بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

# بهینه سازی پالس آتوثانیه ی لیزر سه رنگی با افزودن چیرپ خطی

سپیده فاضلی نسب ، سعید باطبی ، فروغ حسین زاده

دانشکده فیزیک دانشگاه گیلان – رشت - ایران

چکیده – در این مقاله به منظور بدست آوردن پالس بهینه ی آتو ثانیه ای، معادله ی تک بعدی وابسته به زمان شرودینگر برای اتم هلیوم را حل میکنیم و سپس با بدست آوردن تبدیل فوریه ی شتاب دو قطبی القایی برای یک لیزر با پارامترهای اولیه، طیف هارمونیک های مرتبه ی بالا رسم شده است. ایتدا پالس های لیزر تک رنگ ، دو رنگ و سه رنگ مقایسه شده است و سپس با افزودن چیرپ خطی $\beta w_0(t(i))^2$ – به صورت پلکانی ،ابتدا به میدان اصلی ، بعد میدان اصلی و میدان کنترلی اول ، و در انتها همزمان به میدان اصلی ، میدان کنترلی اول و میدان کنترلی دوم ، به این نتیجه خواهیم رسید که افزودن چیرپ به هرسه میدان باعث کوتاه تر شدن پالس می شود و نتایج بهینه ای را ایجاد می کند .

کلیدواژه: پالس آتوثانیه، لیزر سه رنگی چیرپدار ، هارمونیک مرتبه بالاتر

# Optimization of three color laser attosecond pulse by adding a linear chirp

Sepideh fazelinasab, saeed batebi , forough hosseinzadeh

Department of Physics, University of Guilan - Rasht - Iran

In this paper in order to achieve the optimized attosecond pulse, we solve the time dependent 1D scherodinger equation in helium atom, and them by applying the fourier transformation to the dipole acceleration for a laser with initial parameters, the high harmonic generation spectrum have been plotted. First: the one color, two color and three color laser pulses have been compared with each other and then step by step by adding a linear chirp ($-\beta w_0 t^2$). First to the the main field then to the main field and first controlling field and at the end to the main field, first controlling field and second controlling field simultaneously we will find out that adding the chirp to all three fields makes the pulse shorter and prepare the optimized result.

Keywords: attosecond pulse, tree color laser, high harmonic generation



این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03 ]

## ۱- مقدمه

امروزه دستیابی به مدت تپ های کوتاهتر از اهمیت زیادی برخوردار است و به این خاطر از لیزرهای دو و سه رنگی استفاده می کنند تا انرژی قطع طیف HHG را افزایش دهد و بتوان پالس های آتوثانیه ای کوتاهتری را تولید کرد و در نتیجه ی همین مقاله متوجه خواهیم شد که لیزرهای سه رنگی پالس های کوتاهتری نسبت به لیزرهای دو رنگی ایجاد خواهد کرد و همچنین هنگامی که لیزر چیرپدار می شود پالس آن به شدت کوتاه شده و لیزرهای چیرپدار، آتوثانیه ی بهینه ای را در اختیار ما قرار می دهند. انجام فرآیند های سریع در پدیده های اپتیکی نیازمند تولید پالس های کوتاه می باشد. پالس های آتوثانیه $(1at=10^{-18}s)$ در برهمکنش پالس پرشدت کوتاه لیزر تولید می شوند. تولید هماهنگهای مرتبه‌ی بالا یک پدیده ی به شدت غیر خطی است و طبق تحقیقاتی که در چند سال اخیر صورت گرفته است کاربرد مهمی در علم آتو دارد . طبق مدل سه مرحله ای کلاسیکی الکترون از سد پتانسیل کولنی که توسط میدان لیزری تغییر شکل داده شده تونل زنی می کند و سپس در میدان لیزری شتاب می گیرد و در آخر با بازگشت به یون مادر فوتونی با بیشینه ی انرژی تولید می کند .

## ۲- تئوری

محاسبات ما بر مبنای حل معادله ی شرودینگر وابسته به زمان تک بعدی و بر اساس تقریب تک الکترون فعال است .در این تقریب تنها یک الکترون شتابدار می شود و فوتون ساطع می کند. در محاسبات از پتانسیل هموار شده استفاده می کنیم . و میدان لیزری که در نظر گرفتیم لیزر سه رنگی به صورت زیر است :

$$E(t)= \sum_{i=1}^{3} E0i\, f\, i(t)\, cos(wit + \varphi i) \quad (1)$$

$$F_i(t)= 2\ln 2( ( t/ \tau i)^2 ) \quad ; i=1,2,3$$

که در اینجا $E_{0i}$ , $f_i(t)$, $\varphi i$,$w_i$ , $\tau i$ و $(i=1,2,3)$ به ترتیب دامنه ، فرکانس ، فاز ،پوش و مدت تپش میدان لیزری (تمام پهنا در نیم بیشینه) برای میدان اصلی، میدان کنترلی اول و میدان کنترلی دوم هستند . با حل معادله ی شرودینگر و رسیدن به تابع موج $\psi(x,t)$ ، قادر خواهیم بود که شتاب دو قطبی القایی را به شکل زیربدست آوریم.

$$d(t) = \langle\psi|-(dV/ dt) +\varepsilon(t)|\psi\rangle \quad (2)$$

طیف هارمونیک HHG نیز از تبدیل فوریه ی شتاب دوقطبی القایی وابسته به زمان به دست می آید .

$$(3)\ pq(w) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^r dt e^{-iwt}$$

ودرنهایت تپ آتوثانیه ای با بر هم نهی چندین مرتبه از هارمونیک ها بدست می آید .

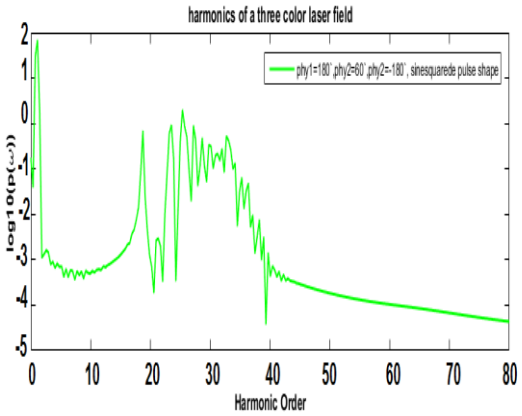
$$I(t)=\left|\sum_q dq e^{-qiwt}\ dt\right|^2 \quad (4)$$

$$d_q = \int(t)\ e^{-iq\omega t}\ dt \quad (5)$$

به دلیل اینکه در هماهنگ های نزدیک بسامد قطع ، جفت شدگی فازی روی می دهد ، q ازین هماهنگ ها انتخاب می شود .[2,3].

## ۳- تحلیل نتایج

در ابتدا لیزر یک رنگی ، دو رنگی و سه رنگی با پارامترهای اولیه را در نظر گرفتیم و طیف هارمونیک هرکدام را به ترتیب در شکل های یک –دو و سه مشاهده می کنید .

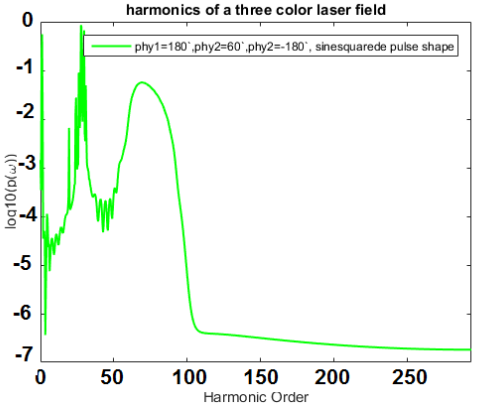



شکل ۱: هارمونیک میدان تک رنگ

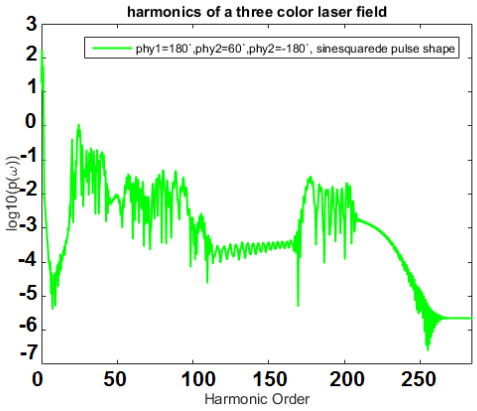


این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03 ]

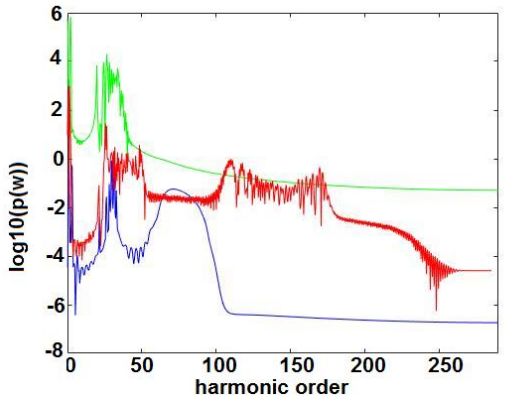



شکل ۲: هارمونیک میدان دو رنگ




شکل ۳:هارمونیک میدان سه رنگ

طیف هارمونیک هر کدام از لیزرهای تک رنگ – دو رنگ و سه رنگ هرکدام بسامد قطع ای به انداه های ۴۸-۱۱۰-۲۵۹ را نتیجه دادند که به منظور مقایسه ی آنها ، طیف هارمونیک هرکدام به ترتیب با رنگ های سبز ، آبی و قرمز در شکل شماره ۴ نمایان شده است . با برهم نهی هارمونیک ۱۴۰ ام تا ۱۸۰ ام هرکدام از لیزرها و بدست آوردن طیف آنها ، و همچنین با بدست اوردن پالس آتوثانیه ی هرکدام از لیزرهای یک رنگی و دو رنگی و سه رنگی متوجه شدیم که لیزر سه رنگی پالس کوتاهتری به ما اراعه می دهد و همچنین با توجه به شکل ۴ و هارمونیک های هر کدام ، درمی یابیم که لیزر سه رنگی دارای طیف وسیع تر و کات آف بیشتری نسبت به بقیه می باشد ، لیزر دو رنگی نیز دارای بسامد قطع بهتری نسبت به لیزرتک رنگ می باشد .



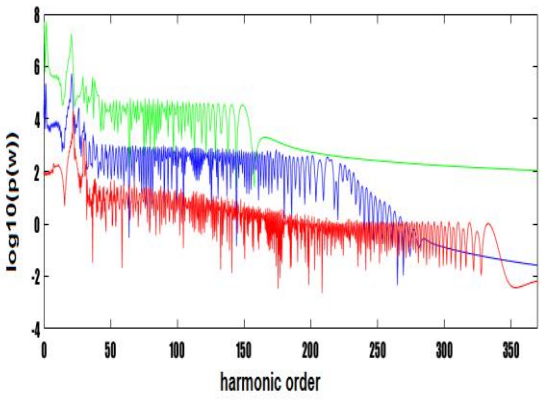

شکل۴:: میدان های تک رنگ و دورنگ و سه رنگ با پارامترهای اولیه به صورت :

I3=1.5*1014 و I2=1.2*1014 و I1=1*1014 (w/cm2) )

ϕ1=π و λ3=2200nm و λ2=2000nm و λ1 =800nm

( τ1= τ 2 =τ 3=3fm و φ3 =π/2 و ϕ2=0

حال با انتخاب لیزر سه رنگی ، به میدان آن چیرپ (-βw0(t(i)^2)) را در سه مرحله بدین صورت که ابتدا فقط به میدان اصلی سپس هم به میدان اصلی و هم به میدان کنترلی اول و در انتها به هرسه میدان های اصلی-کنترلی اول-وکنترلی دوم اضافه می کنیم که طیف هارمونیک هرکدام به ترتیب با رنگ های سبز-آبی-قرمز در شکل ۵ مشهود هستند ، با دادن چیرپ همزمان به هرسه میدان لیزر سه رنگی، هارمونیک مطلوب تر و قطع جریان بهتری را نتیجه می گیریم. با برهم نهی هارمونیک ۱۰۰ام تا ۱۶۰ام آنها می یابیم که با دادن چیرپ به هرسه میدان پالس کوتاهتری را بدست می آوریم.



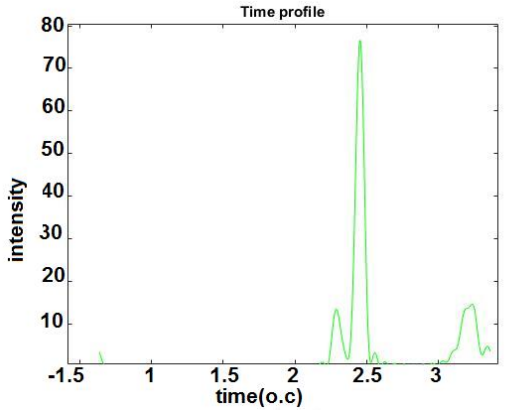

شکل ۵: طیف های هامونیک لیزر سه رنگی با اضافه کردن مرحله ای چیرپ



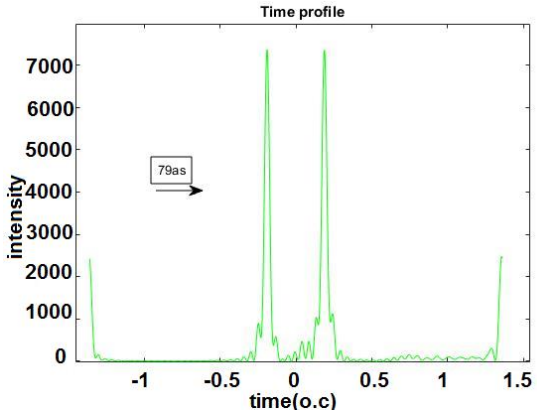
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03 ]

در انتها با اندازه گیری پالس میدان سه رنگی و پالس میدان سه رنگی چیرپ شده (دادن چیرپ به هرسه میدان) ، با توجه به شکل ۶ و ۷، لیزر سه رنگی، پالسی به اندازه ۱۵۸ آتوثانیه دارد که برایمان مطلوب نیست در حالی که لیزر سه رنگی چیرپ شده پالس قطاری ۷۹ آتوثانیه ای به ما می دهد که مورد قبول است .




شکل ۶: پالس لیزر سه رنگی بدون چیرپ – ۱۵۸ آتوثانیه




شکل ۷: پالس لیزر سه رنگی با چیرپ- ۷۹آتوثانیه

## ۴- نتیجه گیری

هدف از طرح این مقاله ابتدا مقایسه ی میدان تک رنگ ، دو رنگ و سه رنگ بود که با توجه به هارمونیک های هر کدام و میزان بسامد قطع بدست آمده ، دریافتیم که میدان سه رنگ دارای بسامد قطع بیشتر می باشد و نسبت به میدان های تک رنگ و دورنگ بهتر است. در مرحله ی بعد هدف ما مقایسه ی تاثیر چیرپ به میدان لیزر سه رنگی بود و همانطور که بیان شد ابتدا به لیزر اصلی میدان سه رنگی چیرپ دادیم ، سپس به میدان کنترلی اول آن هم چیرپ اضافه کردیم و در نهایت با اضافه کردن مجدد چیرپ به میدان کنترلی دوم آن و مشاهده ی بسامد قطع آنها متوجه شدیم که میدان سه رنگ زمانی که دارای سه چیرپ می باشد بسامد قطع بهتری دارد ، در انتهای مقاله پالس لیزر سه رنگ بدون چیرپ و پالس لیزر دارای چیرپ را اندازه گیری کردیم و با توجه به این که لیزر بدون چیرپ دارای پاسی با اندازه ی ۱۵۸ آتوثانیه و لیزر سه رنگی چیرپدار ، پالسی با اندازه ی ۷۹ آتوثانیه بود ، دریافتیم که لیزر سه رنگ چیرپدار پالس کوتاهتری را به ما می دهد و اضافه نمودن چیرپ به هر سه میدانهای اصلی-کنترلی اول و کنترلی دوم موجب بهینه سازی پالس آتوثانیه ی ما می شود.

## مراجع :

[۱]-سید معین غفوری-محمد صالح-مجتبی تقیپور-سعید باطبی دومین کنفرانس الکترومغناطیسی مهندسی(کام ایران) ۱۹-۱۸ دی ماه ۱۳۹۲

[2]-wiliam T.Rhodes,"Attosecond physics"; 1st edition;springer series

[3]-chaojin zhang, jinping Y ao,jielei Ni, Guihua Li,Ya cheng zhizhan Xu, optical society of America-(2012)

[4]-T.Nemati Arm, S,Batebi,and M,Mohebbi. IJOP.Vo1. 6, No, 1,winter-spring,2012

[5]-M-mohebbi, S.Batebi.Opt. commum(2013). Vol.296,pp.113-123,2012

[۶]-فروغ حسین زاده، سعید باطبی( بیست و دومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و هشتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران) ۶تا۸ بهمن ماه ۱۳۹۴



این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03 ]