \cos(N_H \omega t + \varphi) \quad (3.2.28)$$

şeklinde dir. Burada,

$$\varphi_H = (N_H / N_L) \varphi_L \quad (3.2.29)$$

dir. Bu nedenle fazın hangi alana ekleneceği konusunda dikkatli olunmalıdır.

3.3. QUASIENERJİ HESAPLANMASINDA TEKNİK AYRINTILAR

Quasienerji hesabı Floquet denkleminde Floquet harmonik bileşenlerini, küresel harmonikler $Y_{lm}(r, \theta, \phi)$ ve kompleks Sturmian fonksiyonlar

$$S_{vl}(\kappa, r) = N_{vl} (-2\kappa r)^{l+1} \exp(\kappa r) {}_1F_1(l-v, 2l+2, -2\kappa r) \quad (3.3.1)$$

bazında seriye açılarak gerçekleştirilir¹¹. Burada N_{vl} normalizasyon sabitidir. Seçim kuralı nedeniyle her bir harmonik bileşen sadece l -değerleri tek ya da çift olan kısmi dalgaları içerir. Bu nedenle iki tip çözüm mevcuttur. Ayrıca enerji için özdeğer problemi ve katsayılar Arnoldi iterasyonu kullanılarak çözüldü.

3.4. KULLANILAN MODEL POTANSİYEL

Burada, argon, helyum ve alkaliler aktif tek elektron yaklaşımı modeli ile temsil edildi. Bu kompleks atomlar için aktif elektronun çekirdek ile etkileşmesini temsil eden potansiyel,

$$W(r) = -\frac{1}{r} \left[1 + Ae^{-\alpha r} + Be^{-\beta r} + Cre^{-\gamma r} \right] \quad (3.4.1)$$

ile verilir⁸. Argon için $A=5.25$ a.u., $\alpha=0.97$ a.u., $\beta=3.7131$ a.u., $B=11.75$ a.u. ve $C=0$ a.u.

$$3p^{5/2}P_{3/2}^0$$

serisine yaklaşmak için kullanıldı ve

$$3p^{5/2}P_{1/2}^0$$

serisine yaklaşmak için de $A=7.3$ a.u., $\alpha=1.15$ a.u., $\beta=4.5823$ a.u., $B=9.7$ a.u. ve $C=0$ a.u. kullanıldı. Bu parametreler deneysel verilerle elde edilmiştir ve kullanılan modelin enerji seviyeleriyle uyumludur. Atomik Hidrojen için hesaplamalarda potansiyelin $W(r) = -1/r$ olduğu açıktır.

KAYNAKLAR

1. Potvliege R. M., Vucic S., High order above-threshold ionization of argon: Plateau resonances and the Floquet quasienergy spektrum, *Phys. Rev. A*, 74, 023412-1-11, (2006).
2. Shin-I Chu, Dimitry A. Telnov, Beyond the Floquet Theorem: Generalized Floquet formalisms and quasienergy methods for atomic and molecular multiphoton processes in intense laser fields, *Physics Reports*, 390, 1-131, (2004)
3. M Dörr, R. M. Potvliege, D. Proulx , Robin Shakeshaft, Multiphoton processes in an intense laser field. VI. Two-color ionization with incommensurable frequencies *Phys. Rev. A*, 44 574 (1991)
4. M Dörr, R M Potvliege, D Proulx, Robin Shakeshaft, Multiphoton processes in an intense laser field. VI. Two-color ionization with incommensurable frequencies *Phys. Rev. A*, 44, 574 (1991)
5. Mese E., Floquet calculations of rates of frequency conversion and multiphoton ionisation in intense laser field., *University of Durham* (1997).
6. H. C. Day, Floquet Calculation of Atomic Photo-Electron Spectrum in Intense laser Field, *University of Durham* (1997).
7. H C Day, Bernard Piraux, and R. M. Potvliege Multistate non-Hermitian Floquet dynamics in short laser pulses, *Phys. Rev. A*, 61 031402 (R) (2000)
8. Klapisch M. and Seances CR, New method of calculating radial functions and clasification of atomic spectra, *Comp. Rend. Hebd. Des Sean. De L Acad. Sci. Ser. B*, 265, 914-&, (1967).
9. M. Plummer, C. J. Noble, Non-Hermitian Floquet Dynamics of Argon atoms at 248 nm, *J. Phys. B*. 36, L219-226,(2003)

10. D. A. Telnov, J. Wang, S. I. Chu, Two-colour phase control of high-order harmonic generation in intense laser field, *Phys. Rev. A*, 52, 5 (1995)
11. R. M. Potvliege, P. H. G. Smith, Two colour ionization of Hydrogen for frequencies in the 2:3 ratio, *Phys. Rev. A*, 49, 4, (1993)
12. R. M. Potvliege, P. H. G. Smith, Adiabatic stabilization of excited states of H in intense linearly polarized laser field, *Phys. Rev. A*, 48, R46, (1993)
13. R. M. Potvliege, P. H. G. Smith, Two-colour multiphoton ionization of Hydrogen by an intense laser field and its third harmonic, *J. Phys. B*, 24, L641, (1991)
14. M. Potvliege, R. Shakeshaft, Multiphoton processes in an intense laser field: Harmonic generation and total ionization rates for atomic Hydrogen, *Phys. Rev. A*, 40, 3061 (1989)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 İKİ RENK PROBLEMİ

Güçlü lazer alanına maruz kalan Argon ve Helyum atomları için Floquet yöntemi kullanılarak quasienerji seviyelerinin faz farkına bağlılıkları, farklı alan şiddetleri ve farklı dalgalıboyları için incelendi. Kullanılan parametreler, alan şiddeti $\alpha_0 = F_0/\omega^2$ parametresiyle ifade edildi². Rezonans durumundaki her enerji seviyesi için yüksek alan şiddeti (I_H), düşük alan şiddet (I_L), foton sayısı (n), açısıl momentum ($l_{max}-l_{min}$) ile gösterildi. Quasienerjinin reel ve sanal kısımlarının faz değişimlerine karşı incelenirken sonuçların baz setine göre yakınsaklığı kontrol edildi. Hesaplar tek ve çift parite durumları için ayrı ayrı yapıldı.

Öncelikle, 800 nm dalgalıboylu güçlü lazer alanında Argon atomu için quasienerji spektrumu inceledi. Daha genel bir sonuca gidebilmek için farklı dalgalıboyları ve farklı türde atomlara hesaplar uzatıldı. Argon atomu için 1200 nm ve 1300 nm farklı dalgalıboylarında ve Helyum atomu için 390 nm ve 800 nm dalgalıboyları için quasienerjiler hesaplandı. Argon ve Helyum atomları için kullanılan model potansiyelin içerdiği sabitler Tablo-4.1'de verilmektedir⁵.

Tablo-4.1:Argon ve Helyum atomları için Klapisch potansiyel sabitleri⁵

	A	B	A	B
Ar	5.25	11.75	0.97	3.7131
He	0	1.23	0	4

4.1.1 Güçlü Lazer Alanına Maruz Kalan Argon Atomunun Floquet Yöntemiyle Elde Edilen Quasienerji Seviyelerinin Faz Farkına Bağlılıklarının İncelenmesi:

Fundamental alan olarak adlandırılan birinci lazerin dalga boyu 800 nm ve ikinci fundamental lazerin üçüncü harmoniği kullanılarak Argon için quasienerjinin iki alan arasındaki faz farkına bağlı olarak değişimi incelendi. Bu inceleme yapılırken öncelikle fundamental alan için $\alpha_0 = 13.216$ a.u., 12.8 a.u., 12.43 a.u., 11.83 a.u. ve ikinci lazerin alan şiddeti daha düşük alındı. α_0 için bu değerlerin seçilmesinin nedeni, tek renk 800 nm çift parite haritasında sırasıyla giydirilmiş 9p, 7p, 5f ve 4f durumlarının taban durum ile rezonanslarının bu α_0 değerlerinde gözlenmesidir¹. Çünkü iyi bilinmektedir ki quasienerji haritasında oluşan bir değişiklik ona bağlı olan rezonansın genliği ya da diğer niteliklerini etkilemektedir^{2,3}. Fundamental alanın bu dört α_0 genliği ve harmonik alanın üç farklı şiddeti 10^{10} W/cm², 10^{11} W/cm², 10^{12} W/cm² için quasienerjinin iki alan arasındaki faz farkına bağlı değişimi ile verilmektedir. Şekil-4.1'den Şekil-4.4' e kadar incelenen her dört durumda da quasienerjinin reel kısmının çift parite durumunda faza bağlı olarak değişimin olmadığı gözlenmektedir, Şekil-4.5'de ise $\alpha_0 = 15.3$ a.u. değerinde hem harmonik alanın değişimi hem de faza bağlı değişim gözlenmektedir. Buna rağmen her dört fundamental alan şiddetlerinde quasienerjinin sanal kısmının faza bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir (Şekil-4.8-4.11). Temsili olarak bunlardan $\alpha_0 = 13.216$ a.u. fundamental alanı için elde edilen sonuç Şekil-4.11' de verilmektedir. Özellikle artan harmonik alan şiddeti ile bu değişimin hızlandığı gözlenmektedir. Bu da ikinci alanın şiddetinin artışında tedirginmesiz etkilerin katkısı olduğunu düşündürmektedir.

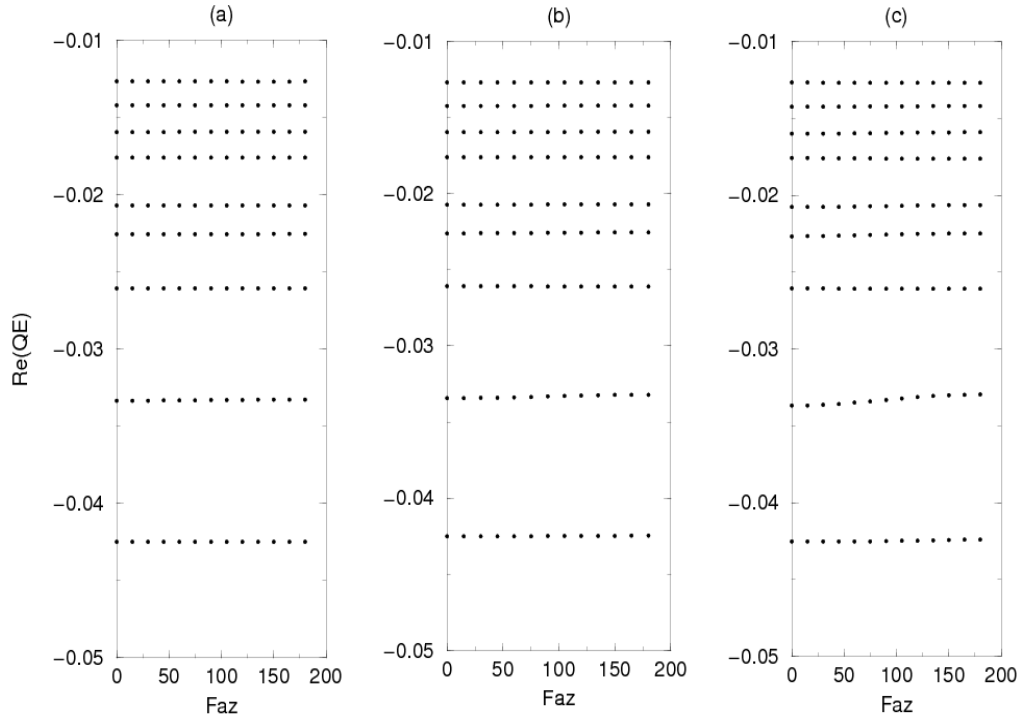
Artan fundamental alan şiddeti ile faza bağlı quasienerjinin değişimini gözlemek üzere daha büyük bir α_0 değeri (15.3 a.u) için hesap yapıldı. Quasienerjinin reel kısmı Şekil-4.5 ve sanal kısmı Şekil-4.12 ile verilmektedir. Bu iki şekilde artan fundamental alan şiddetlerinde quasienerjinin reel ve sanal kısımlarının alanlar arasındaki fazın değişimi ile değiştiği gözlemlendi. Aynı iki şekil 15.3 a.u 800 nm fundamental alanının kendi 3. harmoniği ile etkileşirken harmonik alanın şiddeti 10^{10} W/cm² 'den 10^{12} W/cm² 'e artırıldığı zaman bu değişimin de arttığı incelenmiştir.

Tablo-4.2: Rezonans seviyeleri için belirlenen α_0 değerleri (a) Giydirilmiş rezonans seviyeleri. (b) I_H yüksek şiddet¹ (atomik birim).

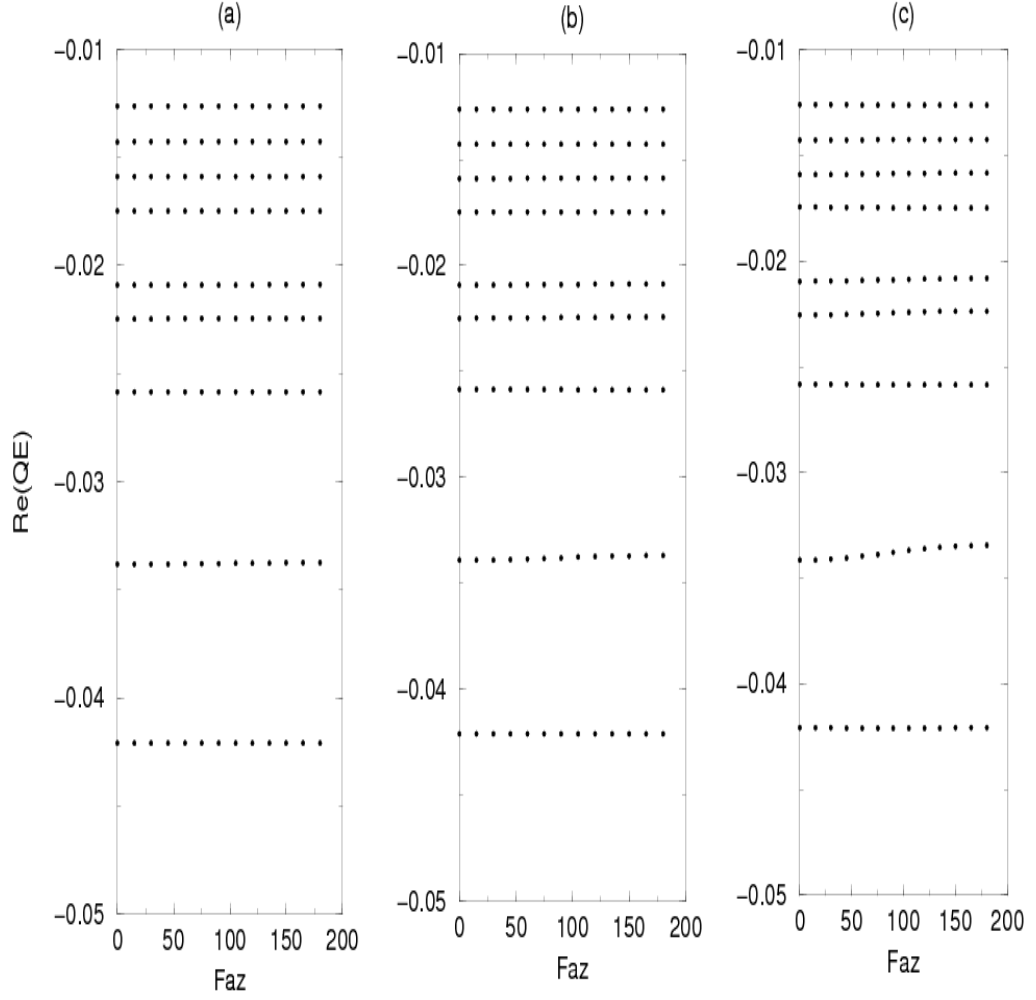
(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
7g	8.40 a.u	9p	11.83 a.u	9s	8.40 a.u
7h	11.87 a.u	7i	8.42 a.u	7f	11.89 a.u
7d	8.50 a.u	8p	12 a.u	8s	8.63 a.u
6h	12.07 a.u	6g	8.65 a.u	6f	12.10 a.u
6d	8.89 a.u	7p	12.43 a.u	7s	9.01 a.u
6p	12.70 a.u	5g	9.12 a.u	5f	12.8 a.u
5d	9.45 a.u	4f	13.216 a.u	6s	9.64 a.u

Uyarılmış durumların taban durum ile rezonansa olduğu şiddet değerleri Tablo-4.2’de belirtilmiştir. Rezonansın oluştuğu şiddetlerde faza bağlı değişimin olacağı beklentisi ile yukarıda belirlenen şiddetlerde faza bağlı değişimler incelenecektir.

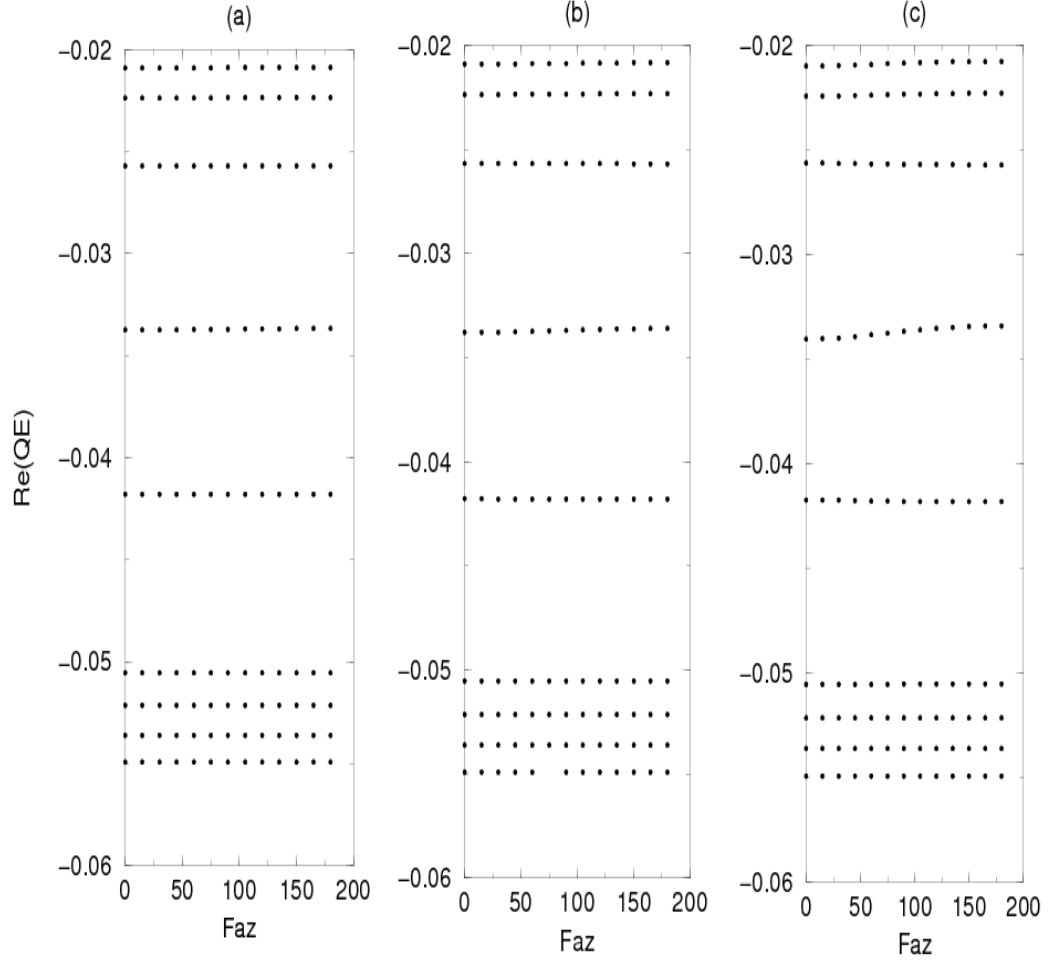
Bu aşamada üçüncü harmonik durumunda rezonans seviyelerine karşılık gelen birkaç α_0 değerini belirleyerek ve harmonik alanın şiddetini değiştirerek faza bağılıkları hem çift hem de tek parite durumlarının reel ve sanal kısımlarının grafikleri aşağıdaki gibidir.



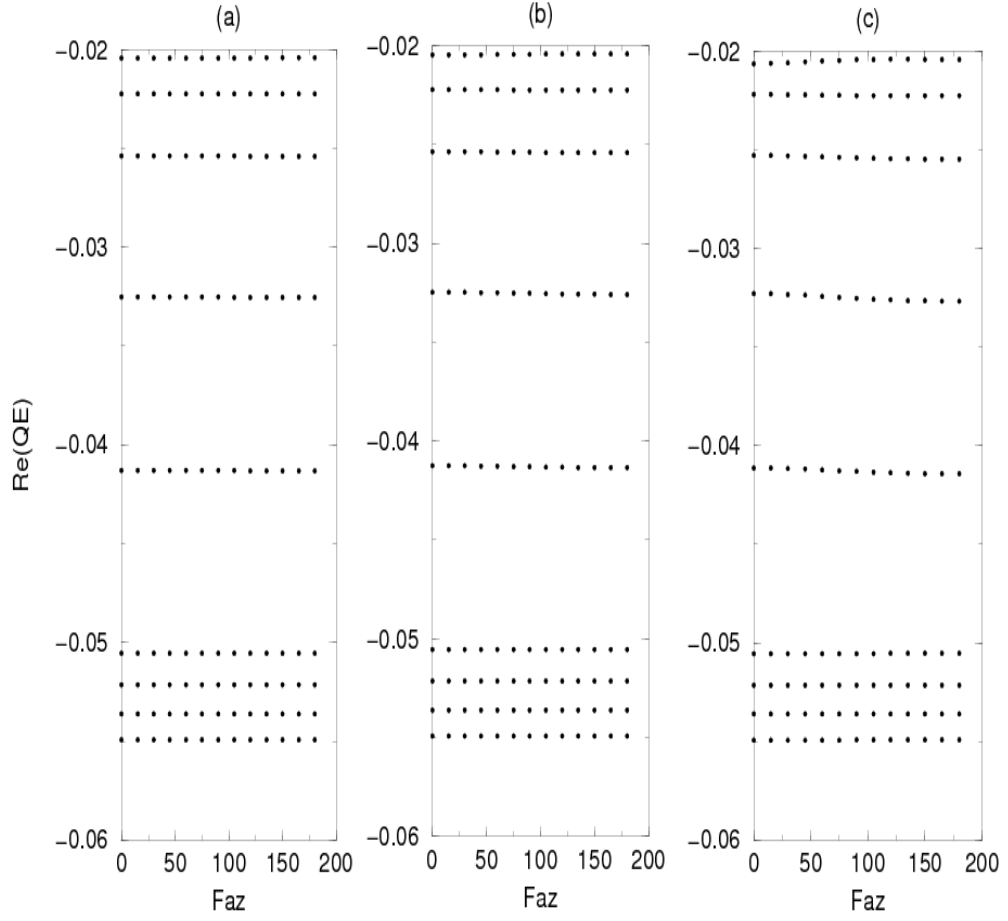
Şekil-4.1: 800 nm Argon atomu için $I_H=11.83$ a.u. değeri ve çift parite durumu için çizilmiştir. (a)Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b)Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, (c)Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.



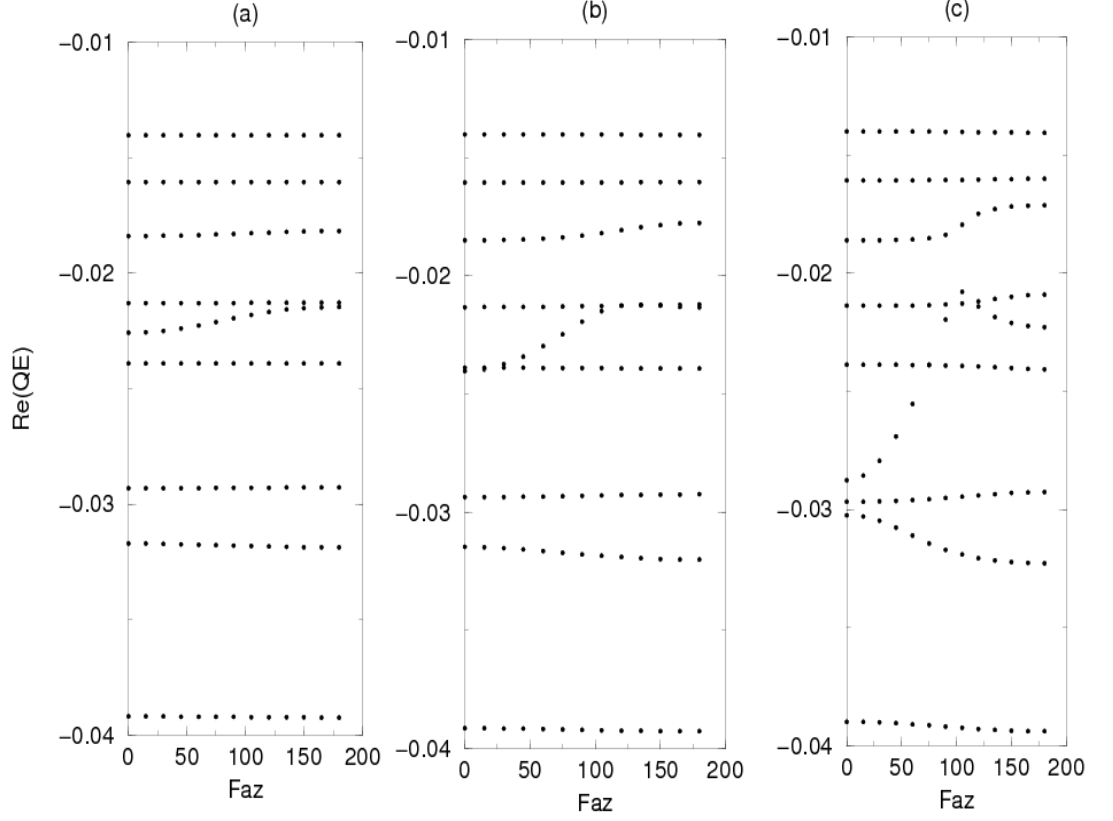
Şekil-4.2: 800 nm Argon atomu için $I_H=12.43$ a.u değeri ve çift parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.



Şekil-4.3: 800 nm Argon atomu için $I_H=12.8$ a.u değeri ve çift parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.



Şekil-4.4: 800 nm Argon atomu için $I_H=13.216$ a.u değeri ve çift parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.



Şekil-4.5: 800 nm Argon atomu için $I_H=15.3$ a.u değeri ve çift parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.1, Şekil-4.2, Şekil-4.3, Şekil-4.4, Şekil-4.5 çift parite durumunda rezonans seviyelerinin quasienerjilerinin reel kısımlarının faza bağlı değişimlerini gösteren grafiklerdir. Grafikler hem faz değişimini hem de değişen harmonik alanın şiddetine bağlı olarak enerji seviyelerinin reel kısımlarındaki değişimi gözlemek amacıyla çizilmiştir. Faza bağlı değişim Şekil-4.1, Şekil-4.2, Şekil-4.3, Şekil-4.4 gözlenmezken, Şekil-4.5’de $I_H=15.3$ a.u değerinde hem faza bağlı değişim hem de harmonik alanın şiddetine bağlı bir değişim görülmektedir.

Bu grafikler için kullanılan değerler Tablo-4.3'deki gibidir;

Tablo-4.3: Çift parite durumunda 800 nm'de $\omega = 0.0569542$ a.u için kullanılan değerler.

Harmonik Alanın Şiddeti I_L	Floquet Harmoniği	I_{\max}	N	Γ	ϕ (Faz)
$I_L=10^{10}$ W/cm ²	-25 30	17	3.	25	0°-180°
$I_L=10^{11}$ W/cm ²	-25 30	17	3.	25	0°-180°
$I_L=10^{12}$ W/cm ²	-25 30	17	3.	25	0°-180°

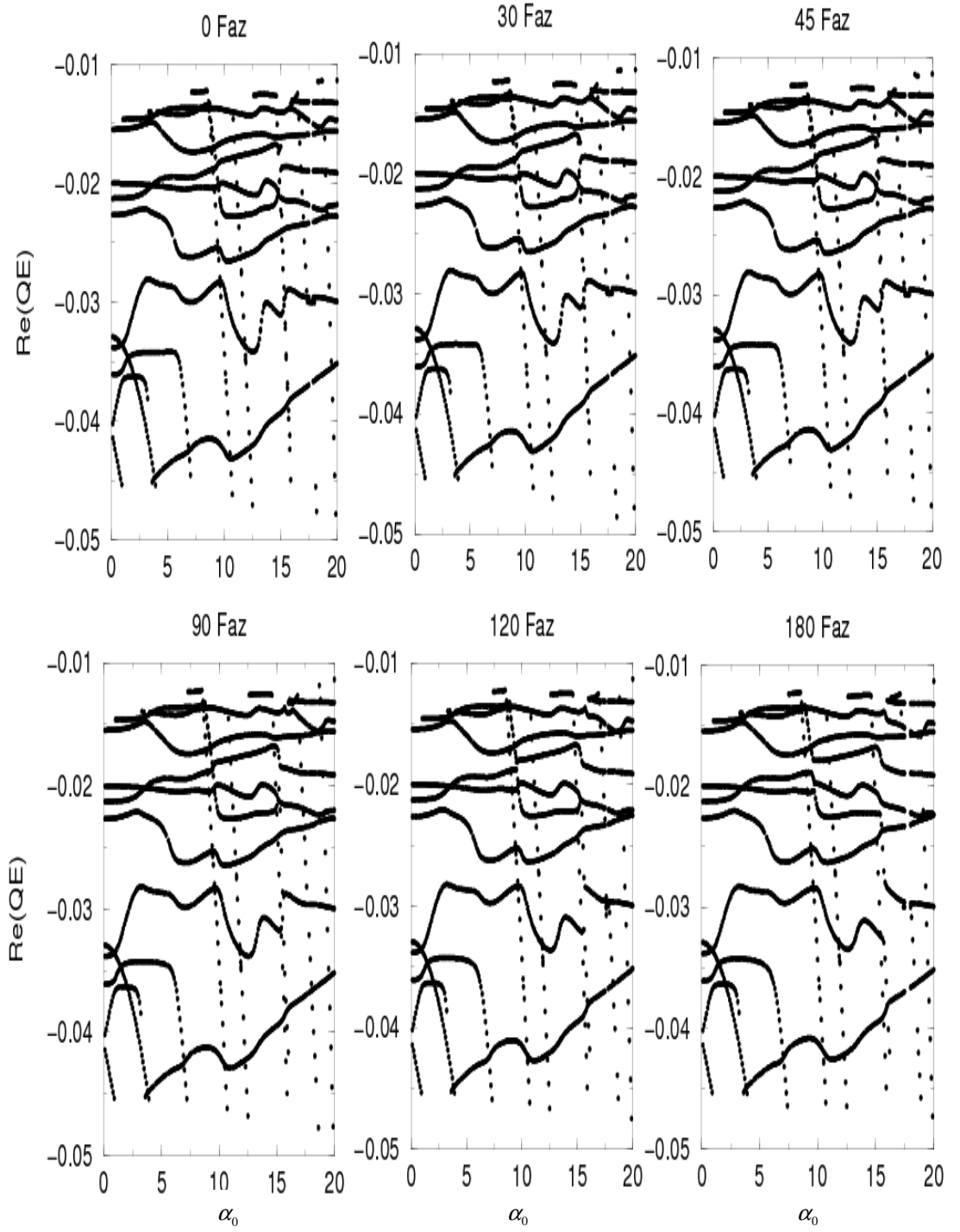
Ayrıca bütün sonuçlar için ayrı ayrı yakınsaklık testi yapılmıştır. Amaç değişimin nedeninin, kaynağın nümerik bir problemde kaynaklanmadığını, değişimin nedenini sadece faza bağlılık olduğunu göstermektir. Bunun için her harmonik alan şiddet değerinde, her faz değeri için bu test ayrı ayrı tekrarlanmaktadır. Aşağıda örnek olarak $I_H=13.216$ a.u değeri ve 0° faz değeri için yakınsaklık testi Tablo-4.4'de verilmiştir.

Tablo-4.4: $I_H=13.216$ a.u değeri ve 0° faz değeri için yakınsaklık testi.

Harmonik Alanın şiddeti	Floquet Harmoniği	Basis Set	I_{max}	N	Γ	ϕ	Enerji Değeri
$I_L=10^{12}$ W/cm ²	-20 30	90	17	3.	25	0°	-2.5266788E-02
$I_L=10^{12}$ W/cm ²	-20 30	80	17	3.	25	0°	-2.5266785E-02
$I_L=10^{12}$ W/cm ²	-20 30	90	19	3.	25	0°	-2.5266788E-02
$I_L=10^{12}$ W/cm ²	-20 30	80	19	3.	25	0°	-2.5266785E-02
$I_L=10^{12}$ W/cm ²	-20 30	80	19	3.	20	0°	-2.5266787E-02
$I_L=10^{12}$ W/cm ²	-25 30	90	17	3.	25	0°	-2.5266788E-02
$I_L=10^{12}$ W/cm ²	-25 30	80	17	3.	25	0°	-2.5266785E-02
$I_L=10^{12}$ W/cm ²	-25 30	90	19	3.	25	0°	-2.5266785E-02
$I_L=10^{12}$ W/cm ²	-25 30	80	19	3.	20	0°	-2.5266787E-02
$I_L=10^{12}$ W/cm ²	-20 25	90	17	3.	25	0°	-2.5266788E-02
$I_L=10^{12}$ W/cm ²	-20 25	80	17	3.	25	0°	-2.5266785E-02
$I_L=10^{12}$ W/cm ²	-20 25	90	19	3.	25	0°	-2.5266788E-02
$I_L=10^{12}$ W/cm ²	-20 25	80	19	3.	25	0°	-2.5266785E-02
$I_L=10^{12}$ W/cm ²	-20 30	90	17	3.	20	0°	-2.5266787E-02

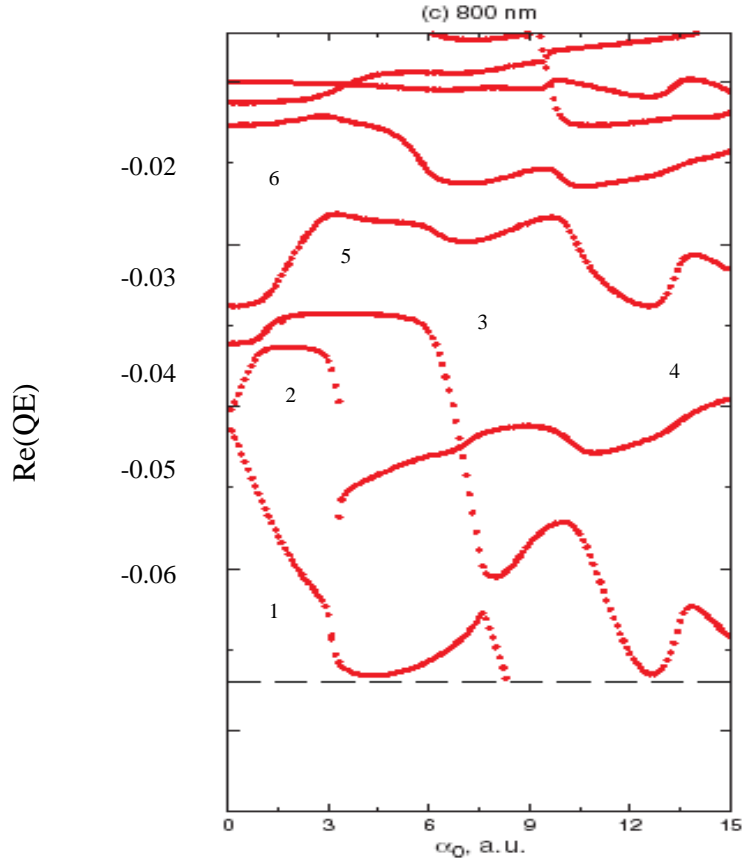
800 nm farklı faz değerleri için aynı şiddet aralığı içerisinde bulunan Argon atomu için quasienerji hesaplandı ve spektrum çift parite durumları için çizildi.

Fundamental alanın şiddetini temsil eden α_0 parametresinin artışı ile quasienerji spektrumunun iki alan arasındaki faz farkına bağlılığında artışın gözlenmesi nedeniyle 800 nm spektrumunun tüm haritasında bu faz farkına bağlı değişimi incelendi. Çift pariteli durumlar için $0^\circ - 30^\circ - 90^\circ - 120^\circ - 180^\circ$ farklı faz değerleri ile elde edilen spektrum Şekil-4.6 ile verilmektedir.



Şekil-4.6: 800 nm’de Argon Atomu için fundamental lazer ile $1 \times 10^{12} \text{ W/cm}^2$ alan şiddetine sahip 3. harmoniğin etkisi altında çift parite durumların $0^\circ - 30^\circ - 90^\circ - 120^\circ - 180^\circ$ farklı faz değerleri için quasienerji spektrumun reel kısmının genliği α_0 ’ a bağlı olarak değişimi.

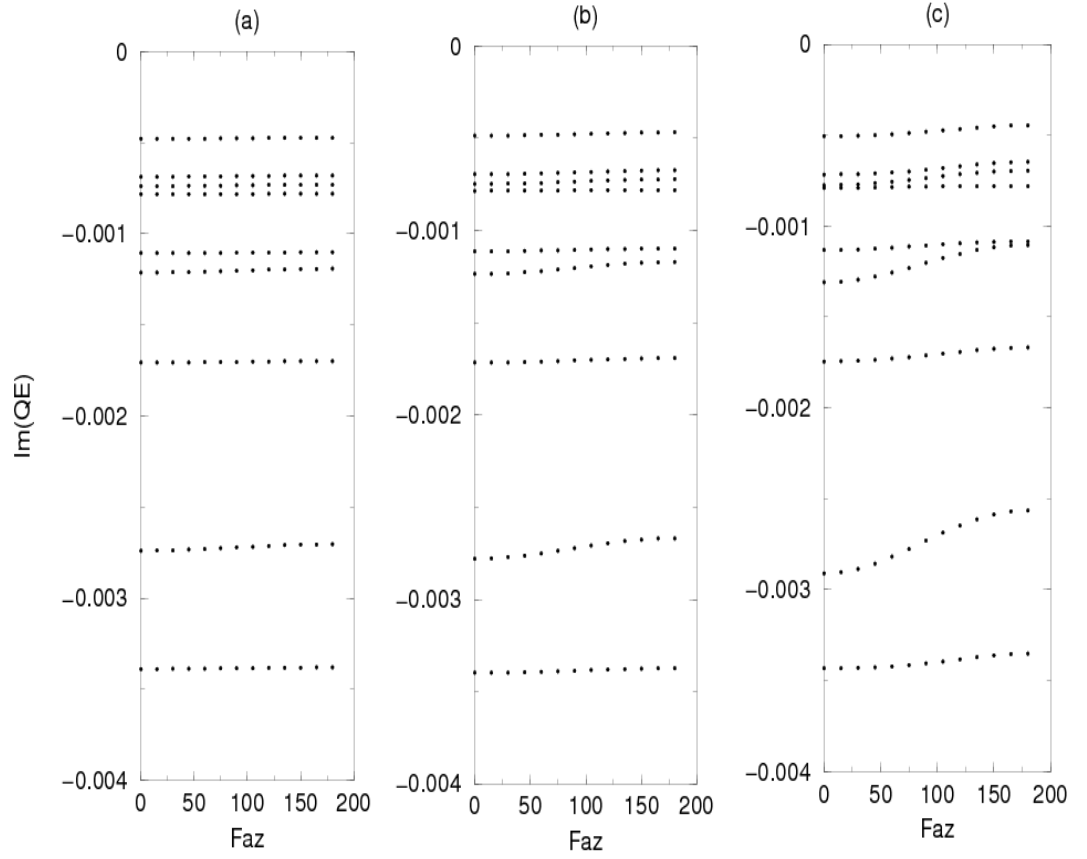
Şekil-4.6'dan her dört spektrumun genel görünümünün aynı olduğu görülmektedir. Özellikle fundamental alan düşük α_0 değerlerinde iki spektrum arasında ciddi bir fark gözlenmemektedir. Yüksek fundamental α_0 değerlerine sahip bölgede, giydirilmiş uyarılmış durumların birbirine yaklaştığı doğrudan ya da "kaçınılmış karşılaşma" kısımlarında, her faz için bu durumlarda değişiklik gözlenmektedir. Ayrıca giydirilmiş uyarılmış durumların taban durum ile karşılaştığı noktalarda da değişimler söz konusudur. Bu da bize yüksek fundamental alan şiddetlerinde oluşan lazer indirgenmiş yozlaşma, harmonik alanın fazına bağlı olarak değiştiğini önermektedir. Ayrıca sıfır faz için elde edilen spektrum tek renk durumunda elde edilen 800 nm spektrumu (Şekil-2.1 son kare) ile karşılaştırıldığında ikinci lazerin giydirilmiş durumların spektrumuna etkisi olduğu gözlenmektedir. Bu ikinci alanın lazer indirgenmiş yozlaşmasını etkilediğini göstermektedir.



Şekil-4.7: Tek renk problemi kapsamında 800 nm ve çift parite durumu için çizilmiş grafik².

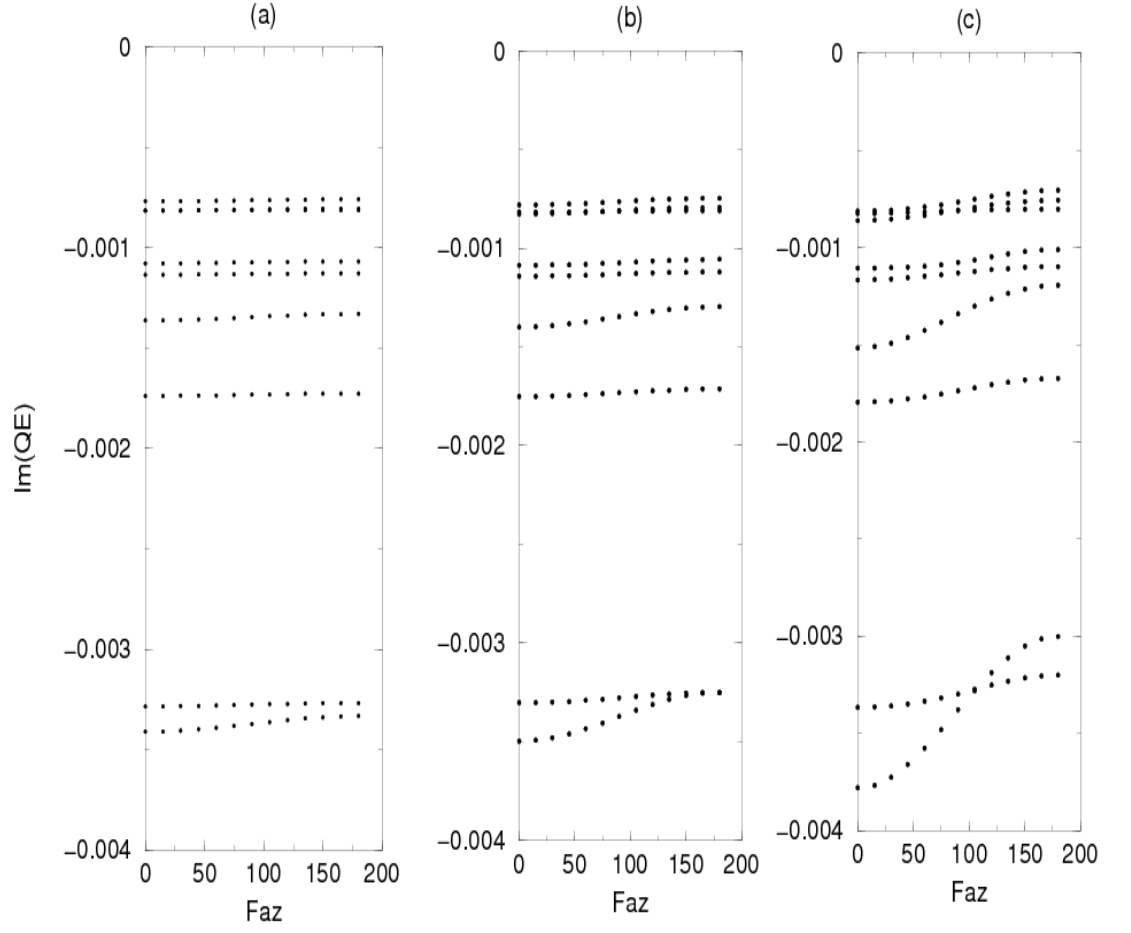
Şekil-4.6'nın son karesi ile literatürde tek renk lazer kullanılarak oluşturulmuş² başka bir çalışma Şekil-4.7 ile kıyaslandığında spektrumda faza bağlı değişim görülmektedir. Özellikle 5 ve 6 olarak etiketlenmiş seviyelerde 0° ve 180° iki ayrı faz değerleri için quasienerji spektrumları karşılaştırıldığında $15 < \alpha_0 < 20$ a.u değerleri arasında büyük bir değişim gözlenmektedir.

Şekil-4.3' de verilen tek pariteli durumlar için tek renk 800 nm Argon spektrumu incelendiği zaman, yüksek alan şiddetlerinde giydirilmiş uyarılmış durumlar birbirine daha yakın olduğu ve doğrudan ve “kaçınılmış” karşılaşma nedeniyle giydirilmiş durumlar arası etkileşme daha fazladır. Bu nedenle çift parite durumları için yapılan iki renk hesabı tek pariteli durumlar için $\alpha_0 = 11.83$ a.u., 12.43 a.u., 12.7 a.u., 12.8 a.u., 13.216 a.u, 14.50 a.u., ve 15.3 a.u fundamental alan şiddetleri dikkate alınarak tekrarlandı. Elde edilen sonuçlar Şekil-4.13- 4.26' da verilmektedir. Bu şekillerden görüleceği üzere beklenildiği gibi quasienerjinin reel ve sanal kısımları iki alan arasındaki faz farkı ile değişmektedir.



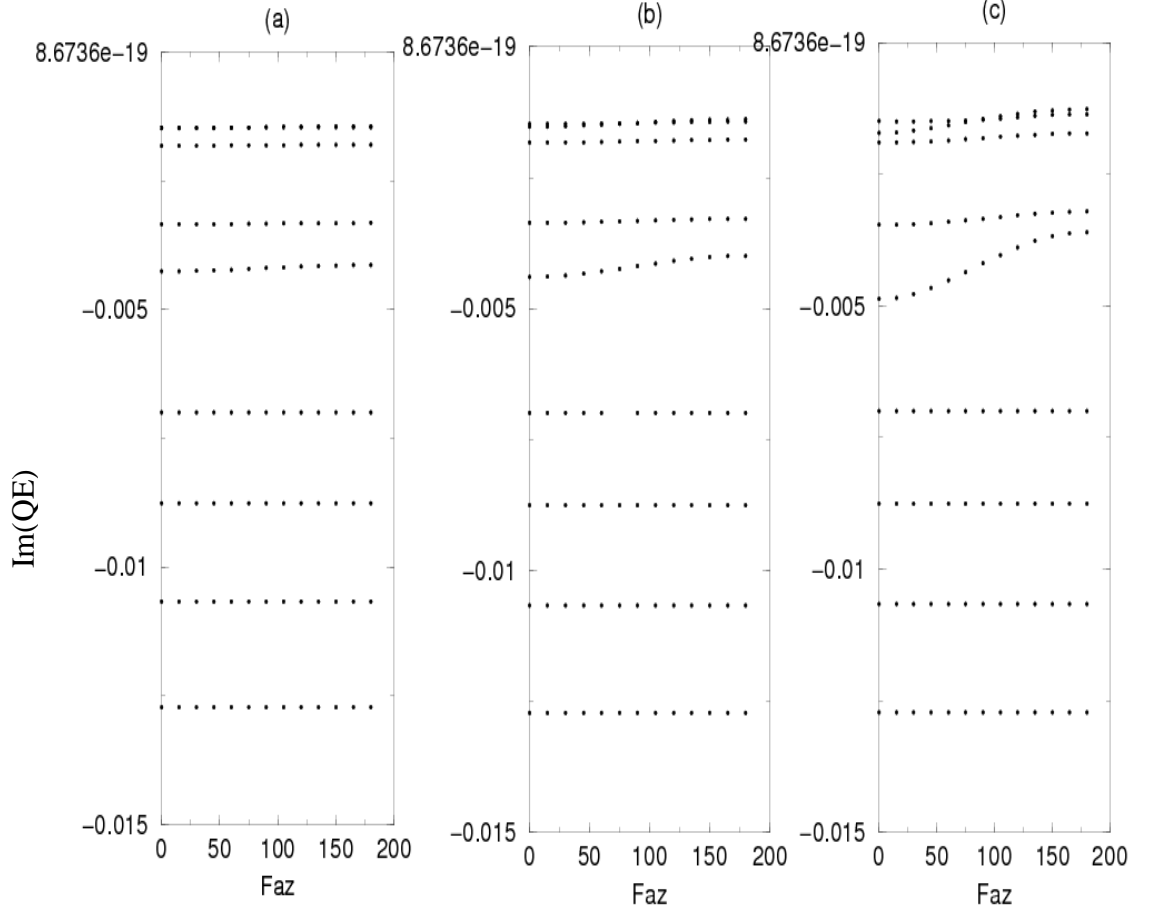
Şekil-4.8: 800 nm Argon atomu için $I_H=11.83$ a.u değeri ve çift parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.8 (c) harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ için yaklaşık 120° faz değerinden itibaren $Re= -0.003$ ve -0.0013 a.u. enerji seviyelerine karşılık gelen değerlerde hem faza bağlı hem de fundamental alanın değişimiyle enerji seviyelerinde değişme gözlenmektedir.



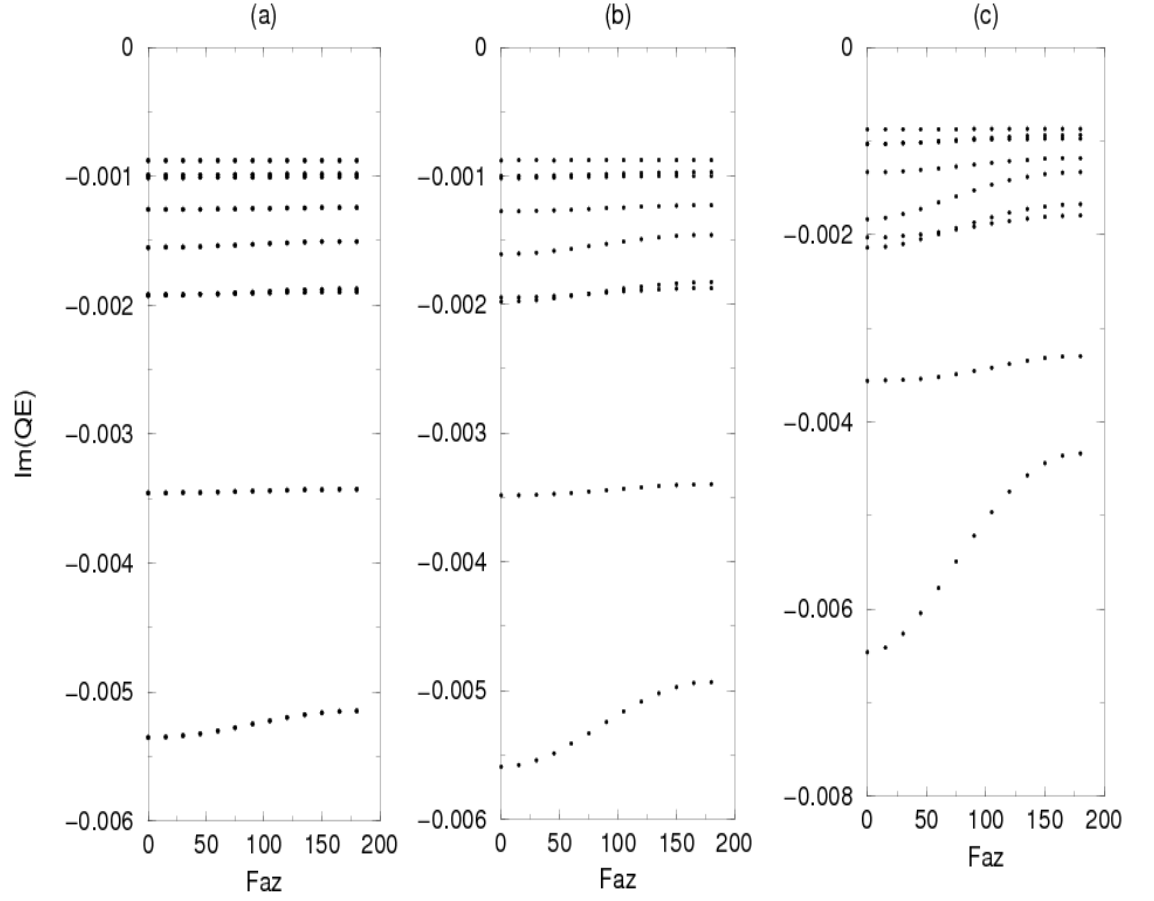
Şekil-4.9: 800 nm Argon atomu için $I_H=12.43$ a.u değeri ve çift parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.9’da harmonik alanın şiddeti değiştikçe 45° faz değerinden itibaren $Re=-0.0038, -0.0015$ a.u. enerji seviyelerine karşılık gelen değerlerde faza bağlı değişme gözlenmektedir.



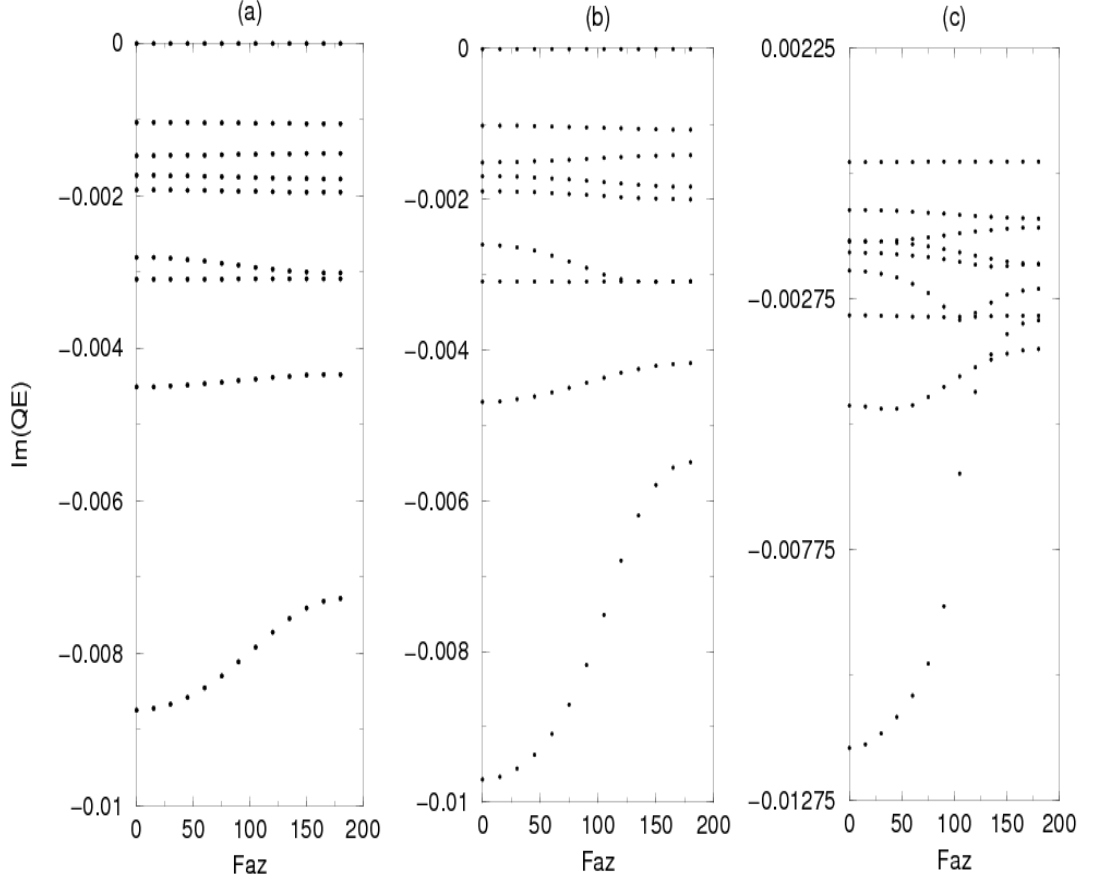
Şekil-4.10: 800 nm Argon atomu için $I_H=12.8$ a.u değeri ve çift parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.10 (c)'de harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde 45° faz değerinden itibaren $Re=-0.005$ enerji seviyesine karşılık gelen değerde faza bağlı değişme gözlenmektedir.



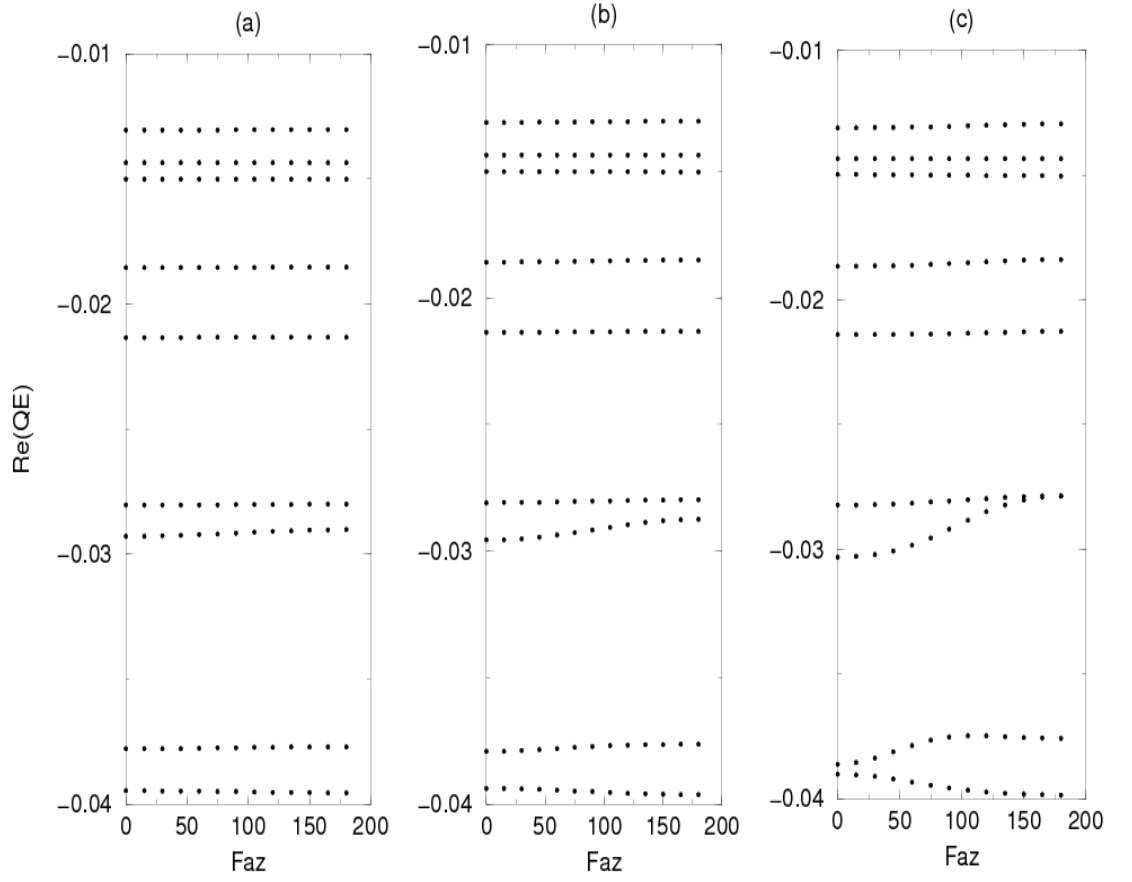
Şekil-4.11: 800 nm Argon atomu için $I_H=13.216$ a.u değeri ve çift parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.11’de harmonik alanın şiddeti değiştikçe 45° faz değerinden itibaren $Re=-0.0055$ ve -0.002 a.u enerji seviyesine karşılık gelen değerde faza karşı değişme gözlenmektedir.



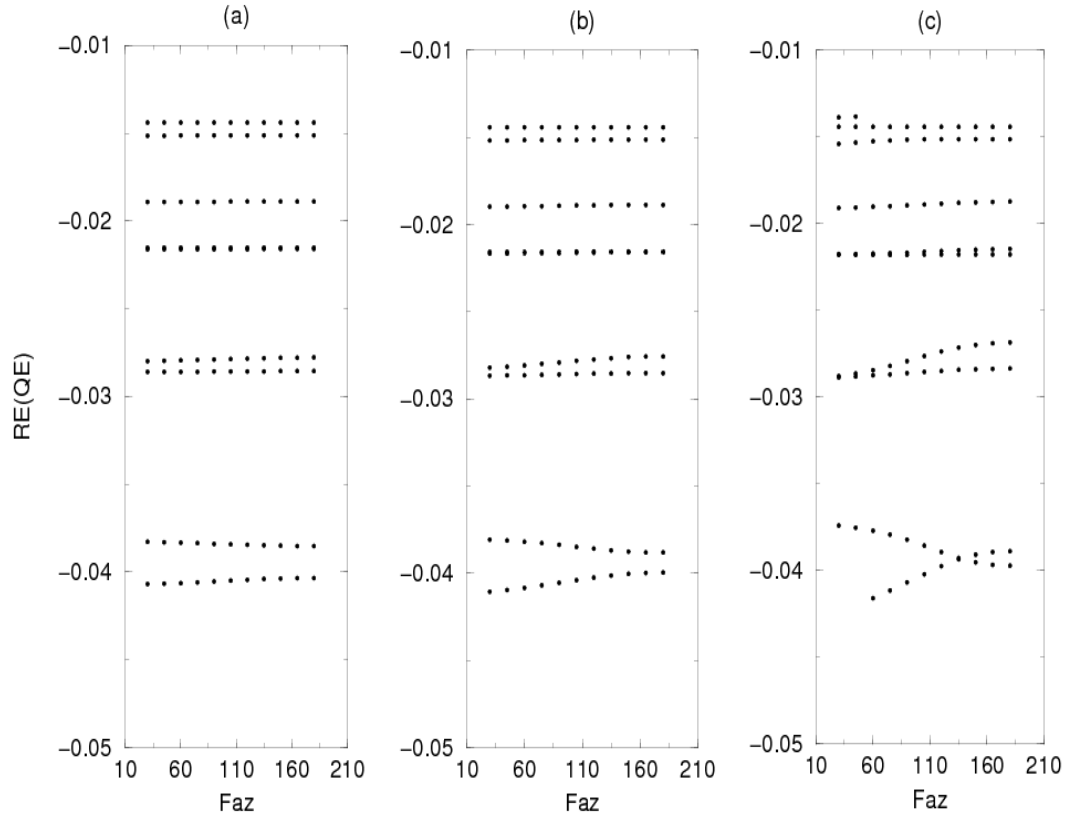
Şekil-4.12: 800 nm Argon atomu için $I_H=15.3$ a.u değeri ve çift parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.12’de hem harmonik alanın şiddeti değiştikçe hem de faz değeri değiştikçe enerji seviyelerinde büyük değişme gözlenmektedir.



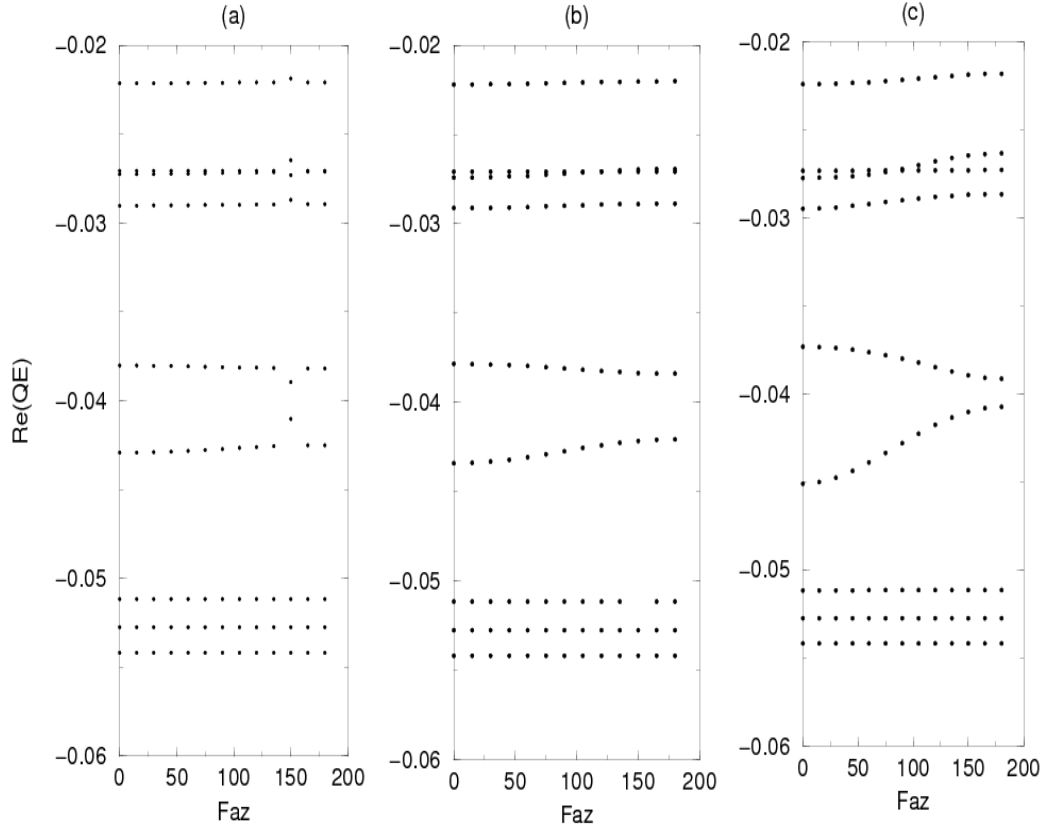
Şekil-4.13: 800 nm Argon atomu için $I_H=11.83$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.13’de harmonik alanın şiddeti değiştikçe 60° faz değerinden itibaren $Re=-0.03$ ve -0.039 a.u enerji seviyesine karşılık gelen değerde faza karşı değişme gözlenmektedir.



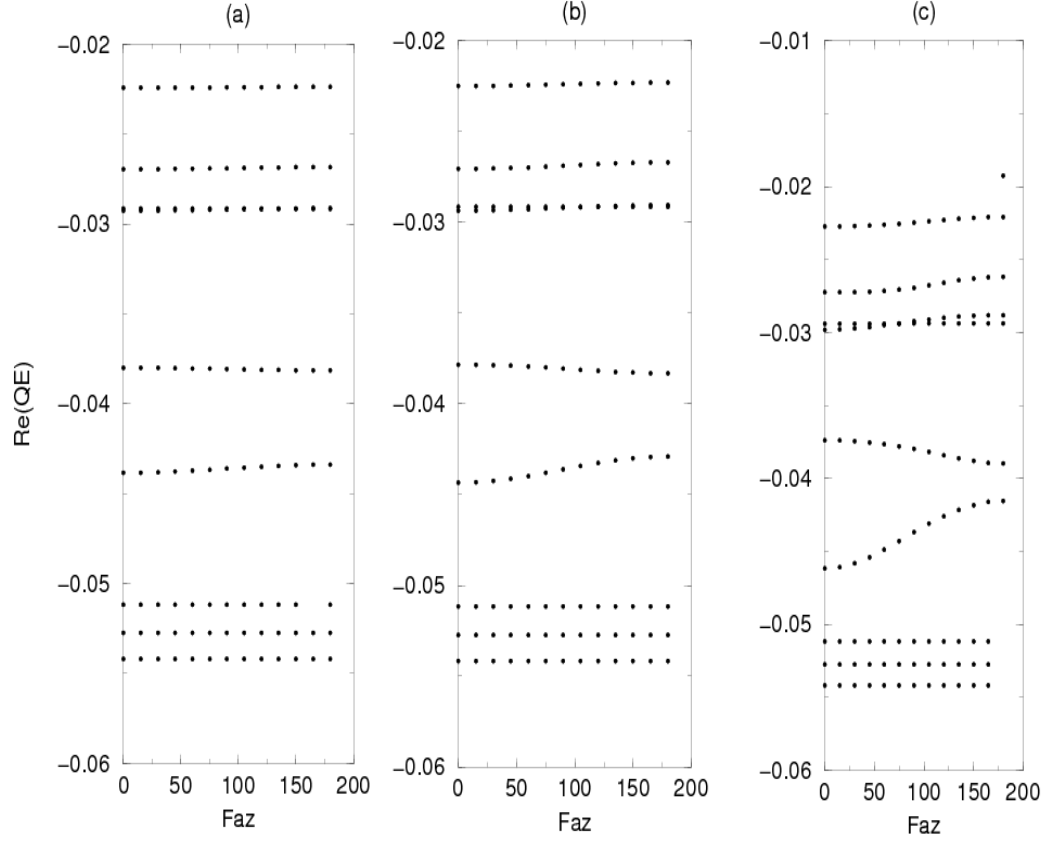
Şekil-4.14: 800 nm Argon atomu için $I_H=12.43$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.14’de harmonik alanın şiddeti değiştikçe yaklaşık 60° faz değerinden itibaren $Re= -0.04$ a.u karşılık gelen iki enerji seviyesinde ve $Re=-0.03$ a.u karşılık gelen her iki enerji seviyesi faza ve fundamental alana bağlı değişim gözlenmektedir.



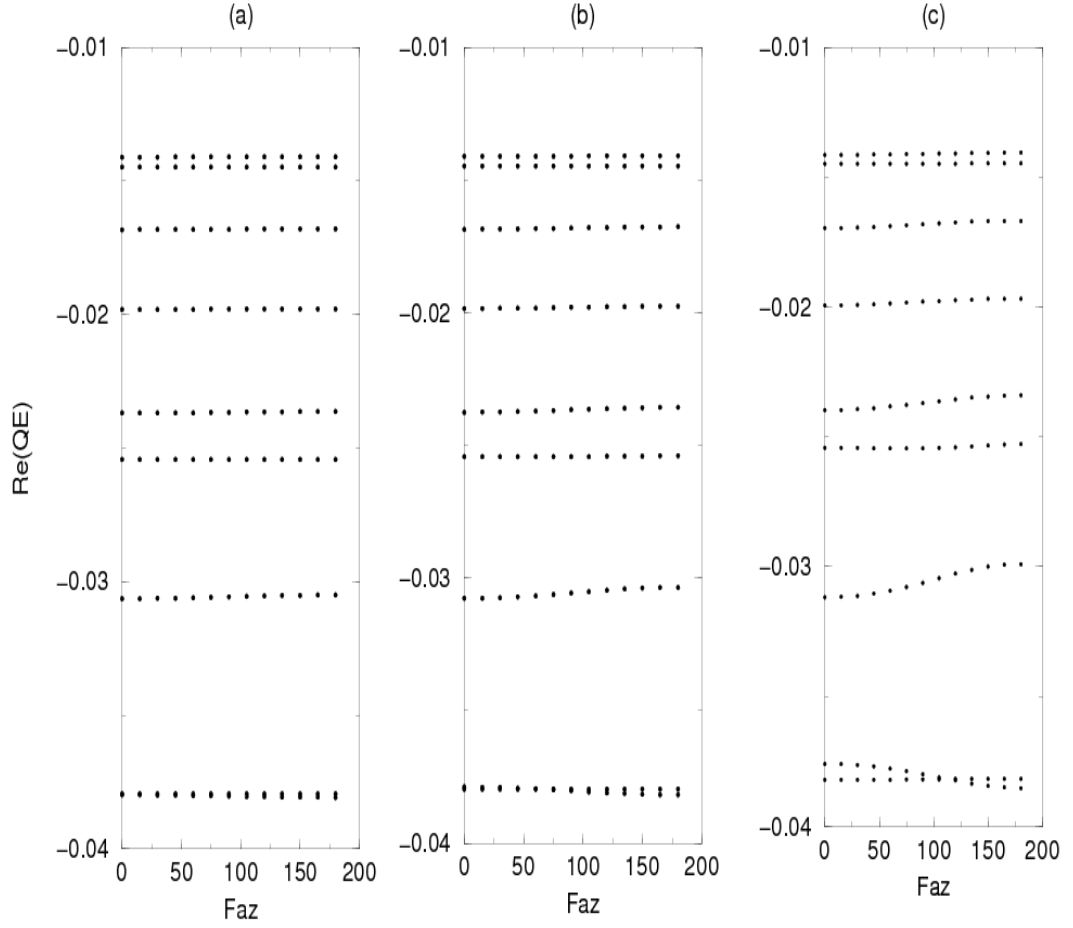
Şekil-4.15: 800 nm Argon atomu için $I_H=12.7$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.15’de harmonik alanın şiddeti değiştikçe 90° faz değerinden itibaren $Re=-0.045$, -0.038 ve -0.028 a.u enerji seviyesine karşılık gelen değerlerde faza karşı değişim gözlenmektedir.



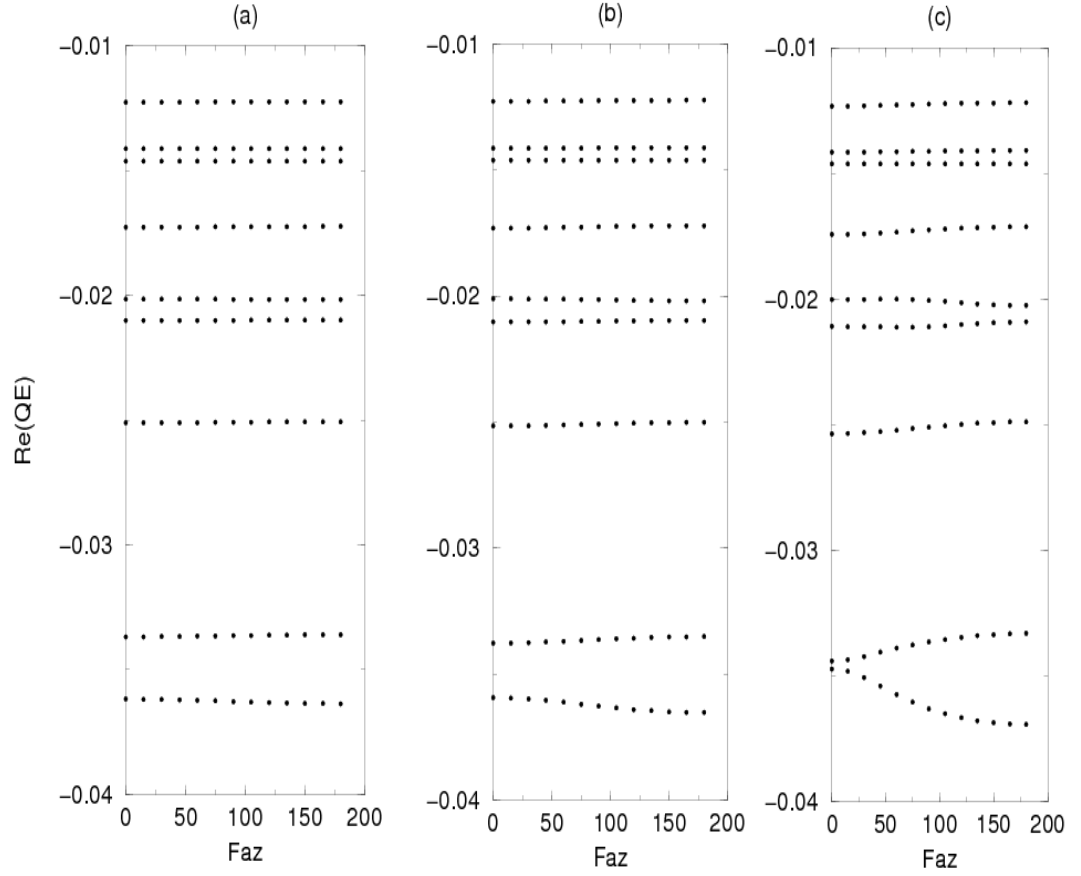
Şekil-4.16: 800 nm Argon atomu için $I_H=12.8$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.16’da harmonik alanın şiddeti değiştikçe 60° faz değerinden itibaren $Re= -0.045, -0.035$ ve -0.03 a.u. enerji seviyesine karşılık gelen değerlerde faza bağlı değişim gözlenmektedir.



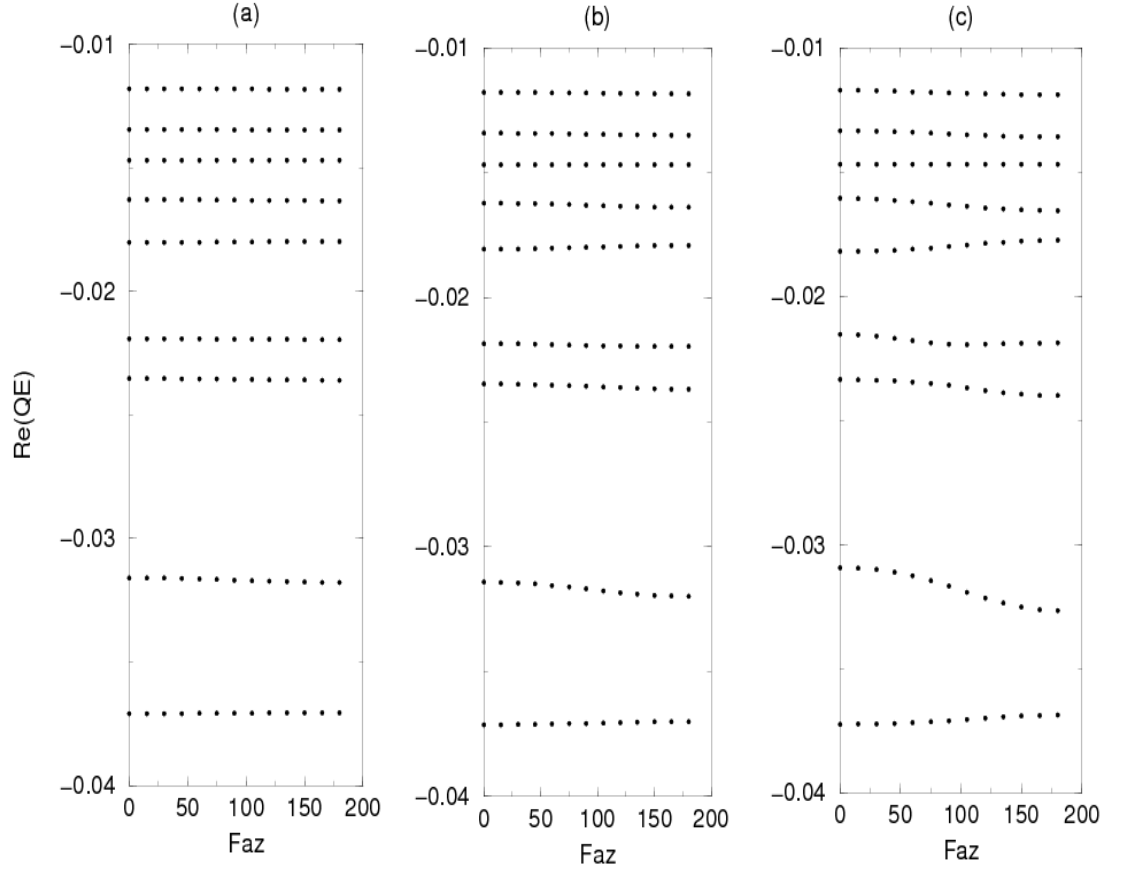
Şekil-4.17: 800 nm Argon atomu için $I_H=13.216$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.17’de harmonik alanın şiddeti değiştikçe 60° faz değerinden itibaren $Re=-0.045, -0.038$ a.u. enerji seviyesine karşılık gelen değerlerde faza karşı değişme gözlenmektedir.



Şekil-4.18: 800 nm Argon atomu için $I_H=14.50$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

Şekil-4.18(c)'de harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ de 0° faz değerinden itibaren $Re=-0.035$ a.u. enerji seviyesine karşılık gelen iki seviyede hem faza hem de fundamental alanın değişmesiyle quasienerji seviyelerinde farklılık gözlenmektedir.



Şekil-4.19: 800 nm Argon atomu için $I_H=15.3$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin reel kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

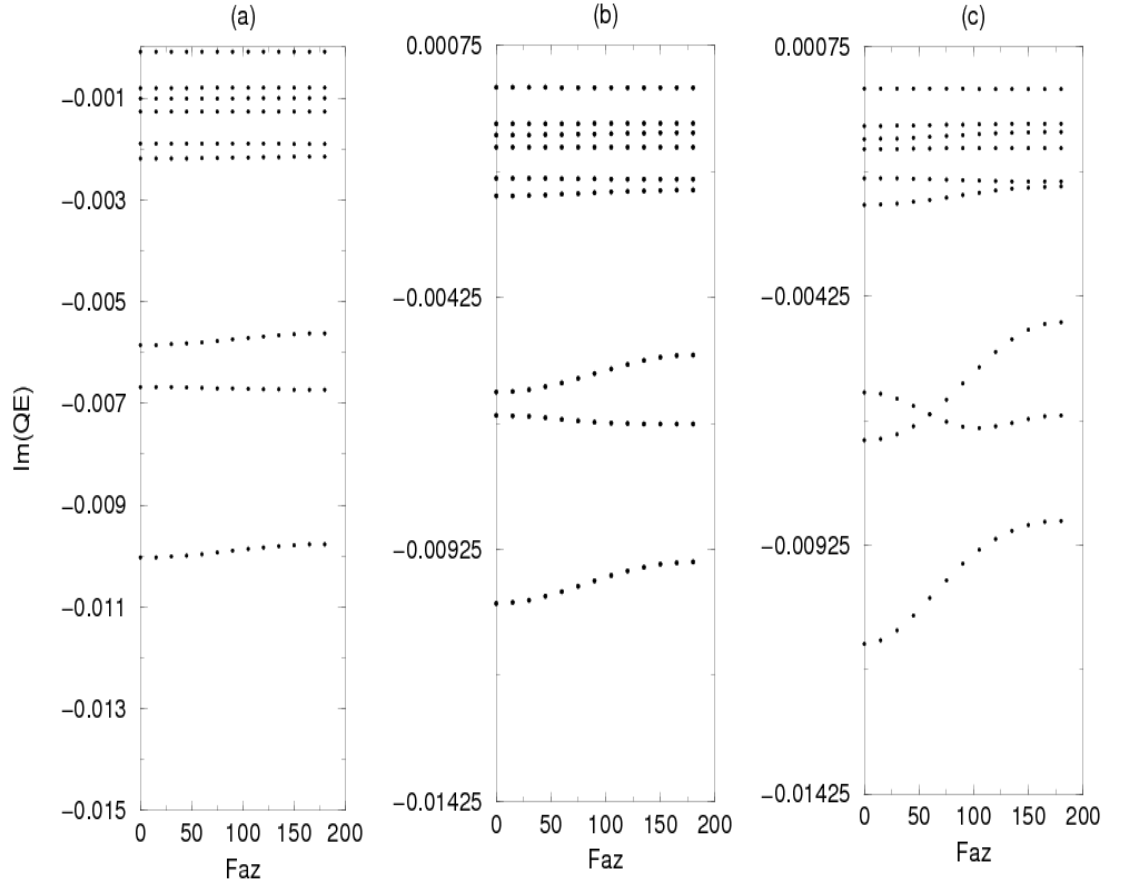
Şekil-4.13, Şekil-4.14, Şekil-4.15, Şekil-4.16, Şekil-4.17, Şekil-4.18, Şekil-4.19 tek parite durumunda, quasienerjilerinin reel kısımlarının faza bağlı değişimlerini gösteren grafiklerdir. Bu grafikler için kullanılan değerler Tablo-4.5'de belirtilmiştir.

Tablo-4.5: Tek parite durumundaki grafiklerimizde 800 nm'de $\omega = 0.0569542$ a.u için kullanılan değerler.

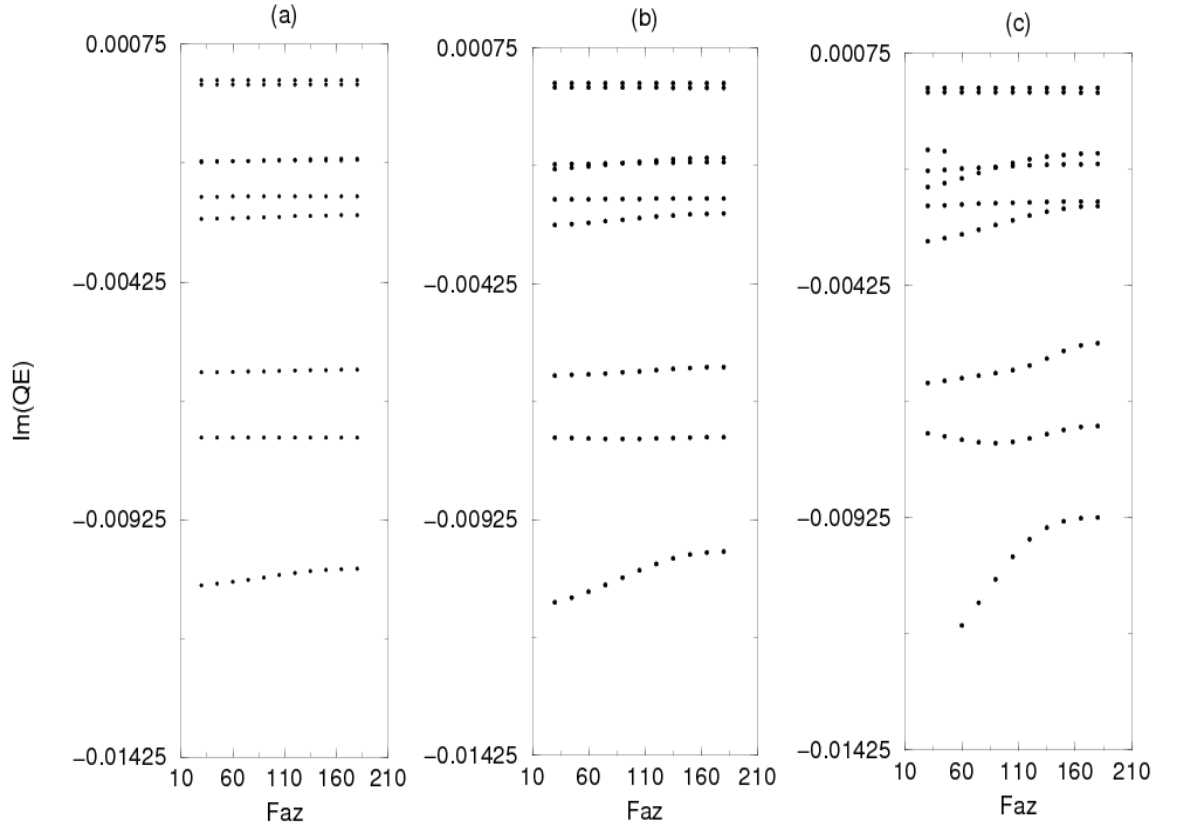
	Floquet Harmoniği	l_{\max}	N	Γ	ϕ
$I_L=10^{10}$ W/cm ²	-25 30	17	3.	25	0-180°
$I_L=10^{11}$ W/cm ²	-25 30	17	3.	25	0-180°
$I_L=10^{12}$ W/cm ²	-25 30	17	3.	25	0-180°

Rezonans durumundaki seviyelere karşılık gelen birkaç α_0 değerini belirleyip harmonik alanının şiddetini değiştirerek, faza bağlı değişim tek parite durumu için gözlenmiştir. Şekil-4.13 ve Şekil-4.19 sırasıyla 800 nm dalga boylu ve $\alpha_0 = 11.83$ a.u. ve 15.3 a.u şiddetine sahip fundamental alan ve kendi 3. harmoniği ile birlikte Argonun etkileşmesiyle giydirilmiş tek pariteli durumların quasienerji değerlerinin reel kısmının ve Şekil-4.20 ve Şekil-4.26'da sanal kısmının faza bağlı değişimini göstermektedir. Bu dört şekilde de bazı giydirilmiş uyarılmış durumların faza bağlı olarak değiştiği gözlenmektedir. Ancak bu değişimin çift pariteli durumlarda olduğu gibi düşük fundamental alan şiddetine karşılık gelen küçük α_0 değerlerinde daha az ve büyük α_0 değerlerinde daha fazla olduğu gözlenmektedir. Ayrıca büyük harmonik alan şiddetlerinde faza bağlı olarak quasienerjinin reel ve sanal kısımlarında, değişimin belirginleştiği açıktır. Alan şiddetinin artışı ile oluşan bu değişimler beklenen tedirginmesiz etkileri göstermektedir. Fundamental alan şiddetlerinde elde ettiğimiz gözlemi güçlendirmek amacıyla Şekil-2.3 son karesiyle

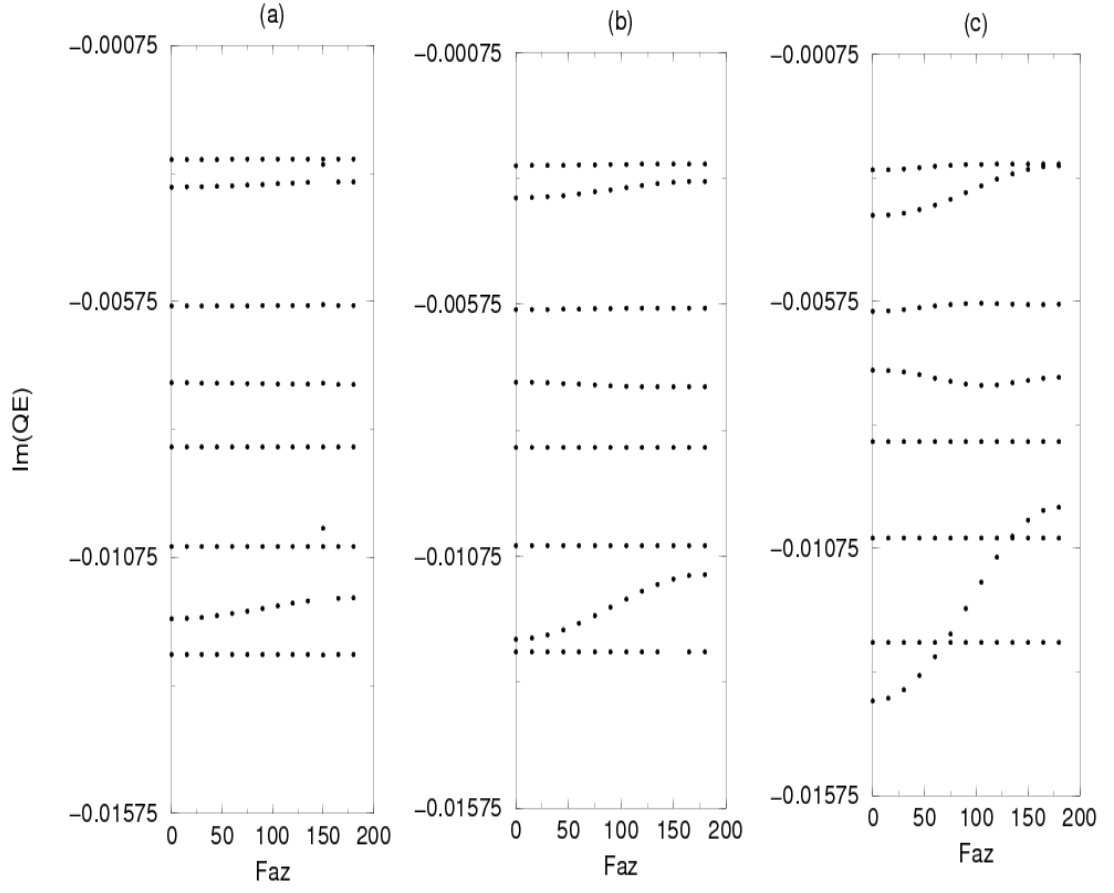
verilen tüm tek pariteli 800 nm spektrumu, iki alan arasındaki faz farkı $0^\circ - 30^\circ - 45^\circ - 90^\circ - 120^\circ - 180^\circ$ derece olduğu zaman için hesaplanmış olup bu durum için quasienerjinin reel kısmını gösteren harita Şekil-4.27 ile verilmektedir.



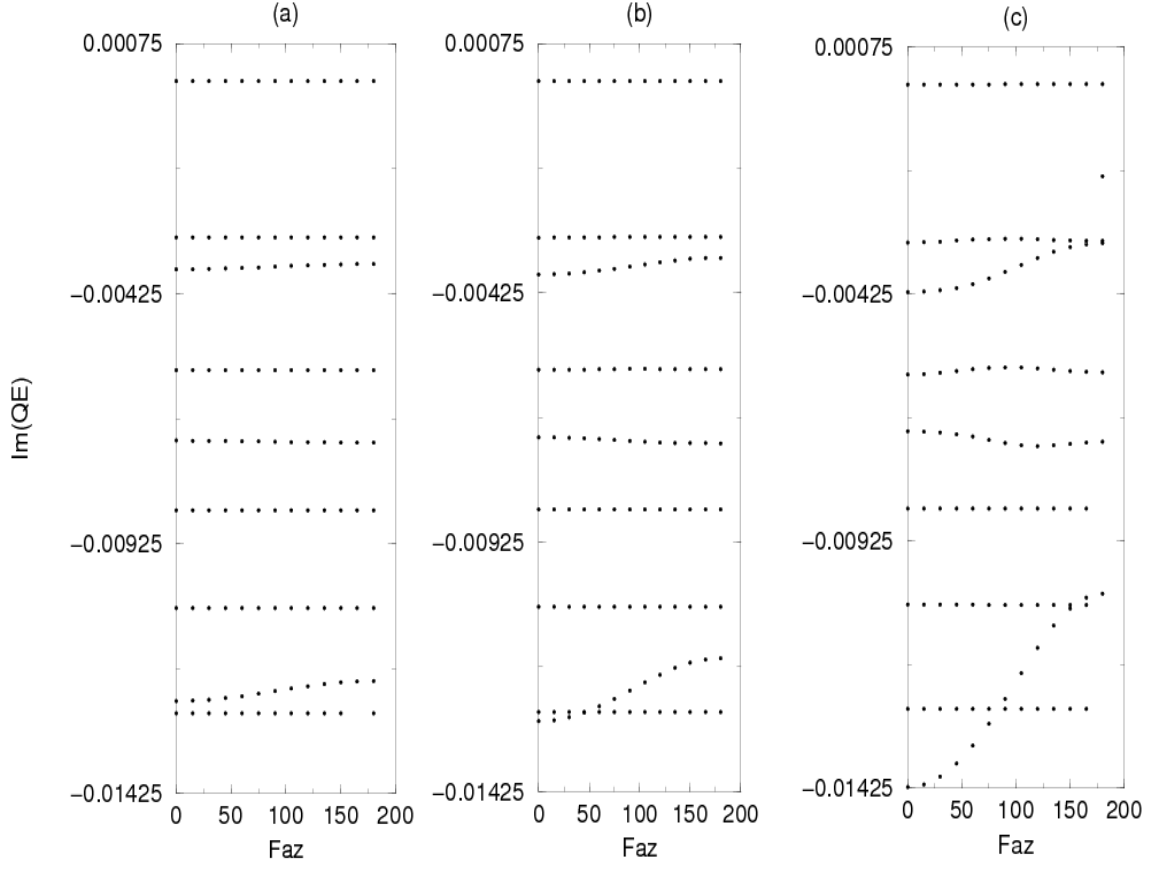
Şekil-4.20: 800 nm Argon atomu için $I_H=11.83$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.



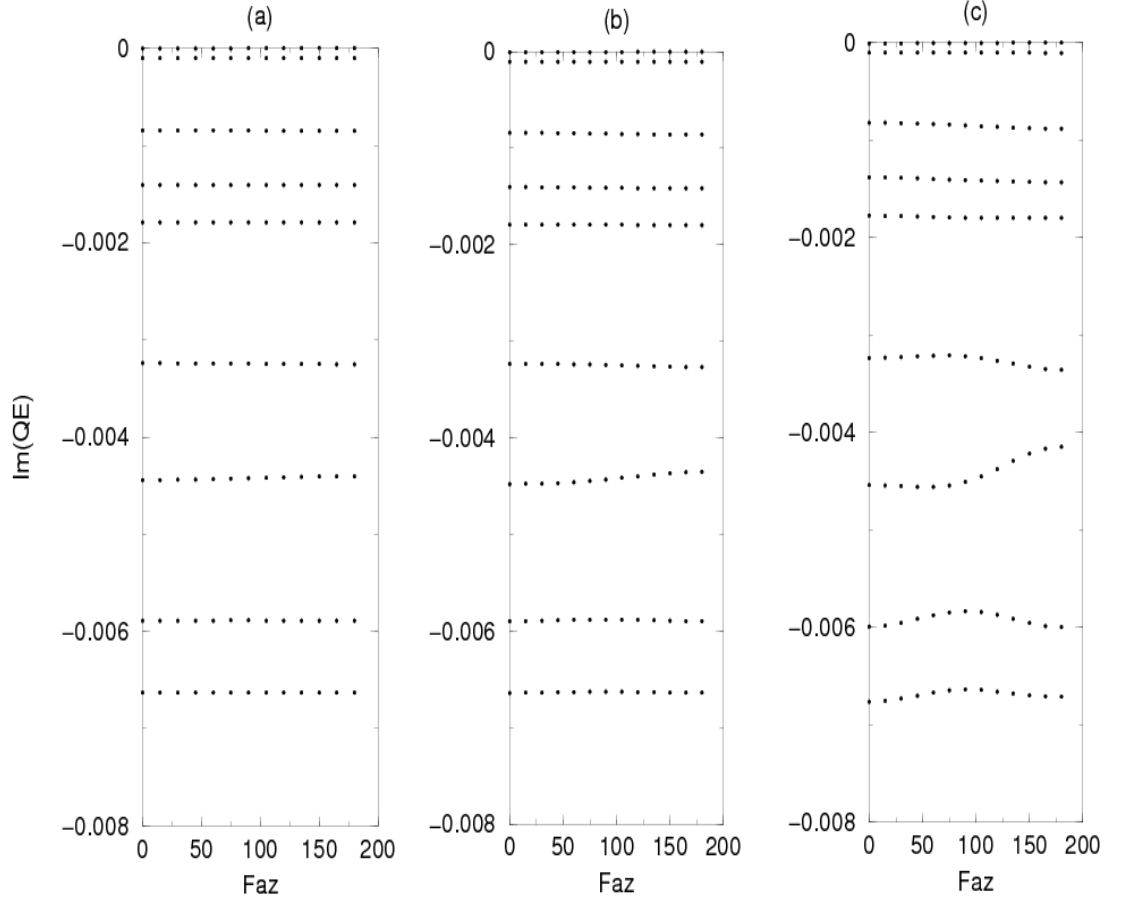
Şekil-4.21: 800 nm Argon atomu için $I_H=12.43$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.



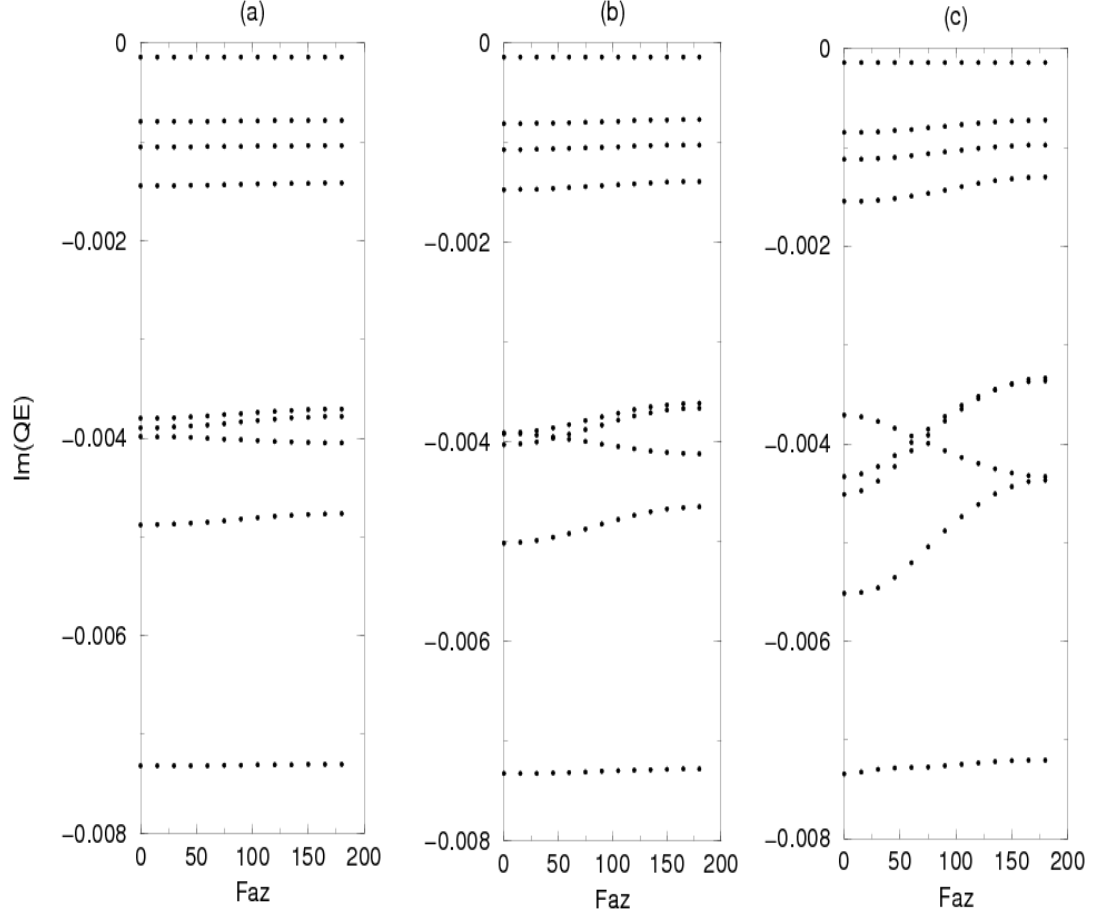
Şekil-4.22: 800 nm Argon atomu için $I_H=12.7$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.



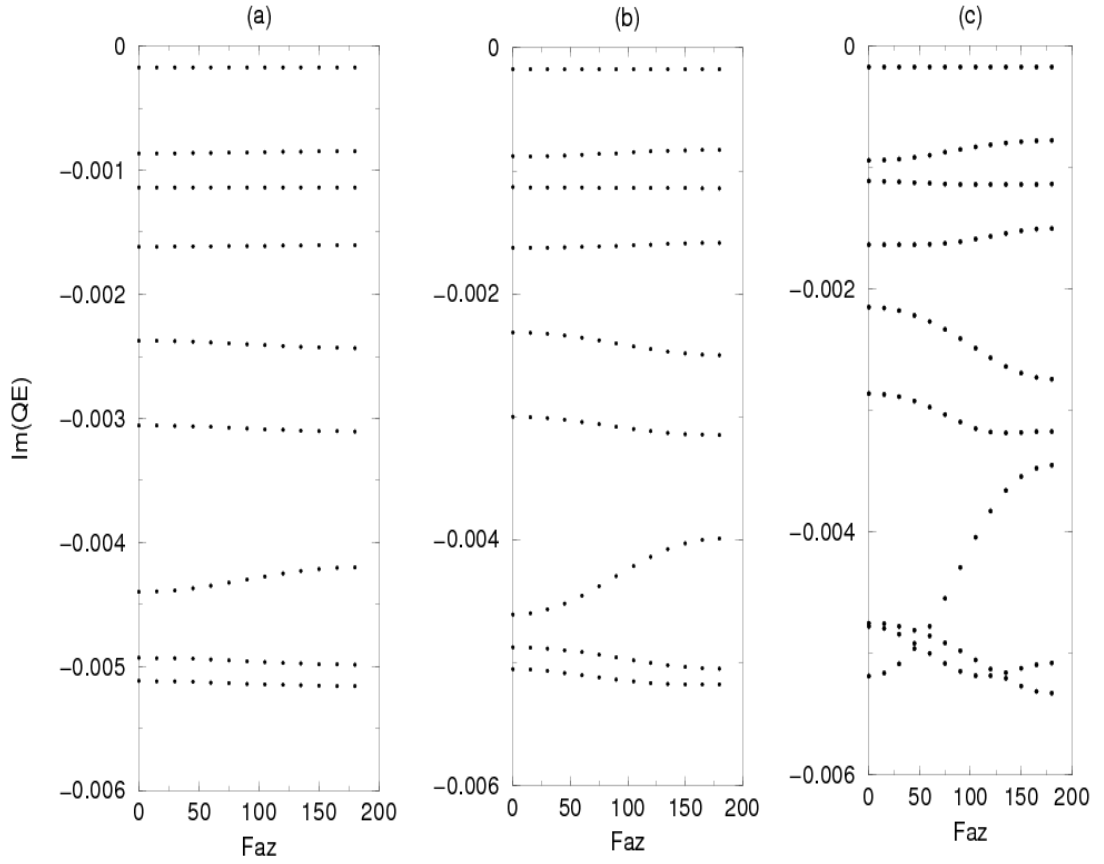
Şekil-4.23: 800 nm Argon atomu için $I_H=12.8$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.



Şekil-4.24: 800 nm Argon atomu için $I_H=13.216$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

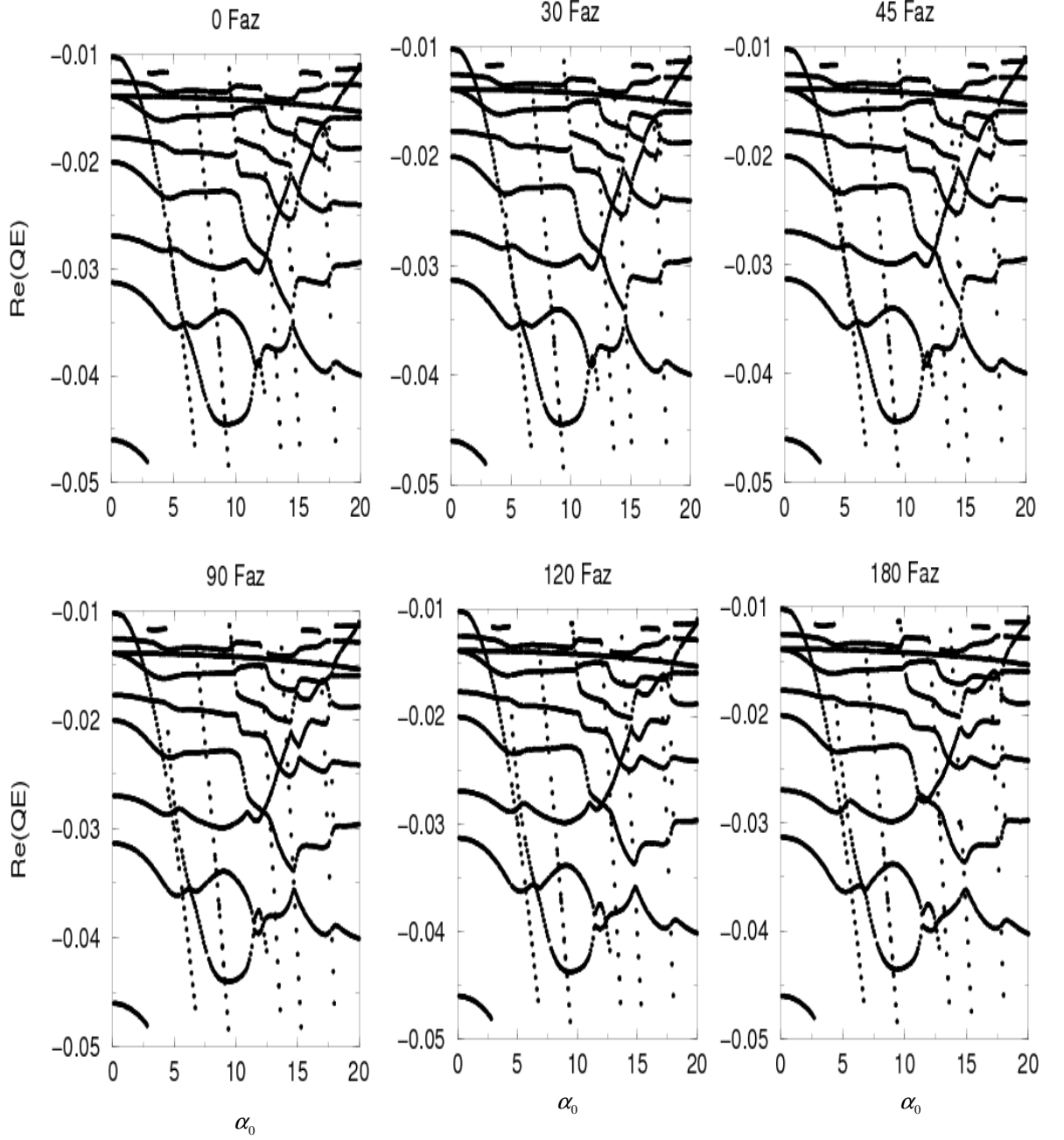


Şekil-4.25: 800 nm Argon atomu için $I_H=14.5$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.



Şekil-4.26: 800 nm Argon atomu için $I_H=15.5$ a.u değeri ve tek parite durumu için çizilmiştir. (a) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{10}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (b) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{11}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir. (c) Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ değerinde, enerjinin sanal kısmının değişen faz değerlerine karşı grafiğidir.

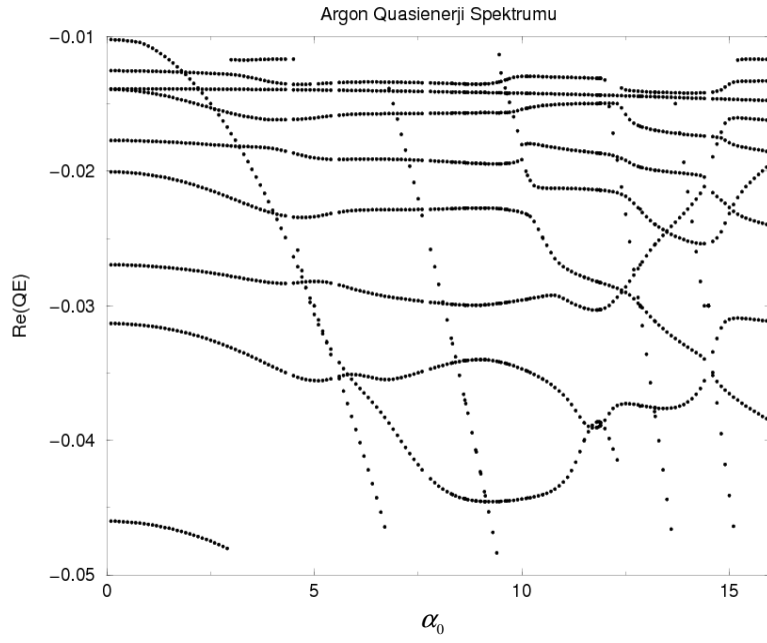
Şekil-4.20, Şekil-4.21, Şekil-4.22, Şekil-4.23, Şekil-4.24, Şekil-4.25, Şekil-4.26 tek parite durumunda, quasienerjilerinin sanal kısımlarında hem harmonik alanın değişimi hem de faz farkına bağlı olarak enerji seviyelerinde değişim gözlemlenmiştir.



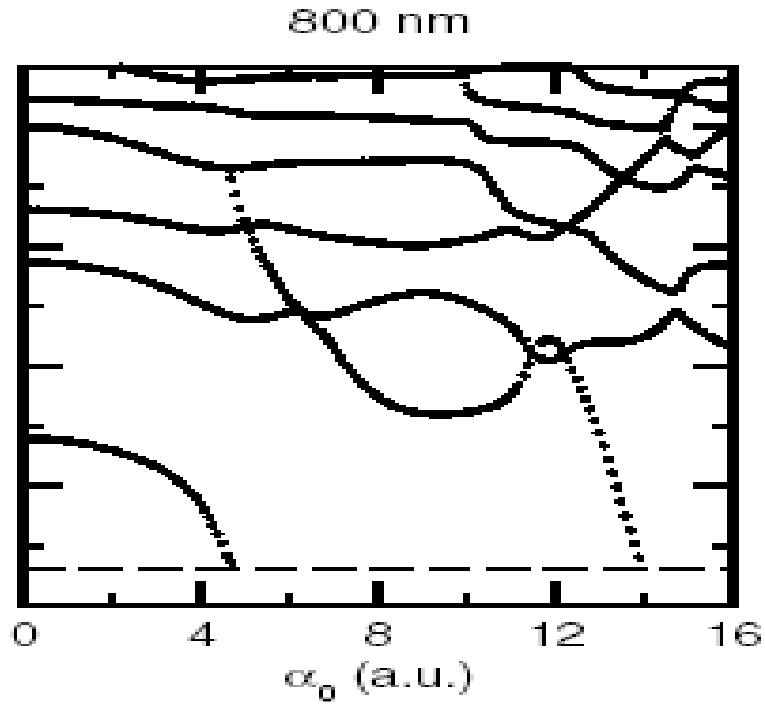
Şekil-4.27: 800 nm ve harmonik alan ile 1×10^{12} W/cm² alan şiddetine sahip 3. harmoniğin etkisi altında Argonun tek parite durumlarının $0^\circ - 30^\circ - 90^\circ - 120^\circ - 180^\circ$ farklı faz değerleri için quasienerji spektrumun reel kısmının fundamental alan şiddetinin α_0 a.u.'a bağlı olarak değişimi.

Şekil-4.27 800 nm’de üçüncü harmonik ve tek parite durumu için Argon atomunun quasienerji spektrumu $0^\circ - 30^\circ - 90^\circ - 120^\circ - 180^\circ$ faz değeri için çizilmiştir. Farklı faz değerleri için çizilen spektrumdaki farklılıklar açıkça görülmektedir. Bu farklılık özellikle $10 < \alpha_0$ (a.u) < 20 değerlerinde belirgindir. Bu durumda tamamen iki renk probleminde renklerin frekanslarının tam sayı oranlı olduğu zaman faza bağlılık söz konusudur. Bu spektrumdaki rezonans yapı, birçok giydirilmiş seviyeden diğerlerine geçiş sırasında iyonlaşmadan kaynaklanır. Alternatif olarak eğer bu transfer ya hiç ya da çok az ise iyonlaşma giydirilmiş taban enerji seviyelerinde gerçekleşir. Aynı spektrum 5. ve 7. harmonikler için de çizilmiştir.

Şekil-2.1’in ilk karesi ile Şekil-4.27’nin ilk karesinde verilen spektrum karşılaştırıldığında, harmonik alanın varlığı quasienerji spektrumunu etkilediği gözlenmektedir. Giydirilmiş durumlarda oluşan lazer indirgenmiş değişen enerji seviyelerini değiştirmektedir. Yine Şekil-4.27’de farklı fazlar için çizilen spektrum birbiriyle karşılaştırıldığında zaman büyük fundamental alan şiddetlerinde ($\alpha_0 > 10$ a.u) spektrumda değişiklikler gözlenmektedir. Yüksek alan şiddetlerinde bir biri ya da taban durum ile doğrudan ya da “kaçınılmış karşılaşma” bölgelerinde giydirilmiş uyarılmış durumlar etkileşmektedir. Bu etkileşmeler alanlar arasındaki faz farkı ile de değişmektedir. Bu da bize iki alanda hareket eden aktif elektronun yörüngesinin alanlar arasındaki faz farkına bağlı olarak değiştiğini önerir. Yine bu etkileşmeye örnek olarak literatürde tek renk lazer kullanılarak elde edilen spektrumla karşılaştırması Şekil-4.28 ve Şekil-4.29’da verilmiştir.

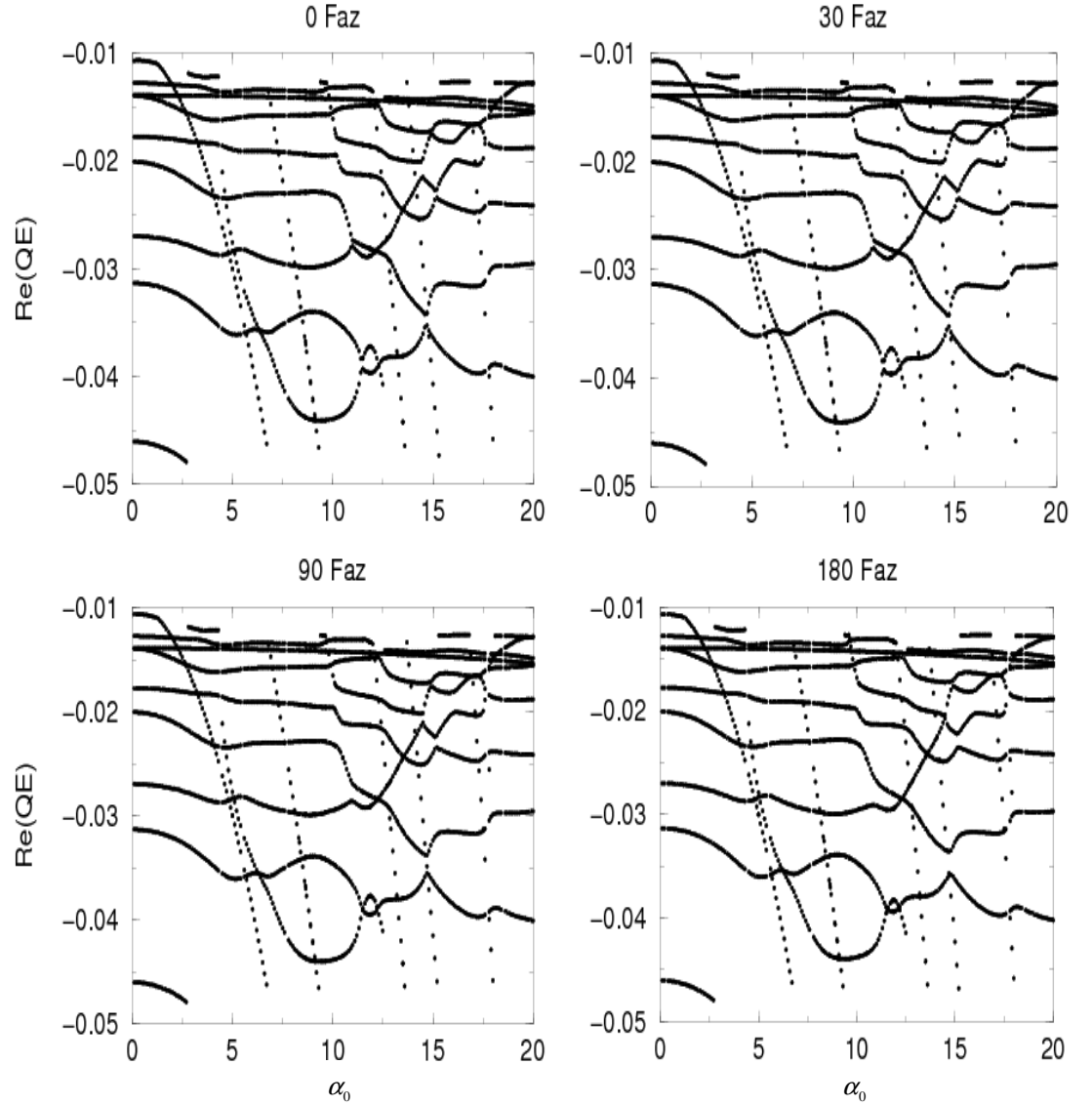


Şekil-4.28: İki renk problemi kapsamında 0° faz durumu için Argonun quasienerji spektrumu.



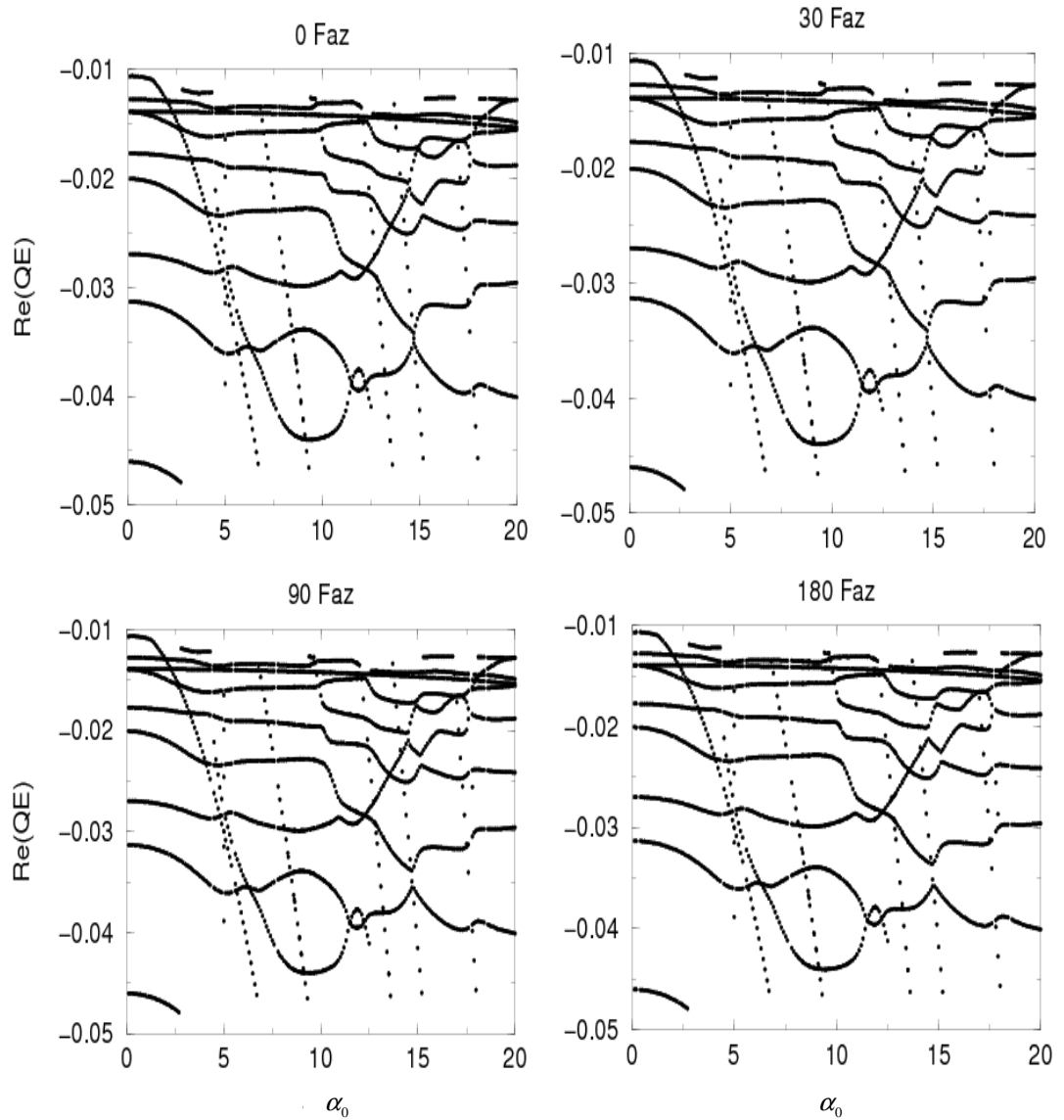
Şekil-4.29: 800 nm'de Argon atomu için tek renkli lazer kullanılarak çizilen quasienerji spektrumu³.

Harmonik sayısının değişimi ile quasienerji spektrumunun nasıl bir değişim göstereceği amacıyla 5. ve 7. harmonikler kullanılarak aşağıdaki spektrumlar elde edilmiştir.



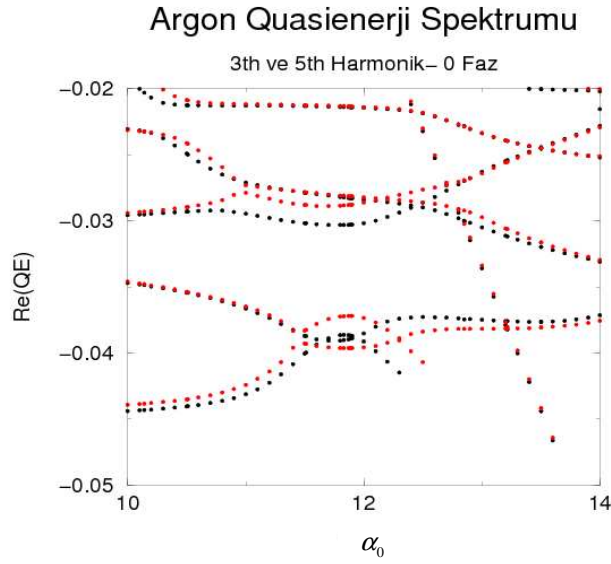
şekil-4.30: 5. Harmonik ve 800nm de Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ kullanılarak, farklı faz değerlerinde quasienerji spektrumun enerji değerinin reel kısmının bütün α_0 (a.u) değerlerine karşı grafiği.

Şekil-4.30 800 nm’de 5. Harmonik ve tek parite durumu için Argon atomunun quasienerji spektrumu 0° - 30° - 90° - 180° faz değeri için çizilmiştir. Faz değişimi var iken spektrumdaki değişimlerin gözlenebilmesi amacıyla çizilmiştir. Daha önceden belirlenen rezonans değerlerinde 11.83 a.u, 13.216 a.u , 12.8 a.u faz değişimiyle enerji seviyelerinde değişim belirgindir.



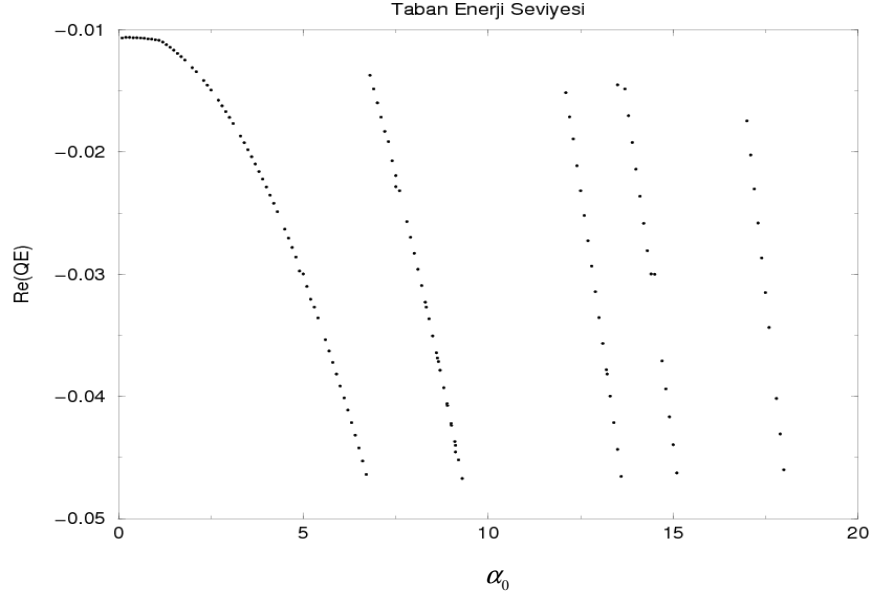
Şekil-4.31: 7. Harmonik ve 800 nm’de Harmonik alanın şiddeti $I_L=10^{12}$ kullanılarak, farklı faz değerlerinde quasienerji spektrumunun enerji değerinin reel kısmının bütün α_0 (a.u) değerlerine karşı grafiği

Şekil-4.31 800 nm'de 7. Harmonik ve tek parite durumu için Argon atomunun quasienerji spektrumu 0° - 30° - 90° - 180° faz değeri için çizilmiştir. Quasienerji seviyesinin taban enerji seviyesiyle etkileşiminden kaynaklanan değişimi 0° ve 180° faz değeri için çizilen spektrum kıyaslandığında $15 < \alpha_0 \text{ (a.u.)} < 20$ arasında değişim gözlenmiştir.

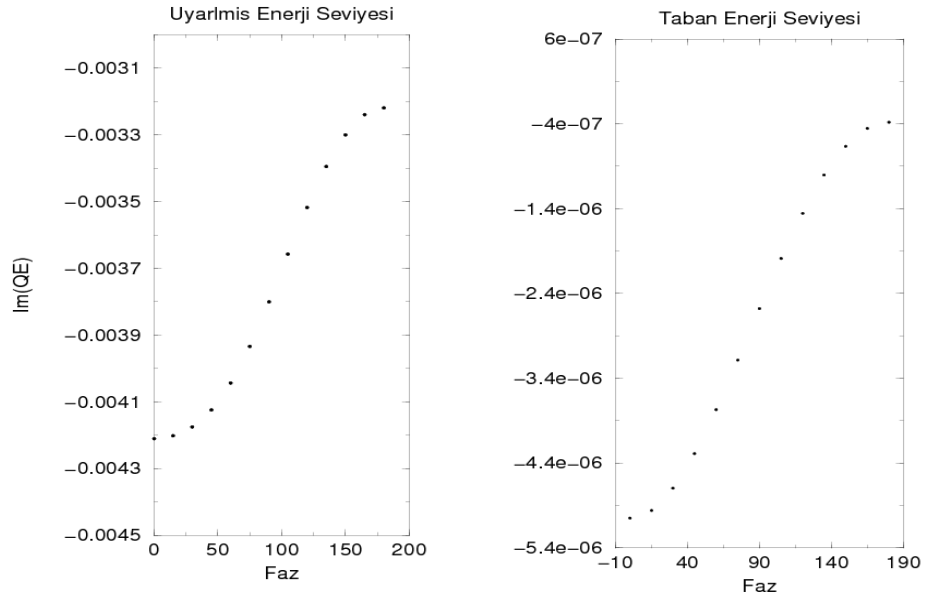


Şekil-4.32: 800 nm'de Argon Atomu 0° faz durumu için quasienerji spektrumundan belli bir kesit. Siyah nokta ile belirlenen enerji seviyeleri 3. harmonik kullanılarak çizilmiş. Kırmızı nokta ile belirlenen enerji seviyeleri 5. harmonik kullanılarak çizilmiş.

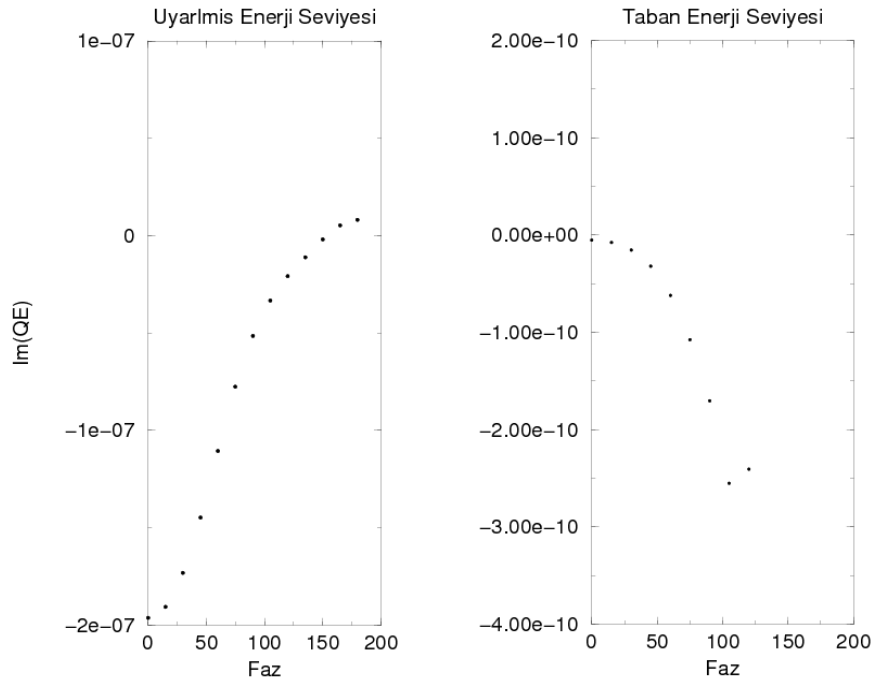
Şekil-4.32 iki renk problemi kapsamında, 0° faz durumunda harmonik sayısı değişince spektrumdaki değişimi gözlemek amacıyla çizilmiştir. Bu değişim grafikte de görüldüğü gibi yaklaşık 12 a.u değerinde enerji seviyelerinde kayma gözlenmiştir.



Şekil-4.33: 800 nm ve 3. harmonik durumu için Argon atomunun taban enerji seviyesi

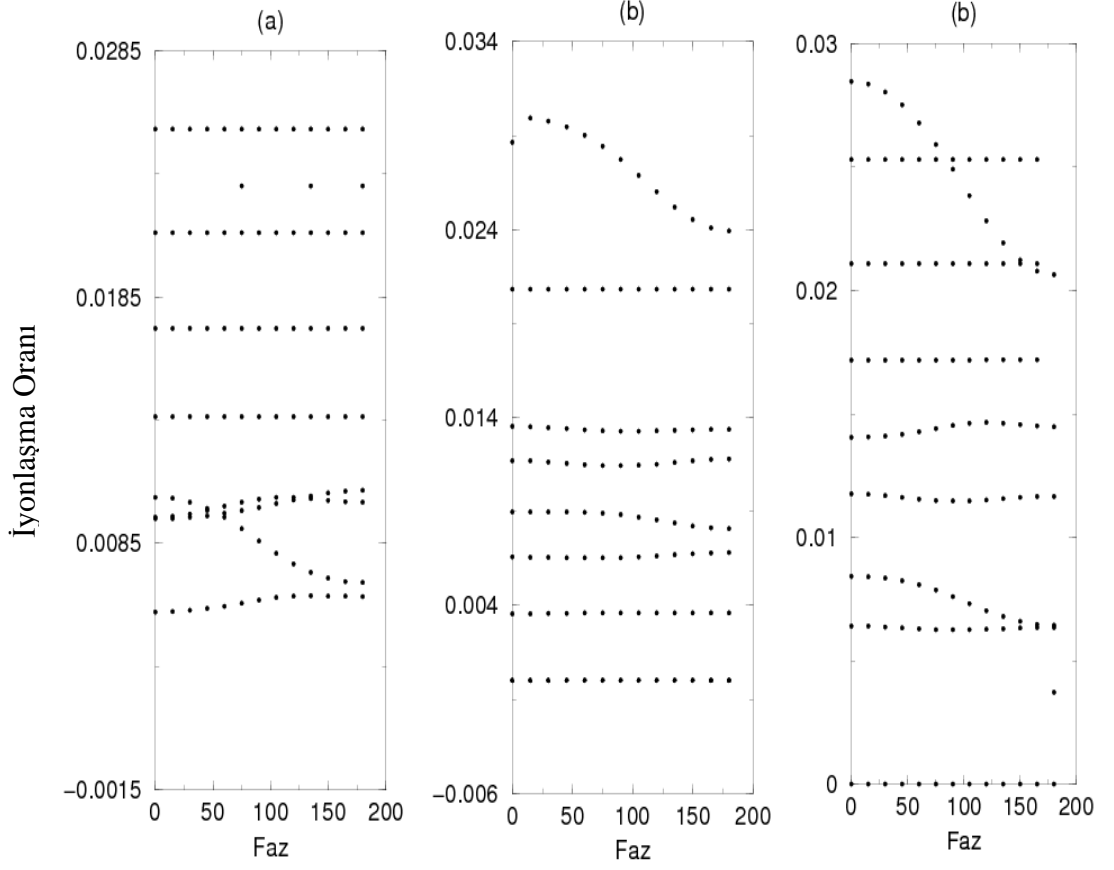


Şekil-4.34: $\alpha_0=12.8$ a.u., 800nm ve 3. harmonik durumunda Argon atomunun taban enerji ve uyarılmış enerji seviyeleri için quasienerjinin sanal kısımlarının faza bağlı değişimi incelenmiştir.

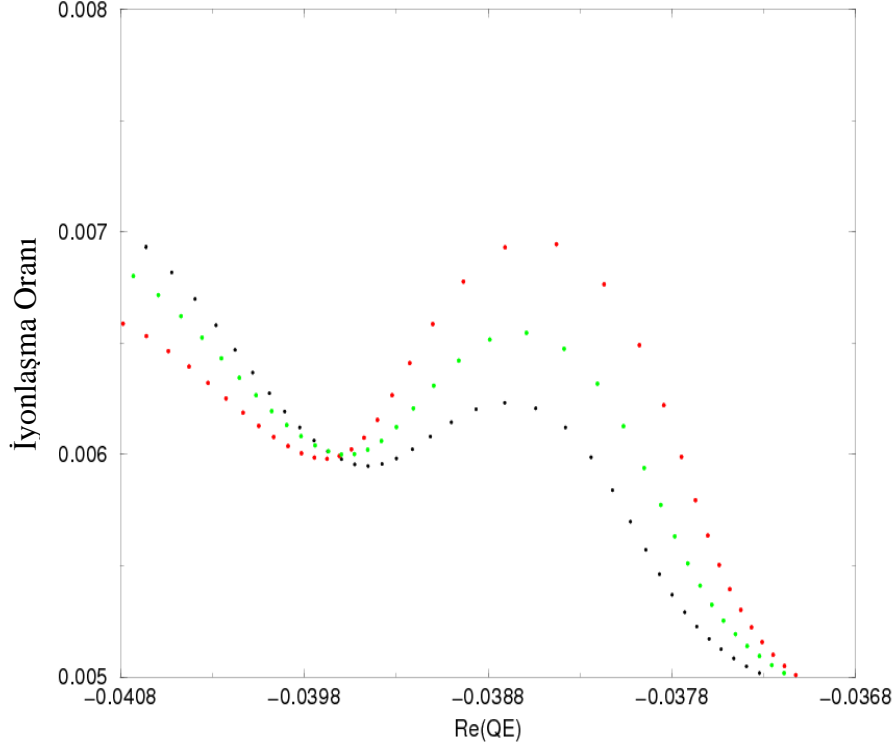


Şekil-4.35: $I_H=13.216$ a.u değerinde 800 nm ve 3. harmonik durumunda Argon atomunun taban enerji ve uyarılmış enerji seviyeleri için quasienerjinin sanal kısımlarının faza bağlı değişimi incelenmiştir.

Şekil-4.34 ve Şekil-4.35 için “karşılaşma” olarak adlandırdığımız olayda quasienerji seviyesi, taban enerji seviyesiyle belli bir değerde rezonanstadır. Quasienerji seviyesi, taban enerji seviyesiyle belli bir şiddete çok yakında olduğu için taban enerji seviyesiyle etkileşince davranış değiştirmesine neden olmaktadır. Bu karşılaşma da “kaçınılmış karşılaşma” olarak tanımlanır. Bu iki şekil, olayların gerçekleştiği noktaların sanal kısımlarının faza karşı grafikleridir. Bu durumda faza bağlı değişim görülmektedir.



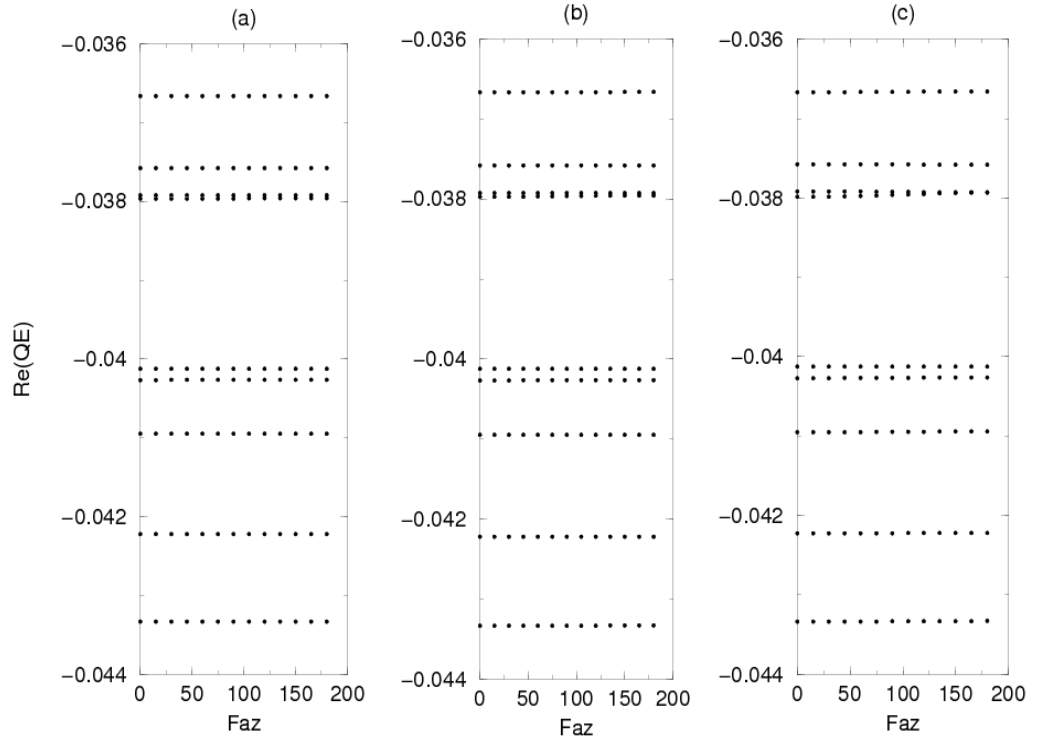
Şekil-4.36: Üçüncü harmonik durumunda, iyonlaşma oranının faza bağlı grafiği α_0 ' ın (c)12.8, (b)13.216, (a)15.3 a.u değerleri için incelenmiştir.



Şekil-4.37: Argon atomunun iyonlaşma oranının $(-2(\text{Im}(QE)))$ quasienerji seviyelerinin faza karşın değişimi. Siyah renk 0° faz, yeşil renk 90° faz, kırmızı renk 180° faz değerini gösterir.

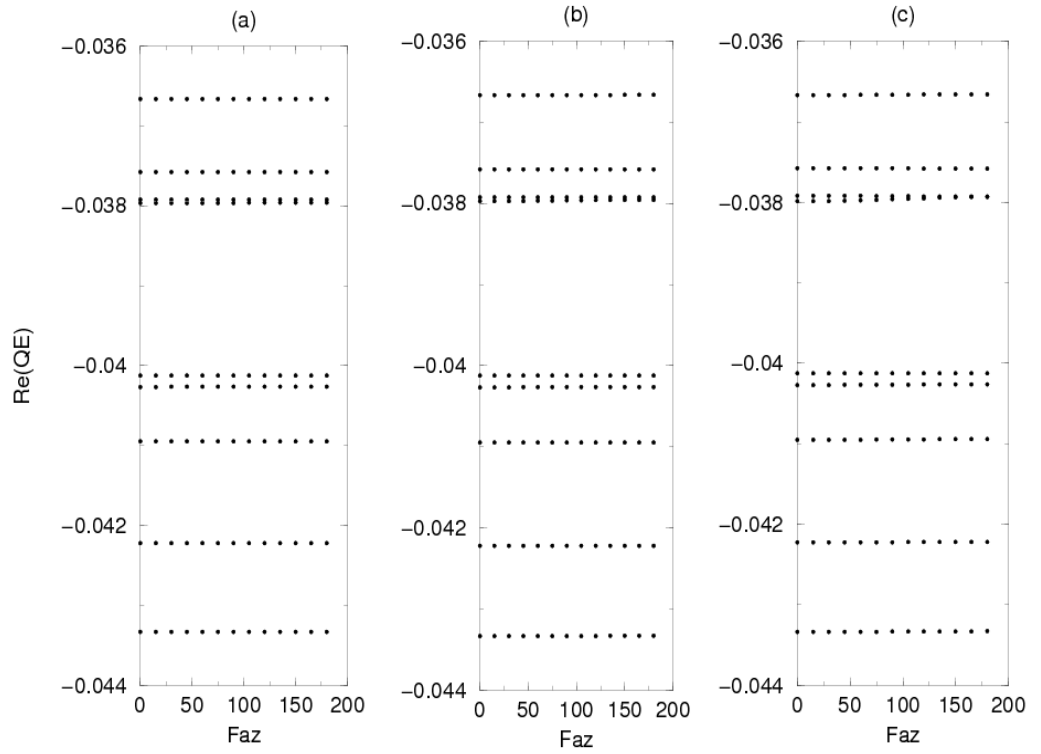
Örnek bir atmanın faza bağlı değişimini göstermektedir. Bu değişim multifoton bölgesinin tipik özelliğidir. Bu bölgede taban durumun etkileştiği çoğu hatta bütün uyarılmış durumlardan daha küçük iyonlaşma oranına sahiptir. Alan şiddeti arttıkça bu resim değişmektedir ve çoğunlukla rezonanslarda iyonlaşma oranında artış değil azalma görülmektedir.

Son olarak, fundamental alanın büyük α_0 değerlerinde spektrumun iki alan arasındaki faz farkına göre daha fazla değişim sergilemesi daha genel bir sonuç elde etmek üzere 1200 nm ve 1300 nm dalga boyuna sahip ve 80 TW/cm^2 şiddetli yüksek α_0 (33.2 a.u.) değerine sahip bir fundamental alan ile üçüncü harmoniğin etkisinde kalan Argon için alanlar arasındaki faz farkına göre quasienerjinin reel kısımlarındaki değişim ve $m=0$ çift parite durumları için bu değişim Şekil-4.25 ile verilmektedir



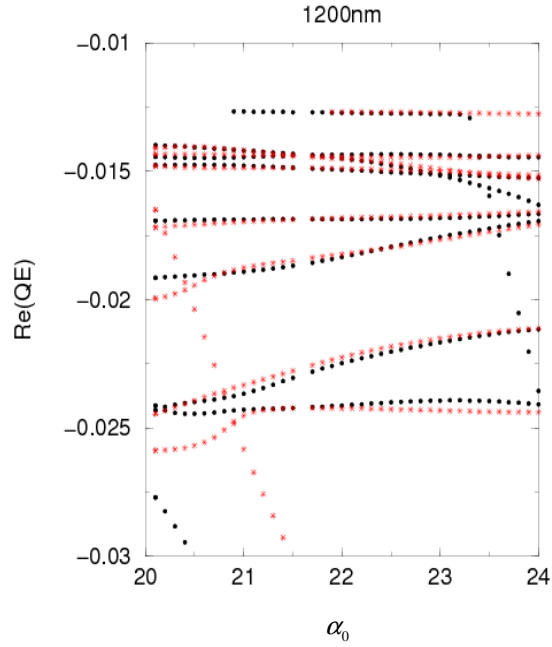
Şekil-4.38: 1200 nm’de Argon atomu $I_H= 33.2$ a.u., $\sigma= -0.038$ ve tek parite durumunda quasienerji seviyelerinin reel kısmının faza bağlı grafiği. (a) $I_L=10^{10}$ (b) $I_L=10^{11}$ (c) $I_L=10^{12}$

Şekil-4.38’de 3. Harmonik durumunda 1200nm ve $I_H= 33.2$ a.u için her üç harmonik alan değerinde enerji seviyelerinin reel kısmının faza bağlı değişimi incelenmiştir. Bu incelemede her üç harmonik alan değer değişimi sonucu enerji seviyelerinde çok küçük bir değişim gözlenirken, faza bağlı değişim -0.038 enerji seviyelerinde gözlenmiştir.

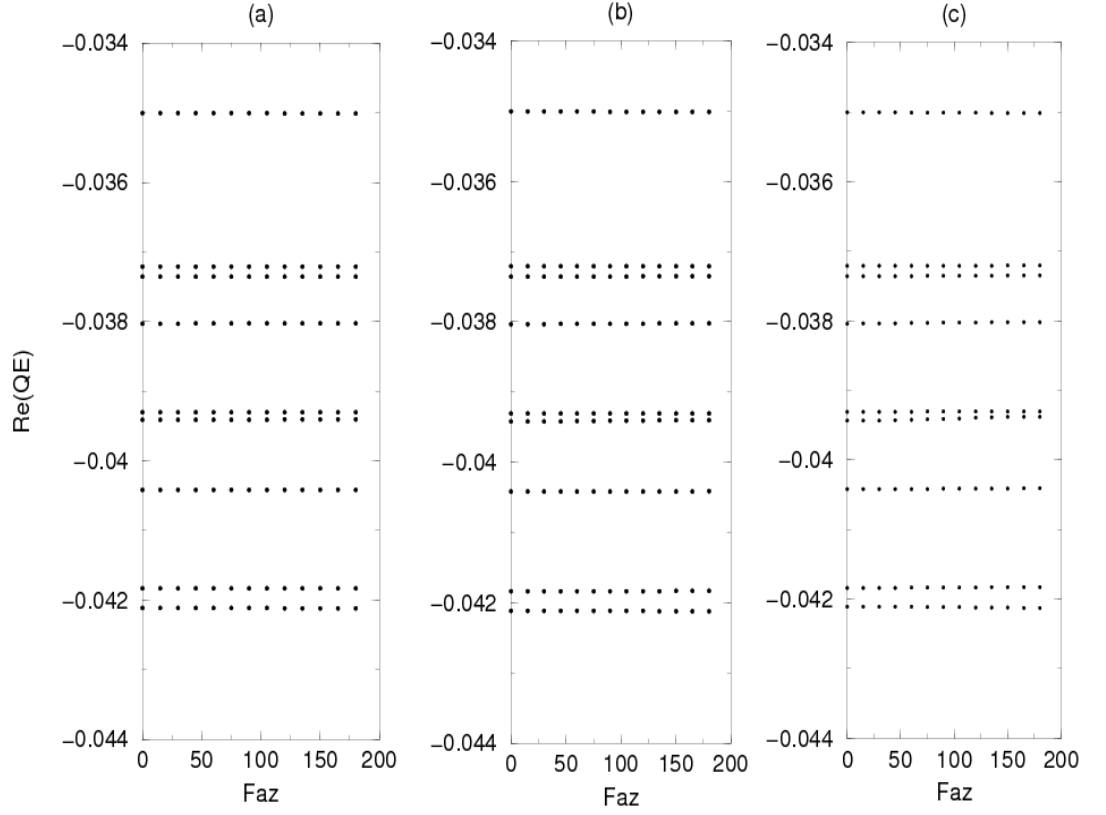


Şekil-4.39: 1200 nm’de Argon atomu $I_H= 33.2$ a.u, $\sigma= -0.038$ ve çift parite durumunda quasienerji seviyelerinin reel kısmının faza bağlı grafiği. (a) $I_L=10^{10}$, (b) $I_L=10^{11}$, (c) $I_L=10^{12}$

Şekil-4.39’de üçüncü harmonik durumunda 1200 nm ve $I_H = 33.2$ a.u için her üç harmonik alan değerinde enerji seviyelerinin reel kısmının faza bağlı değişimi incelenmiştir. Bu inceleme çift pariteli seviyelerde yapılmıştır. Her üç harmonik alan değer değişimi sonucu enerji seviyelerinde bir değişim gözlenmezken, faza bağlı küçük bir değişim $Re = -0.0385$ a.u. enerji seviyesinde gözlenmiştir.

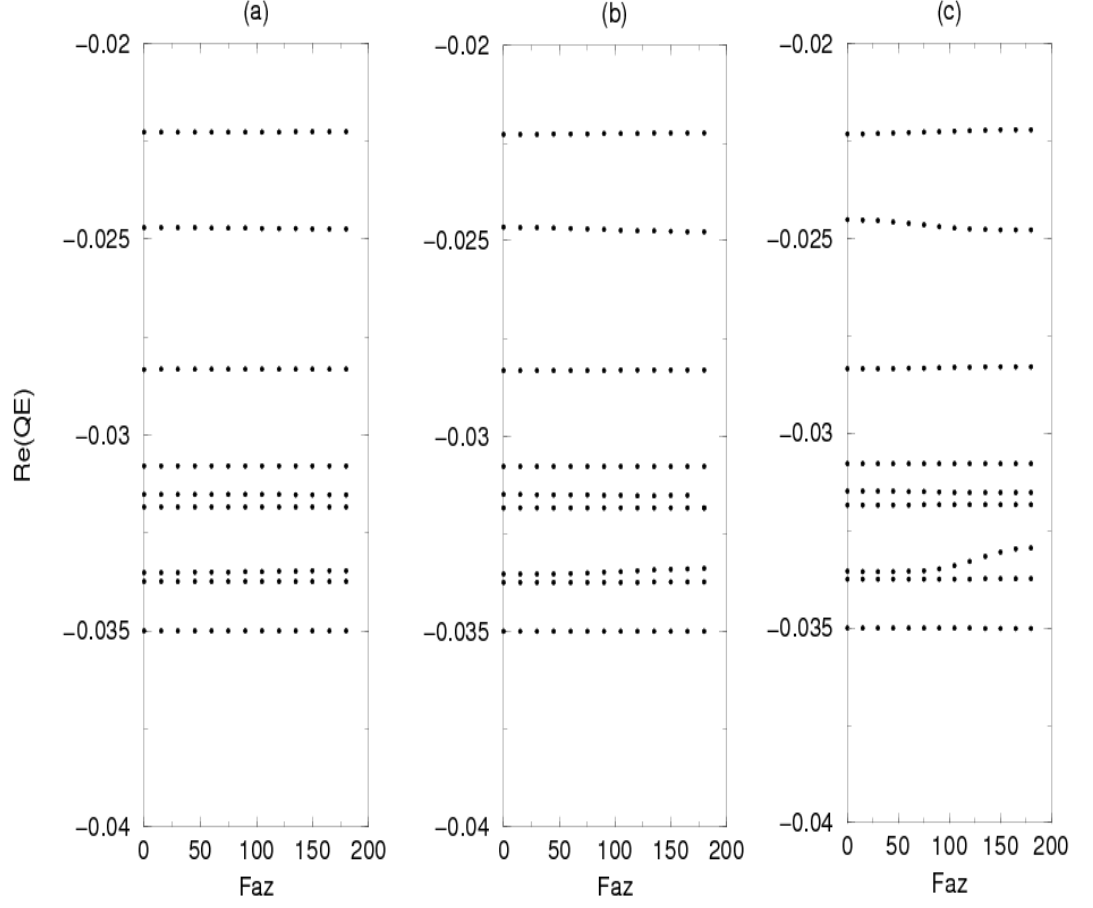


Şekil-4.40: 1200 nm dalgaboyunda ve fundamental alan ile $1 \times 10^{12} W/cm^2$ alan şiddetine sahip 3. Harmoniğin etkisi altında Argon atomunun tek parite durumlarının quasienerji spektrumun reel kısmının fundamental alan şiddetinin, α_0 (a.u)’ a bağlı olarak değişimi. Siyah noktalar 0° faz değeri, kırmızı 180° faz değeri için çizilmiştir.



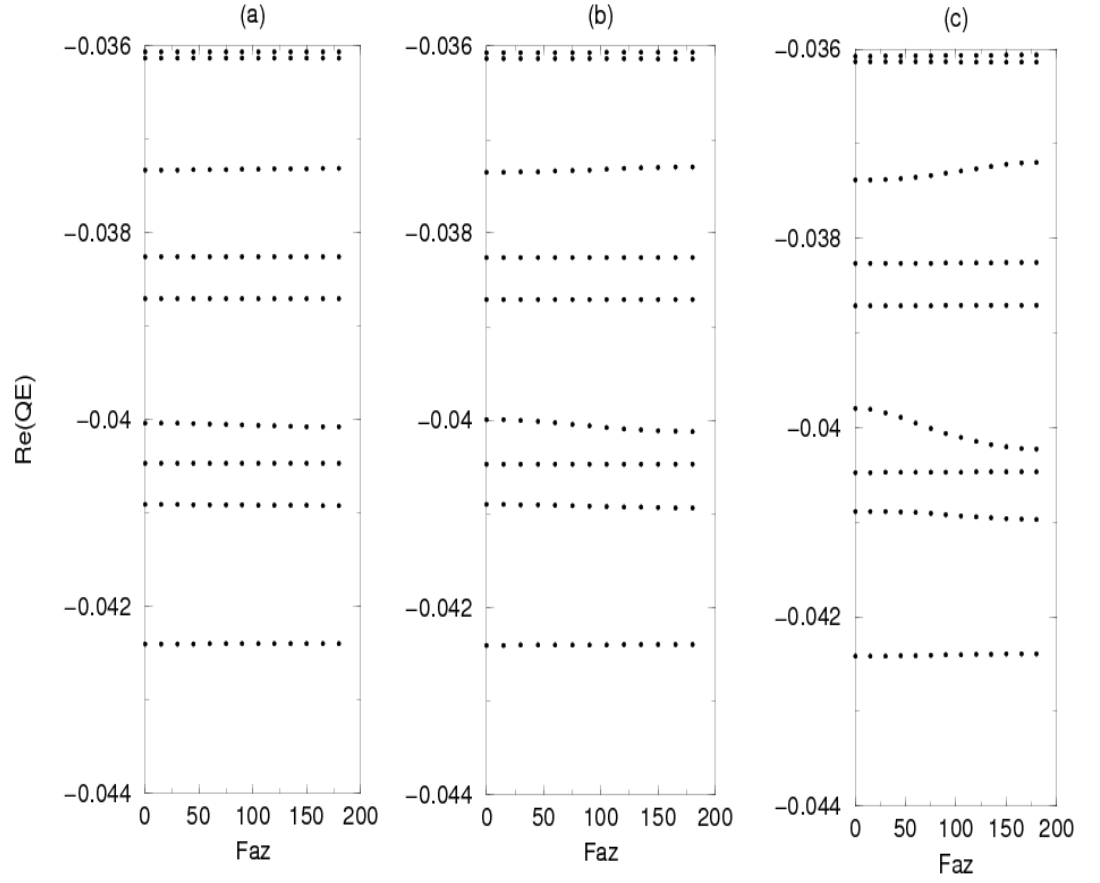
Şekil-4.41: 1300 nm’de Argon atomu $I_H= 33.2$ a.u., $\sigma= -0.038$ ve tek parite durumunda quasienerji seviyelerinin reel kısmının faza bağlı grafiği. (a) $I_L=10^{10}$ (b) $I_L=10^{11}$ (c) $I_L=10^{12}$

Şekil-4.41’de üçüncü harmonik durumunda 1300 nm ve $I_H= 33.2$ a.u. için her üç harmonik alan değerinde enerji seviyelerinin reel kısmının faza bağlı değişimi incelenmiştir. Bu inceleme tek pariteli seviyelerde yapılmıştır. (c) $I_L=10^{12}$ harmonik alan değerinde, faza bağlı küçük bir değişim $Re=-0.0385$ a.u. enerji seviyesinde gözlenmiştir.



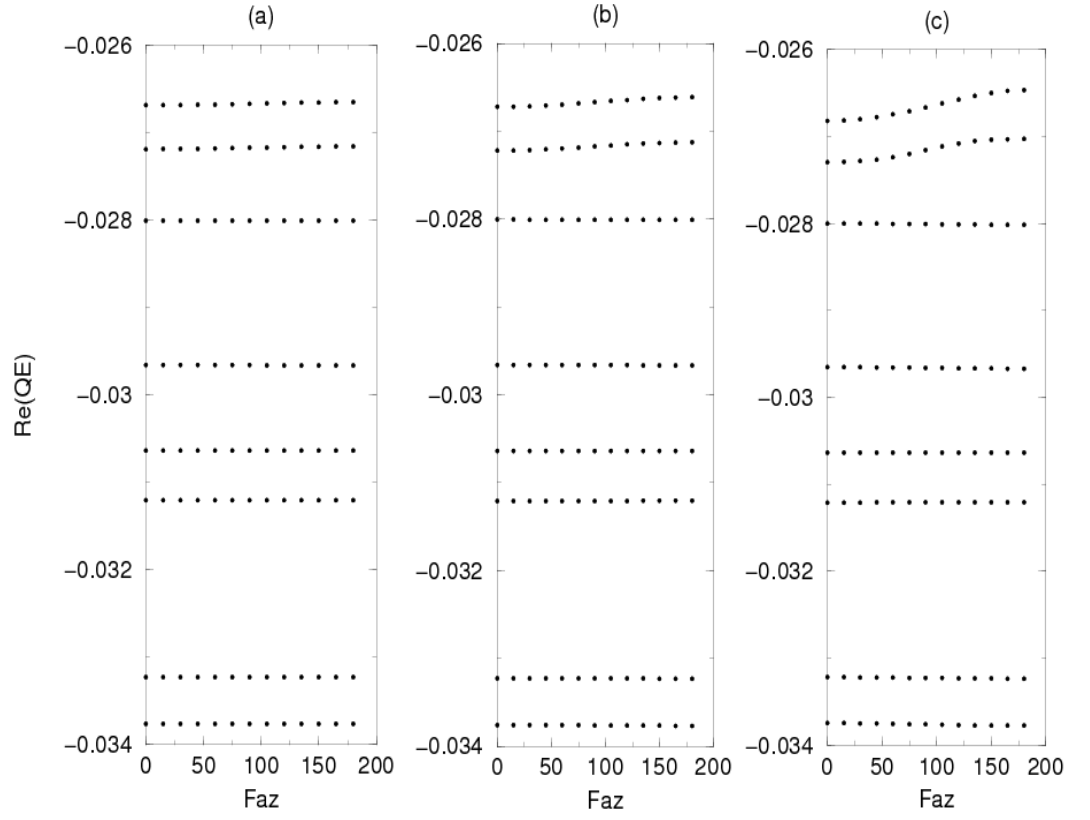
Şekil-4.42: 1300 nm’de Argon atomu $I_H= 33.2$ a.u., $\sigma= -0.028$ ve tek parite durumunda quasienerji seviyelerinin reel kısmının faza bağlı grafiği. (a) $I_L=10^{10}$ (b) $I_L=10^{11}$ (c) $I_L=10^{12}$

Şekil-4.42’de üçüncü harmonik durumunda 1300 nm ve $I_H= 33.2$ a.u. için her üç harmonik alan değerinde enerji seviyelerinin reel kısmının faza bağlı değişimi incelenmiştir. Bu inceleme tek pariteli seviyelerde yapılmıştır. Quasienerji aralığı yaklaşık $\sigma=-0.028$ a.u. değeri alınarak, bu değerdeki enerji seviyelerinin grafikte belirlenmesi amaçlanmıştır. (c) $I_L=10^{12}$ harmonik alan değerinde, faza bağlı değişim $Re=-0.034$ a.u. enerji seviyesinde gözlenmiştir.



Şekil-4.43: 1300 nm’de Argon atomu $I_H= 33.2$ a.u, $\sigma= -0.038$ ve çift parite durumunda quasienerji seviyelerinin reel kısmının faza bağlı grafiği. (a) $I_L=10^{10}$ (b) $I_L=10^{11}$ (c) $I_L=10^{11}$

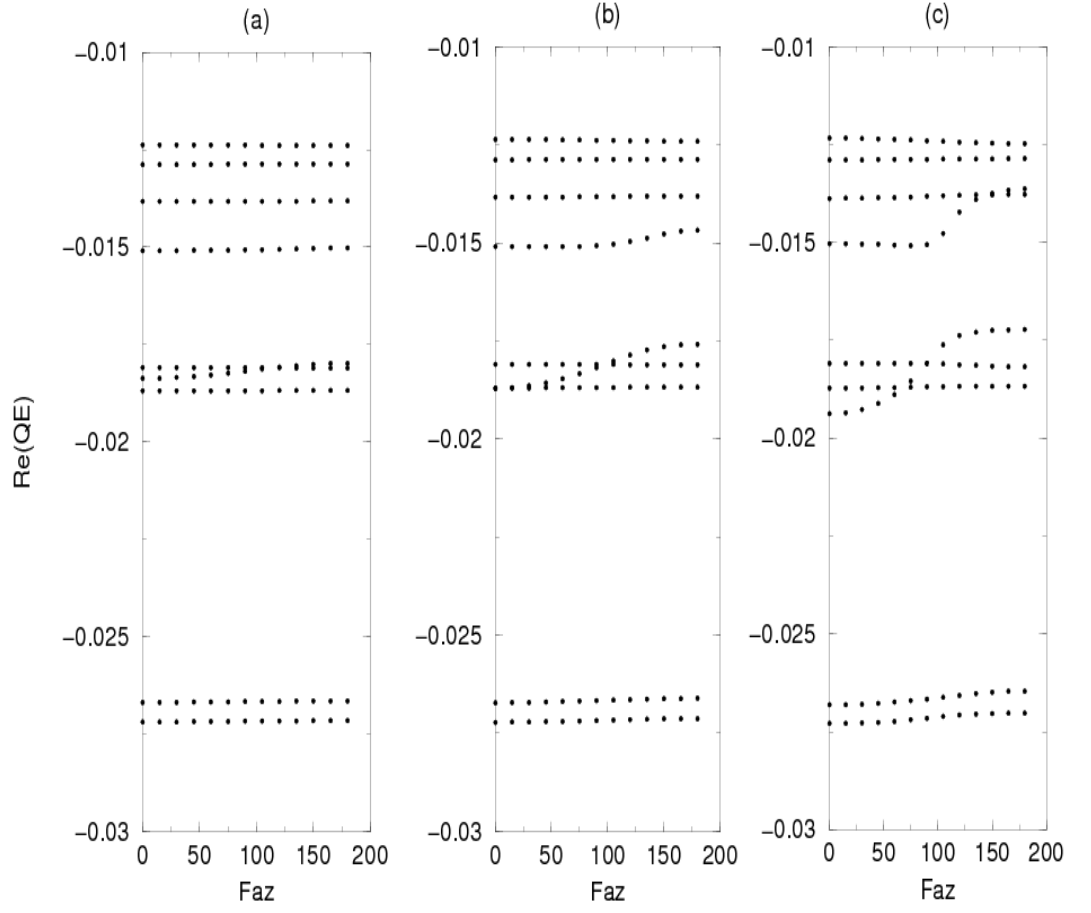
Şekil-4.43’de üçüncü harmonik durumunda 1300 nm ve $I_H= 33.2$ a.u için her üç harmonik alan değerinde enerji seviyelerinin reel kısmının faza bağlı değişimi incelenmiştir. Bu inceleme çift pariteli seviyelerde yapılmıştır. (c) $I_L=10^{12}$ harmonik alan değerinde, faza bağlı değişim yaklaşık $Re=-0.04$ a.u enerji seviyesinde gözlenmiştir.



Şekil-4.44: 1300 nm’de Argon atomu $I_H= 33.2$ a.u., $\sigma= -0.028$ ve çift parite durumunda quasienerji seviyelerinin reel kısmının faza bağlı grafiği. (a) $I_L=10^{10}$ (b) $I_L=10^{11}$ (c) $I_L=10^{11}$

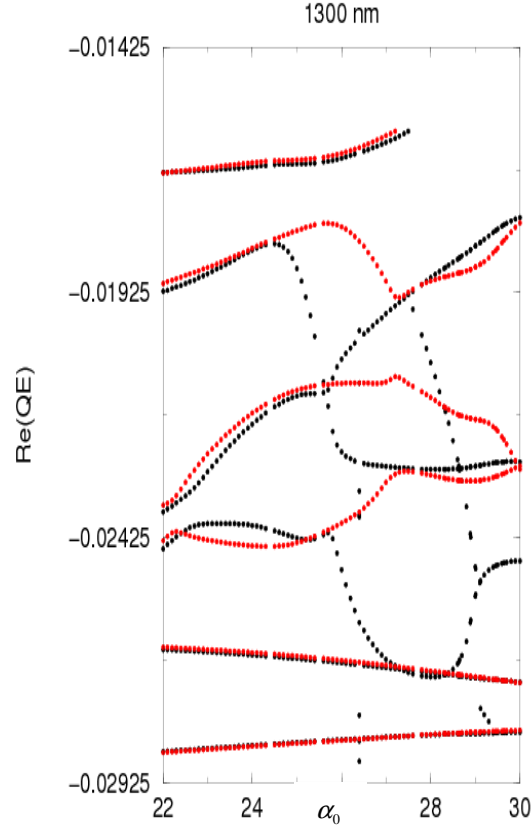
Şekil-4.44’de üçüncü harmonik durumunda 1300 nm ve $I_H= 33.2$ a.u için her üç harmonik alan değerinde enerji seviyelerinin reel kısmının faza bağlı değişimi incelenmiştir. Bu inceleme çift pariteli seviyelerde yapılmıştır. Quasienerji aralığı $\sigma=-0.028$ a.u değeri alınarak yaklaşık bu değerdeki enerji seviyelerinin grafikte belirlenmesi amaçlanmıştır. (c) $I_L=10^{12}$ harmonik alan değerinde, faza bağlı değişim yaklaşık -0.025 a.u. enerji seviyelerinde gözlenmiştir.

Bu şekilde -0.028 a.u. ve altındaki ($\text{Re}(QE) < -0.028$) faz farkı ile değişmeyen düzgün yatay eğriler sayısal hatalardan kaynaklanan gerçek olmayan durumlardır ve fiziksel değildir. Gerçek durumları temsil eden -0.028 a.u.'in üstündeki giydirilmiş uyarılmış durumlar, alanlar arasındaki faz farkına bağlı olarak değişmektedir. Bu değişim harmonik alanın alan şiddetinin artışı ile artmaktadır. Bunu harmonik alanın tedirginmesiz katkılarına borçluyuz. -0.028 a.u.'ün üstünde (faz sıfır iken -0.02667 a.u. ve -0.0272 a.u.) yer alan bu iki giydirilmiş durum spektrumunda birbirinden uzaktır ve bu nedenle aralarında doğrudan ya da “kaçınılmış karşılaşma” olayı ile etkileşme söz konusu değildir. Buna rağmen bu eğrilerin alanlar arasındaki faz farkına bağlı olarak değişmesi ilgi çekicidir. Şu aşamada henüz bu giydirilmiş uyarılmış durumların giydirilmiş taban durum komşuluğunda olduğuna dair kesin bir bilgi/veri elimizde olmamakla beraber giydirilmiş uyarılmış durumları temsil eden bu eğrilerin iki alan arasındaki faz farkına göre değişimi bu durumların giydirilmiş taban durum komşuluğunda olabilirliğini önermektedir.



Şekil-4.45: 1300 nm’de Argon atomu $I_H= 33.2$ a.u., $\sigma=-0.020$ ve çift parite durumunda Quasienerji seviyelerinin reel kısmının faza bağlı grafiği. (a) $I_L=10^{10}$ (b) $I_L=10^{11}$ (c) $I_L=10^{12}$

Şekil-4.45’de üçüncü harmonik durumunda 1300 nm ve $I_H= 33.2$ a.u için her üç harmonik alan değerinde enerji seviyelerinin reel kısmının faza bağlı değişimi incelenmiştir. Bu inceleme çift pariteli seviyelerde yapılmıştır. Quasienerji aralığı $\sigma=-0.020$ a.u. değeri alınarak yaklaşık bu değerdeki enerji seviyelerinin grafikte belirlenmesi amaçlanmıştır. (a), (b), (c) farklı harmonik alanlar için faza bağlı değişim yaklaşık $Re=-0.0158$ a.u. daki her üç enerji seviyesinde ve $Re=-0.015$ a.u. değerinde gözlenmiştir.



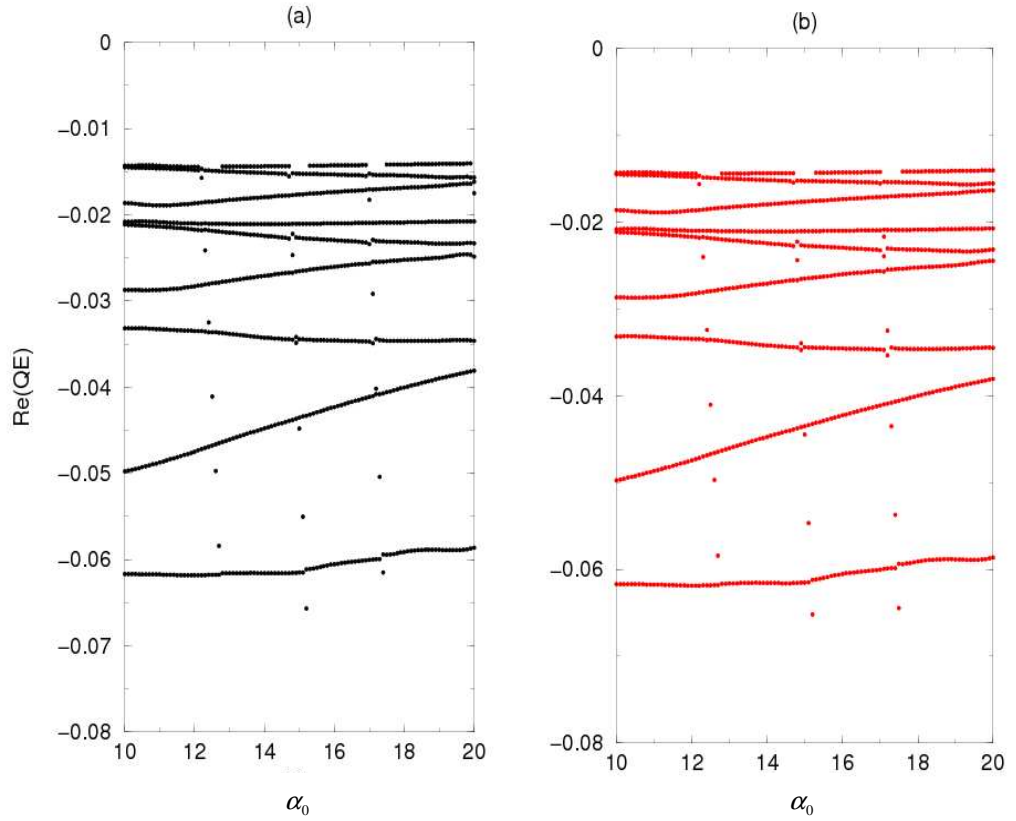
Şekil-4.46: 1300 nm dalgaboyunda ve fundamental alan ile $1 \times 10^{12} \text{ W/cm}^2$ alan şiddetine sahip 3. Harmoniğin etkisi altında Argon atomunun tek parite durumlarının quasienerji Spektrumun reel kısmının fundamental alan şiddetinin, α_0 (a.u)' a bağlı olarak değişimi. Siyah noktalar 0° faz değeri, kırmızı noktalar 180° faz değeri için çizilmiştir.

Şekil-4.46 1300 nm'de Argon atomunun $22 < \alpha_0$ (a.u) < 30 aralığında quasienerji spektrumunda 0° ve 180° faz değerlerindeki değişimi gözlemek amacıyla çizilmiştir. Spektrumda 0° faz durumu siyah noktalar, 180° faz durumu da kırmızı noktalarla belirtilmiştir. Her iki faz durumu için yaklaşık $\text{Re} = -0.024$ a.u. değerindeki seviyelerde değişim açıkça spektrumda gözlenmektedir. Bu durum da bize yüksek

alan şiddetlerinde bir biri ya da taban durum ile doğrudan ya da “kaçınılmış karşılaşma” bölgelerinde giydirilmiş uyarılmış durumların etkileşmesini gösterir. Bu etkileşmeler alanlar arasındaki faz farkı ile de değişmektedir. Bu da bize iki alanda hareket eden aktif elektronun yörüngesinin alanlar arasındaki faz farkına bağlı olarak değiştiğini önerir.

4.1.2 Güçlü Lazer Alanına Maruz Kalan Helyum Atomunun Floquet Yöntemiyle Elde Edilen Quasienerji Seviyelerinin Faz Farkına Bağlılıklarının İncelenmesi:

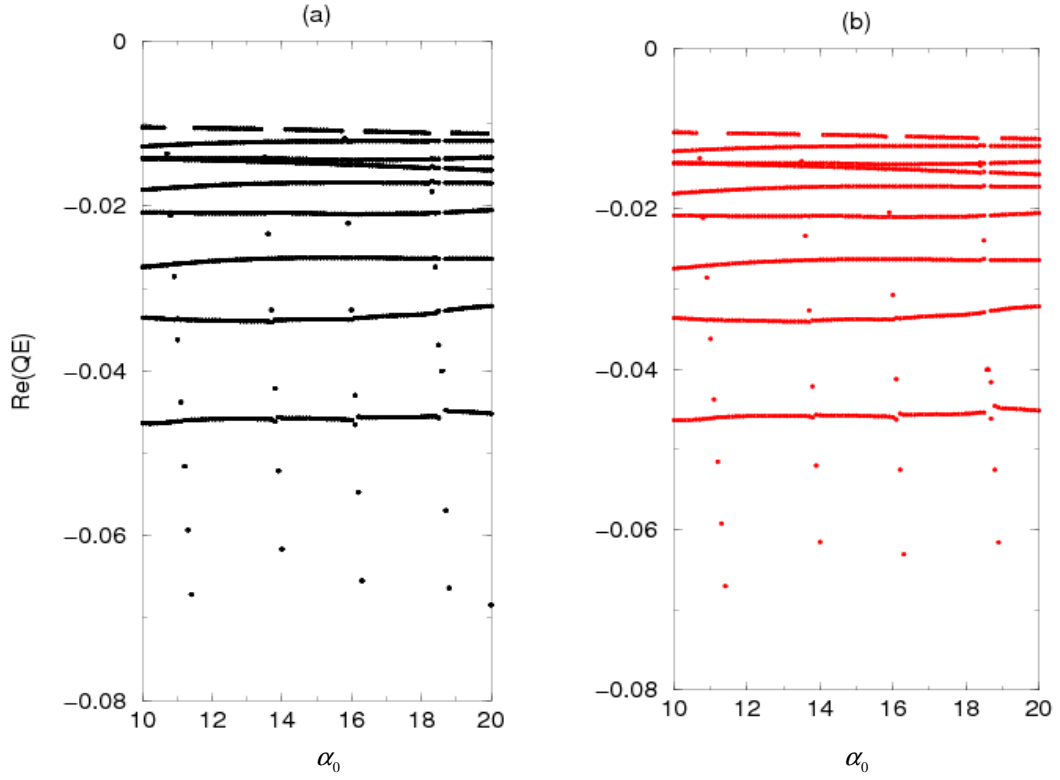
Genel olarak asal gazların spektrumuna yönelik genel bir sonuç çıkarmak amacıyla Helyum atomunun quasienerji spektrumu 390 nm ve 800 nm dalga boylarında hem çift hem de tek parite durumları için hesaplandı. Literatürde⁴ tek renk problemi kapsamında elde edilmiş olan sonuçlarla karşılaştırabilmek amacıyla, α_0 (a.u) aralığını bu yönde belirledik.



Şekil-4.47: 390 nm dalgaboyunda ve fundamental alan ile 1×10^{12} W/cm² alan şiddetine sahip 3. Harmoniğin etkisi altında Helyum atomunun $m=0$ çift parite durumlarının quasienerji Spektrumunun reel kısmının fundamental alan şiddetinin, α_0 (a.u)' a bağlı olarak değişimi. (a) 0 faz değeri (b) 180 faz değeri

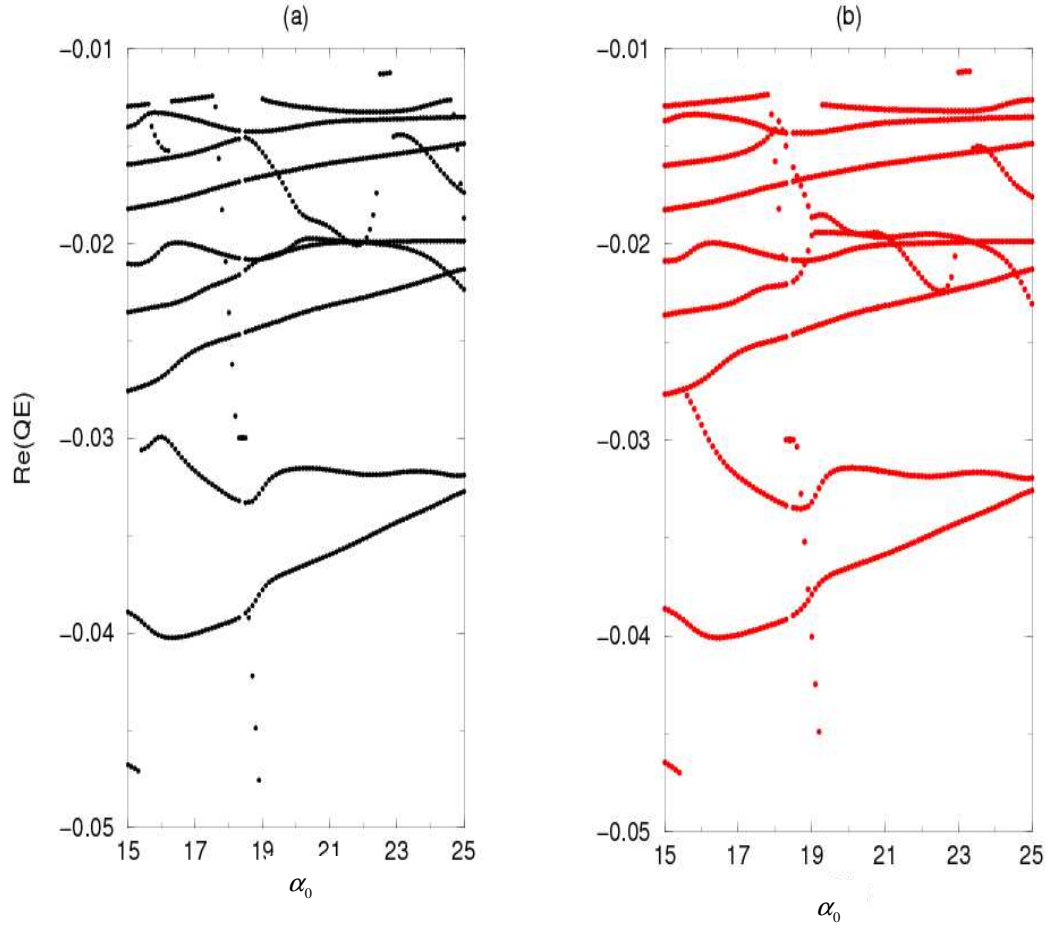
Tablo-4.6: 390 nm Helyum atomunun quasienerji spektrumu için kullanılan değerler:

Harmonik	Floquet Harmoniği	I_{\max}	N	Γ	ϕ (Faz)
Alanın Şiddeti I_L					
$I_L=10^{12}$ W/cm ²	-25 30	17	3.	25	0-180



Şekil-4.48: 390 nm dalgaboyunda ve 1×10^{12} W/cm² alan şiddetine sahip 3. Harmoniğin etkisi altında Helyum atomunun $m=1$ tek parite durumlarının quasienerji spektrumunun reel kısmının fundamental alan şiddetinin, α_0 (a.u)' a bağlı olarak değişimi. (a) 0° faz değeri (b) 180° faz değeri için çizilmiştir.

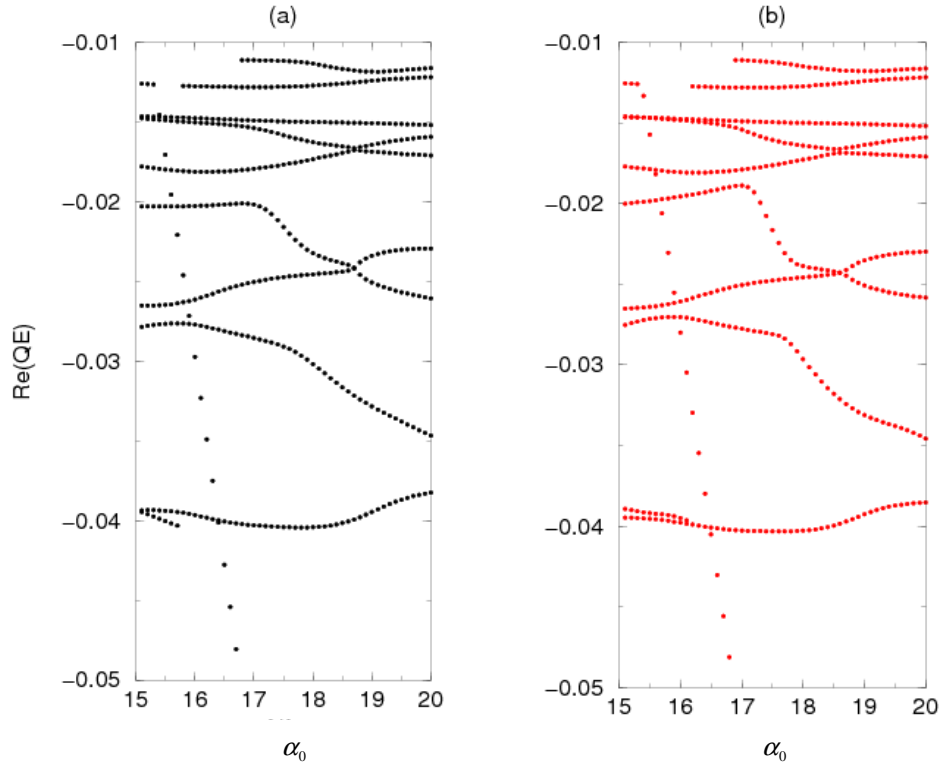
Yukarıda Şekil-4.47'deki grafiğimiz ile Şekil-2.8 tamamıyla benzer görünüm sergilemektedir. Bu grafikten giydirilmiş taban durumunun quasienerjisinin reel kısmının alan şiddetine karşı değişimi hemen hemen çizgisel olduğu görülmektedir. 0° ve 180° değişen faz değeriyle α_0 ' ın 15 a.u. ve 20 a.u değerleri arasındaki quasienerji spektrumunun reel kısmında değişiklik gözlenmemiştir. İkinci alanın artışı ile spektrumda değişiklik gözlenmedi. Bunun nedeni enerji seviyelerinin birbirinden uzak olması ve harmonik alanın düşük olmasıdır.



Şekil-4.49: 800 nm dalgaboyunda ve harmonik alan ile $1 \times 10^{12} \text{ W/cm}^2$ alan şiddetine sahip 3. Harmoniğin etkisi altında Helyum atomunun $m=0$ çift parite durumlarının quasienerji spektrumunun reel kısmının fundamental alan şiddetinin, α_0 (a.u)' a bağlı olarak değişimi. (a) 0° faz değeri (b) 180° faz değeri için çizilmiştir.

Tablo-4.7: 800 nm Helyum atomunun quasienerji spektrumu için kullanılan değerler:

Harmonik	Floquet Harmoniği	I_{\max}	N	Γ	ϕ (Faz)
Alanın Şiddeti I_L					
$I_L=10^{12} \text{ W/cm}^2$	-25 30	17	3.	15	$0^\circ-180^\circ$



Şekil-4.50: 800 nm dalgaboyunda ve fundamental alan ile $1 \times 10^{12} \text{ W/cm}^2$ alan şiddetine sahip 3. Harmoniğin etkisi altında Helyum atomunun $m=1$ tek parite durumlarının quasienerji spektrumunun reel kısmının fundamental alan şiddetinin, α_0 (a.u)' a bağlı olarak değişimi. (a) 0° faz değeri (b) 180° faz değeri için çizilmiştir.

Şekil-4.49'daki grafiğimizde Helyum atomunun 3. harmoniği göz önüne alınarak $m=0$ çift parite durumlarının quasienerji spektrumunun reel kısmının fundamental alan şiddetinin, α_0 (a.u)' a bağlı olarak değişimi, farklı iki faz değerleri için incelenmiştir. 0° ve 180° faz değerleri için belirlenen quasienerji seviyelerini Şekil-2.9 ile kıyasladığımızda, Şekil-4.49' nin (a) durumu ile benzer görünüm sergilemektedir. 180° faz durumu için çizilen (b) durumu ile kıyaslandığında, $-0.03 < \text{Re}(QE) < -0.01$ enerji aralığındaki seviyeler yaklaşık $18 < \alpha_0$ (a.u) < 21 aralığında değişiklik gözlenmiştir.

Ayrıca 390 nm Şekil-4.47 ve 800 nm Şekil-4.49' deki He spektrumlarını karşılaştırsak yeterince yüksek alan yoğunluklarında iki spektrumun genel yapısının da aynı olduğu görülür. 390 nm de “karşılaşma” olayı gözlenmezken, 800 nm spektrumundaki doğrudan ve “kaçınılmış” karşılaşma gözlenmektedir.

800 nm'de Helyum atomunun $m=0$ için, giydirilmiş taban durumları sadece çift parite durumları ile etkileşen durumlardır. Tek renk probleminde Helyum atomu için çizilen Şekil-2.3'de giydirilmiş taban durum quasienerjisinin reel kısmının giydirilmiş uyarılmış durumları ile çakıştığı bu noktalarda rezonanslar oluşmaktadır. Bu etkileşimler doğrudan olabildiği gibi “kaçınılmış karşılaşma” şeklinde de olabilir. İki renk probleminde, bu etkilerin gözlemlendiği bölgelerde faz farkı ile enerji seviyelerinde değişimlere neden olmaktadır.

He atomu için Şekil-4.48 ve 4.50'de tek parite durumundaki spektrumda farklı faz değerlerinde spektrumdaki değişimleri gözlemek amacıyla çizilmiştir. Şekil-4.48'de 390 nm dalgaboyunda spektrum hem 0° hem de 180° faz değeri için incelenmiş ve bu faz farkı altında spektrumda bir farklılık gözlenmemiştir. Şekil-4.50'de 800 nm için tekrarlanan spektrumda ise $Re=-0.02$ a.u enerji seviyesine karşılık gelen değerde 180° faz durumu için değişim açıkça görülmektedir.

KAYNAKLAR

- 1.** Potvliege RM, Vucic S, High order above-threshold ionization of argon:Plateau resonances and the floquet quasienergy spectrum, *Phys. Rev. A*, 74, 023412-1-11, (2006).
- 2.** Mese E and Potvliege RM, “The Quasienergy Spectrum of Argon from 400 to 800 nm”, *Laser Phys. Lett.* 4, No. 5, 357-362, (2007).
- 3.** Mese E, Potvliege RM, “Quasienergy Spectrum of Complex Atoms”, *Phys. Rev. A.*, 77, 023414-1-9, (2008).
- 4.** R. M. Potvliege, E. Mese, S. Vucic, Multiphoton Ionization and multiphoton resonances in the tunneling regime, *Phys. Rev. A.*, 053402 81, (2010)
- 5.** Klapisch M and Seances CR, “New method of calculating radial functions and clasification of atomic spectra”, *Comp. Rend. Hebd. Des Sean. De L Acad. Sci. Ser. B*, 265, 914-&, (1967).

5. SONUÇ VE ÖNERİ

Tezde, güçlü lazer alanı ile atomik sistemlerin etkileşme sürecinin teorik olarak hesaplanmasında kullanılan Floquet metodu ve iki renk lazer kullanılarak elde edilen quasienerji spektrumunda faz farkı araştırılmıştır. Bunun için, 800 nm'de fundamental alana ek olarak üçüncü harmoniğinden oluşan iki lazer alanına birlikte maruz kalan Argon atomu kullanıldı. İki alan arasındaki faz farkına bağlı olarak quasienerji spektrumu farklı alan şiddetlerinde hesaplanarak değerlendirildi. 800 nm'de fundamental alanın düşük α_0 değerlerinde quasienerji spektrumunda faz farkına bağlı değişiklik gözlenmedi. Ancak yüksek α_0 değerlerinde giydirilmiş uyarılmış durumların birbirleriyle ya da taban durum ile karşılaştığı ya da birbiriyle yaklaştığı bölgelerde quasienerjinin reel kısmının ve sanal kısmının iki alan arasındaki faz farkına bağlı olarak değiştiği gözlemlendi. Ayrıca bu değişimin artan harmonik alan şiddeti ile arttığı da gözlemlendi. Bu da ikinci alan şiddetinin artışı ile tedirginmesiz etkilerin katkısı olduğunu düşündürmektedir.

Yüksek fundamental alan α_0 değerlerinde bu sonucun türden bağımsız olduğunu göstermek için hesap farklı dalgalı boylarında ve farklı tür atomlar için de tekrarlandı. Bu amaçla önce Argon atomu için 1200 nm ve 1300 nm farklı dalgalı boylarında, sonra da Helyum atomu için 390 nm ve 800 nm farklı dalgalı boylarında süreç tekrarlandı ve bu sonuçlar daha önce Argon ve Helyum atomları için tek renk lazer alanı kullanılarak elde edilen quasienerji spektrumları ile kıyaslanarak sonuçlar, bulgular ve tartışma kısmında belirtildi.

Argon atomunda 1200 nm'de faz farkına bağlı enerji seviyelerinde kayma gözlenirken, 1300 nm'de 0° ve 180° faz değeri için çizilen spektrumda değişimin daha belirginleştiği gözlemlenmiştir.

390 nm’de Helyum atomunun 3. harmoniği ve $m=0$ durumunda farklı faz değerlerine karşın elde edilen spektrumların genel özelliklerinde ve belirlenen seviyelerde bir değişiklik gözlenmezken, aynı koşullarda fakat 800 nm’de çizilen Helyumun quasienerji spektrumu için yüksek α_0 değerlerinde giydirilmiş uyarılmış durumların birbirleriyle ya da taban durum ile karşılaştığı veya çakıştığı bölgelerde quasienerjinin reel kısımlarında değişiklik faz farkı ile elde edilmiştir. Bu durum da bize yüksek alan şiddetlerinde bir biri ya da taban durum ile doğrudan ya da “kaçınılmış karşılaşma” bölgelerinde giydirilmiş uyarılmış durumların etkileşmesini gösterir. Bu etkileşmeler alanlar arasındaki faz farkı ile de değişmektedir. Bu da bize iki alanda hareket eden aktif elektronun yörüngesinin alanlar arasındaki faz farkına bağlı olarak değiştiğini önerir.

Argon ve Helyumun quasienerji spektrumlarında, maruz kaldıkları lazerin değişen dalgaboyuna ve alan şiddetine bağlı olarak faz değişimiyle spektrumdaki farklılıkları gösterdik. Bu değişim yüksek alan şiddetlerinde, giydirilmiş uyarılmış durumlar içinde kalan rezonans durumlarından kaynaklanmaktadır. Buna rağmen bu eğrilerin alanlar arasındaki faz farkına bağlı olarak değişmesi ilgi çekicidir.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Dilan ALP

Doğum Yeri: Diyarbakır

Doğum Tarihi: 23/07/1979

Medeni Hali: Bekar

Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Diyarbakır Anadolu Lisesi-1993-1999

Lisans : Dicle Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü-2000-2004

Yüksek Lisans: Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü-2004-2006