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 میدان لیزر سه رنگی برای تولید پالس آتوثانیه منفرد کوتاه با استفاده از اثر پوش های متفاوت

سحر بخشی، سعید باطبی و فروغ حسین زاده

دانشکده فیزیک دانشگاه گیلان، خیابان نامجو، رشت

چکیده– در این مقاله بمنظور بدست آوردن پالس کوتاه آتوثانیه ابتدا به حل معادله یک بعدی شرودینگر وابسته به زمان برای اتم هلیوم پرداختیم، با محاسبه توان دوم قدرمطلق تبدیل فوریه شتاب دو قطبی القایی طیف توان هماهنگ های مرتبه بالا را برای میدان های تک رنگ، دو رنگ و سه رنگ رسم نمودیم. سپس با برهم نهی تعدادی از هماهنگ های نزدیک بسامد قطع، تک پالس آتوثانیه میدان لیزر سه رنگی را بدست آوردیم . در ادامه اثر پوش باریکه های فرودی را مورد بررسی قرار دادیم وبا استفاده از بهترین آنها (سینوس مربع)موفق به تولید پالس منفرد (۷۹) آتوثانیه شدیم .

کلید واژه- بسامد قطع، پالس آتوثانیه منفرد، تبدیل فوریه، شکل پالس (پوش)

Optimization of three color laser field in order to achieve an isolated attosecond pulse by using the effect of different envlopes

Sahar Bakhshi, Saeed Batebi, and Forouq Hosseinzadeh
Department of physics, University of Guilan , Rasht

Abstract- in order to achieve a short attosecond pulse in this article ,we solved the time dependent 1D Schrodinger equation for a single helium atom. By calculating the modulus squared of Fourier transformation of the induced dipole acceleration, we succeed to depict the spectrum of high harmonics for one-color , two-color and three –color laser field . By superposing several harmonics near the cutoff region, in the three-color laser field the isolated attosecond pulse is generated. In the following ,we considered the effects of different pulse shapes. With the use of the best one (sine squared) we succeeded to generate an isolated (79) attosecond pulse.

Keywords: Cutoff, Fourier transformation, Isolated attosecond pulse, Pulse shapes.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

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

1- مقدمه

درطول دهه های اخیر مرتبه های علوم کاربردی بیشتر و بیشتر به طرف محدوده نانو پیکو وحتی فمتو جابه جا شده است.بنابراین دانشمندان خواستار منابع جدید نور برای ایجاد فوتونهایی با انرژی بالا با طول موجهایی در ناحیه چند نانومتر حتی چند آنگستروم با درخشندگی و همدوسی بالاتر می باشند. اپتیک مدرن تولید هارمونیک مرتبه بالا را که امکان تولید یک قطاری از پالسهای آتوثانیه که شامل برهم نهی تعداد زیادی فرکانس لیزر اعمالی می باشد فراهم میکند [۱].

پالس آتوثانیه به پالس نوری گفته می شود که مدت زمان گذر کل طول پالس در حد آتوثانیه طول بکشد. برای درک هرچه بهتر (۱as)[1] می توان آنرا با (1s) مقایسه کرد. نسبت (1as)به یک ثانیه مثل نسبت (1s) به دو برابر عمر جهان می باشد [۲].

فرآیند تولید هارمونیک ها به شدت غیرخطی می باشد برای تولید هارمونیک هایی با طول موج زیر نانو مترباید یک میدان قوی لیزری به یک هدف گازی اعمال شود. از منظر نیمه کلاسیکی ساخت هارمونیک مرتبه بالا (HHG)[2]در سه مرحله توصیف می شود. لیزر ابتدا پتانسیل کولنی هسته اتمی را خمیده میکند میدان لیزر باعث تغییر شکل پتانسیل کولنی از چاه پتانسیل به سد پتانسیل می شوددر این حالت الکترون درون سد به دام افتاده و در نواحی بسیار پر شدت میدان الکتریکی از درون سد تونل می زند و اصطلاحا" یونیزه می شود .هنگامی که الکترون در حالت آزاد ظاهر می شود فورا" بدور از هسته بوسیله میدان الکتریکی قوی لیزری شتاب میگیرد و بعد از تغییر علامت میدان الکتریکی به طرف هسته سوق داده می شود. الکترون تمام انرژی گرفته در مسیر را بصورت یک فوتون در محدوده فوق فرابنفش آزاد می کند. اکثر آزمایشات روی گازنجیب از قبیل(Xe-Kr-Ar-Ne-He) صورت می گیرد[۱].

2-تئوری

محاسبات برای تولید هارمونیک های مرتبه بالا بر مبنای حل معادله شرودینگروابسته به زمان (TDSE)[3] وبراساس تقریب تک الکترون فعال برای یون هلیوم و قطبش خطی صورت گرفته است [۵-۳].

در محاسبات از واحد اتمی استفاده میکنیم.

$$i\dot{\psi}(z,t)=(\frac{\hat{p}^2}{2}+v(z)+E(t)z)\psi(z,t) \qquad (۱)$$

که p عملگرتکانه و $v(z)$ پتانسیل کولنی هموار شده می باشد.

$$V(z)=\frac{-Z}{\sqrt{z^2+a^2}} \qquad (۲)$$

Z عدداتمی گاز مورد نظرو $(a=0.5)$لحاظ گردیده است.
میدان لیزری که در نظر گرفته شده لیزر سه رنگی بصورت زیرمی باشد.

$$E(t)=\sum_{i=1}^{3}\underset{0i}{E}\underset{i}{f}(t)\cos(\underset{i}{w}t+\underset{i}{\varphi}) \qquad (۳)$$

که $\underset{0i}{E}$ دامنه میدان ، $\underset{i}{f}(t)$ پوش ، $\underset{i}{w}$فرکانس و $\underset{i}{\varphi}$فاز میدان لیزری هستند.

پوش در نظر گرفته شده برای میدان اصلی, کنترلی اول و دوم بصورت پوش گاوسی می باشد.

$$\underset{i}{f}(t)=(-2\ln 2(\frac{t}{\underset{i}{\tau}})^2) \qquad (۴)$$

$\underset{i}{\tau}$مدت تپش میدان لیزری (تمام پهنا در نیم بیشینه).
بامحاسبه $\psi(z,t)$ ازحل عددی (TDSE) قادرخواهیم بود مقدار شتاب دوقطبی القایی وابسته به زمان را براساس تئوری اهرنفست با رابطه زیر بدست بیاوریم.

$$d(t)=\prec\psi|\frac{-dv}{dt}+\varepsilon(t)|\psi\succ \qquad (۵)$$

طیف هماهنگ با مربع تبدیل فوریه شتاب دوقطبی القایی بدست می آید.

$$\underset{q}{P}(w)=|\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_0^T d(t)\,\overset{-iwt}{e}\,|^2 \qquad (۶)$$

تپ آتوثانیه با برهم نهی چندین مرتبه از هارمونیک ها قابل محاسبه می باشد.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

$$I(t) = |\sum_{q} d_{q} \, e^{iqwt} \, dt|^2 \quad (۷)$$

$$d_{q} = \int d(t) \, e^{-iqwt} \, dt \quad (۸)$$

از آنجاییکه در هماهنگ های نزدیک بسامد قطع جفت شدگی فازی روی میدهد q از این هماهنگ ها انتخاب می شود.

3- تحلیل نتایج

در این مقاله از میدان لیزری سه رنگی استفاده شده است، زیرا زمان شتاب بیشتری برای نوسان الکترون فراهم میکند و اجازه میدهد الکترون انرژی جنبشی بیشتری بدست بیاورد. این میدان ترکیبی از سه پالس لیزری تک رنگ با فاز نسبی مناسب بوده و دارای ناحیه تخت وسیع تری نسبت به میدان دو رنگ و تک رنگ می باشد.

طول موجهای محرک انتخاب خوبی برای توسعه ناحیه تخت هستند بنابراین ابتدا دومیدان لیزری تک رنگ $\lambda = (800,1600)(nm)$ را ترکیب نمودیم تا یک میدان دو رنگ بدست بیاوریم. مشاهده می شود در پالس ترکیبی طول موج موثر و شدت پیک ها افزایش می یابند. ترکیب ساده میدان لیزری دو رنگی برای ساخت پالس آتوثانیه موثر نمی باشد لذا برای ساخت پالس های بهینه باید پیک (B) حذف شود بنابراین یک پالس لیزری $\lambda = (2000nm)$ را با پالس لیزر دو رنگی ترکیب می کنیم بنابراین پیک(B) دچار کاهش و سایر پیک ها افزایش می یابند که منجر به پالس لیزری بهینه سه رنگی می شود

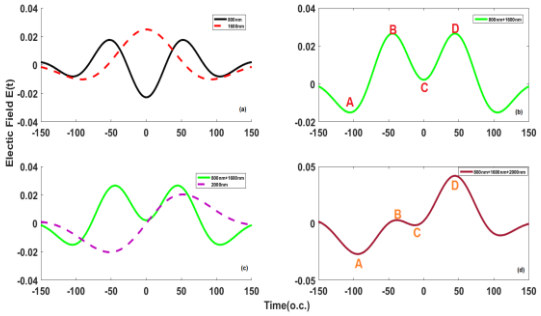
. درمیدان سه رنگی فرآیندهای یونیزاسیون،شتاب گرفتن و بازترکیب الکترون در چرخه اپتیکی بیشتری نسبت به میدان دو رنگ صورت میگیرد و الکترون شبه آزاد انرژی جنبشی بیشتری بدست می آورد[6].

$$E_{cutoff} = I_p + 3.17U_p \quad (۹)$$

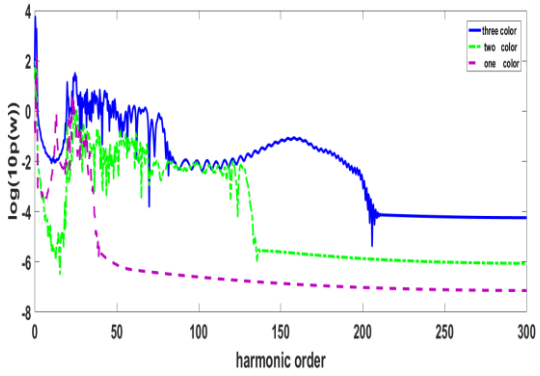
I_p پتانسیل یونیزاسیون و U_pانرژی پاندرماتیو (مقدار متوسط انرژی جنبشی جذب شده توسط الکترون در میدان لیزری).

پارامترهای لیزر به شرح زیر می باشد:

$$(I_1 = 1\times10^{14}\frac{w}{cm^2}, I_2 = 1.2\times10^{14}\frac{w}{cm^2}, I_3 = 1.5\times10^{14}\frac{w}{cm^2}$$
$$\lambda_1 = 800nm, \lambda_2 = 1600nm, \lambda_3 = 2000nm, \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = 3\,fs$$
$$\varphi_1 = \pi, \varphi_2 = 0, \varphi_3 = \frac{-\pi}{2})$$



شکل۱:(a) ترکیب دو میدان تک رنگ$\lambda = ۱۶۰۰(nm)$و۸۰۰(b) میدان دو رنگ$\lambda = ۱۶۰۰+۸۰۰(nm)$ (c) ترکیب میدان دو رنگ و تک رنگ $\lambda = ۲۰۰۰(nm)$ (d) میدان سه رنگی $\lambda = 800 + 1600 + 2000\ (nm)$



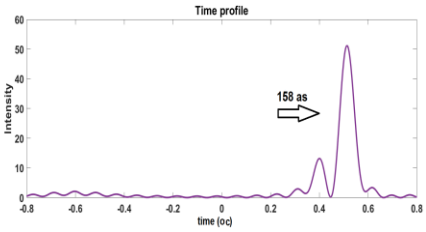
شکل۲: طیف هارمونیک میدان سه رنگ, دو رنگ, تک رنگ(پوش گاوسی)

طیف میدان دورنگی دارای دو ناحیه تخت و کات آف می باشد.

از بر هم نهی هارمونیک های ۱۲۵تا ۱۸۵در طیف سه رنگی وبا اثر پوش گاوسی یک پالس(۱۵۸ as) به دست می آوریم.

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

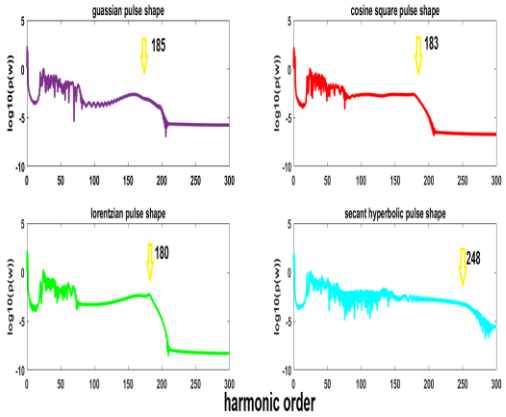
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]



شکل۳:پالس آتوثانیه با استفاده ازاثر پوش گاوسی

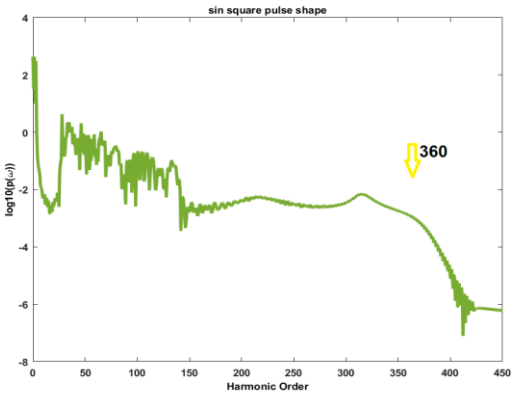
هدف بدست اوردن یک حالت بهینه برای پالس کوتاه آتوثانیه می باشد پارامترهای متفاوتی می توانند برای ایجاد یک پالس آتوثانیه مورد بررسی قرار بگیرند لذا در این مقاله اثر پوش های متفاوت و تاثیر بهترین پوش در تولید پالس بررسی می شود.

پوش های لحاظ شده پوش گاوسی،سینوس مربع کسینوس مربع، لورنتسی و سکانت هایپربولیک می باشد.



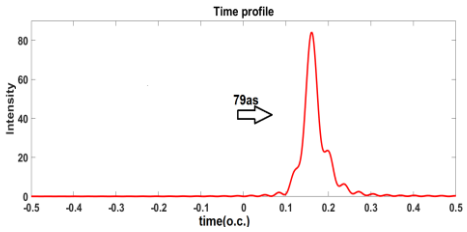
شکل۴: طیف هارمونیک با اثر پوش های گاوسی، کسینوس مربع ،لورنتسی ،سکانت هایپربولیک

با بررسی پوش های متفاوت مشاهده می شود پوش سینوس مربع بهترین موردبرای تولید هارمونیک می باشد.



شکل۵ :طیف هارمونیک با اثر پوش سینوس مربع

با برگزیدن پوش سینوس مربع بعنوان بهترین پوش و با برهم نهی هارمونیک های۲۷۵تا۳۶۰ موفق به شبیه سازی پالس منفرد(79as)شدیم.



شکل۶ :پالس آتوثانیه با اثر پوش سینوس مربع

۴- نتیجه گیری

بطور خلاصه هدف ما بدست آوردن حالت بهینه برای تولید پالس آتوثانیه منفرد می باشد.لذا بدین نتیجه رسیدیم میدان لیزری سه رنگی نسبت به میدان های دو رنگ و تک رنگ ارجحیت دارد چون در مقایسه طیف هارمونیک ها مشاهده کردیم طیف میدان لیزری سه رنگی دارای وضعیت بهتری می باشد.و با بررسی اثر پوشهای متفاوت بدین نتیجه رسیدیم پوش سینوس مربع بهترین پوشی است که می تواند برای تولید پالس آتوثانیه منفرد کوتاهترلحاظ گردد. که با انتخاب این پوش پهنا به نصف مقدار نسبت به پوش گاوسی تغییر یافته است.

مراجع

[1] M. mohebbi, S. Batebi., Opt. “Electron path control of high-order harmonic generation by a spatially inhomogeneous field”, Commum. (2013). Vol.296,pp. 113-123,2012

[2] Zenghu Chang ; *Fundamentals of Attosecond Optics;* 1st edition;Taylor and Francis group (2011), chapter 1.

[3] L. Feng , T .Chu, “ High-order harmonics extension and isolate attosecond pulse generation in the three color field’’ phys. Lett. A 375(2011) 3641-3648

[4] T.J.Shao, et al., “ theoretical exploration of laser – parameter effects on the generation of an isolated attosecond pulse from two-color high-order harmonic generation”phys.Rev.A82(2010)063838

[5] J.J. Shao, et al., “Extension of harmonic cutoff in a multicycle chirped pulse combined with a chirp-free puls” ,phys .Rev. A 82(2010) 053822

[6] Peng-Cheng Li, I-Lin Liu, Shih-I Chu, “optimization of three –color laser field for the generation of single ultrashort attosecond pulse”, Optical Societ of America (2011)

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]