Downloaded from opsi.ir at 16:52 +0330 on Friday September 22nd 2017

تاثیرات مثبت اعمال چیرپ غیرخطی بر میدان لیزر سه رنگی به منظور تولید پالس کوتاه تر آتوثانیه

شکوفه آتش سخن،سعید باطبی و فروغ حسین زاده

دانشکده فیزیک دانشگاه گیلان، خیابان نامجو، رشت

چکیده - در این مقاله، تاثیر فاز وابسته به زمان غیر خطی، "چیرپ"، بر میدان لیزری سه رنگی به منظور به دست آوردن پالس کوتاه آتو ثانیه مورد بررسی قرار گرفته است.لذا در جهت تولید طیف هماهنگ های مرتبه ی بالا برای میدان لیزری سه رنگی به حل معادله ی یک بعدی وابسته به زمان شرودینگر برای اتم هلیوم پرداخته ایم .نتایج شبیه سازی نشان داده است که اعمال چیرپ غیر خطی بر میدان لیزری سه رنگی باعث گسترش ناحیه ی تخت و افزایش فرکانس قطع در طیف هماهنگ های مرتبه ی بالا شده است و در نتیجه موفق به تولید پالس کوتاه *79* آتو ثانیه شده ایم.

کلید واژه- پالس آتو ثانیه، چیرپ، میدان لیزر سه رنگی، هماهنگ های مرتبه ی بالا

The positive effects of applying nonlinear chirp to a three color laser field in order to generate a shorter attosecond pulse

Shokoofeh Atash Sokhan,Saeed Batebi, and Forouq Hosseinzadeh

Department of Physics, University of Guilan, Rasht

Abstract- In this paper ,in order to achieve a short attosecond pulse, the effects of nonlinear time dependent phase, "chirp", on a three color laser field has been studied. So, with the propuse of producing high order harmonics for a three color laser field, we have solved the time dependant 1D Schrodinger equation for single Helium atom . Result of simulation has shown that applying nonlinear chirp to a three color laser field has caused the extension of plateau and The cutoff frequency in the harmonic spectra and as a result we have succeed to produce a short 79 attosecond pulse.

Keywords: attosecond ,cut off ,nonlinear chirp ,plateau

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

Downloaded from opsi.ir at 16:52 +0330 on Friday September 22nd 2017

۱- مقدمه

برای مطالعه ی فرایندهای فوق سریع در مقیاس های زمانی نانوثانیه تا فمتوثانیه، لیزرهای توان بالا و فوق سریع به طور گسترده ای مورد استفاده قرار گرفته اند.در مولکول ها دوره ی تناوب حرکت های چرخشی و ارتعاشی به ترتیب از مرتبه ی پیکو و فمتو ثانیه هستند در نتیجه لیزر های فمتوثانیه ای ابزاری مناسب جهت مطالعه ی دینامیک مولکول هاهستند.مطالعه ی دینامیک های الکترونی نیازمند پالس های فوق کوتاه و حتی از مرتبه ی آتو ثانیه است.دانش آتوثانیه شامل مطالعه پدیده هایی است که در مقیاس زمانی بسیار کوتاه رخ می دهند. از دانش آتوثانیه برای مطالعه واکنش های شیمیایی ، تغییر در ساختار مولکولی و دینامیک الکترون های مقید استفاده می شود. تا به امروز تولید هاهنگ های مرتبه بالا در محیط های گازی مهم ترین روش برای تولید پالس های آتوثانیه بوده اند. روند تولید هماهنگ های مرتبه بالا می تواند به وسیله مدل نیمه کلاسیکی سه مرحله ای توصیف شود[1].

در مرحله ی اول الکترون به واسطه ی تونل زنی از قید هسته که پتانسیل آن در اندرکنش با میدان لیزر فرودی تغییر شکل داده است خارج می شود، در مرحله ی دوم الکترون در میدان لیزر نوسان و انرژی جنبشی کسب می کند، نهایتا در مرحله ی سوم انرژی جنبشی خود را در زمان بازترکیب با هسته ی مادر با مقدار :

$$E_{ctoff} = I_p + 3.17U_p \qquad (1)$$

به نهشت می گذارد. در این رابطه Ip انرژی یونیزاسیون و U_p پتانسیل پاندرماتیو(متوسط انرژی جنبشی اکتسابی الکترون در میدان الکتریکی) با مقدار $U_p = I_0/4\omega_0^2$ که I_0 و ω_0 به ترتیب شدت و فرکانس زاویه ای لیزر فرودی است.[3] لازم به ذکر است که تمامی محاسبات در واحد (a.u)[۳] است.

۲- حل تئوری

در این مقاله محاسبات بر اساس حل عددی معادله ی شرودینگر وابسته به زمان در یک بعد (TDSE)[۴] با درنظر گرفتن تک الکترون شتاب گرفته شده و پتانسیل کولنی هموار شده انجام پذیرفته است.

میدان لیزری فرودی را سه رنگی و به صورت زیر در نظر می گیریم:

$$E(t) = E_1 f_1(t)\cos(\omega_1(t) + \varphi_1) + E_2 f_2(t)\cos(\omega_2(t) + \varphi_2)$$
$$+ E_3 f_3(t)\cos(\omega_3(t) + \varphi_3) \qquad (2)$$

که در آن E_1, E_2, E_3 به ترتیب دامنه های میدان اصلی، کنترلی اول و کنترلی دوم می باشند.

$f_i(t)$ پوش گوسی میدان لیزر فرودی با رابطه ی زیر:

$$f_i(t) = 2\ln 2\left(\left(t/\tau_i\right)^2\right) \qquad (3)$$

تعریف می شود.که در آن $i = 1,2,3$ و τ_i تمام پهنا در نیم بیشینه[۴] و اصطلاحا مدت تپش میدان لیزر نام دارد. $\omega_{1,2,3}$ و $\varphi_{1,2,3}$ نیز فرکانس زاویه ای و فاز مربوط به میدان اصلی و کنترلی اول و دوم است.

با در دست داشتن تابع موج $\psi(x,t)$ شتاب دو قطبی القایی وابسته به زمان با استفاده از قضیه ی اهرنفست از رابطه ی زیر قابل محاسبه است[2] :

$$d(t) = \left\langle \psi(x,t) \right| - \frac{\partial V(x)}{\partial x} + E(t) \left| \psi(x,t) \right\rangle \qquad (4)$$

طیف HHG از تبدیل فوریه ی شتاب دو قطبی به دست می آید:

$$P_q(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^T d(t) e^{-i\omega t} \qquad (5)$$

در نتیجه پالس آتو ثانیه از بر هم نهی چندین مرتبه از هماهنگ ها حاصل می شود:

$$I(t) = \left| \sum_q d_q e^{-iq\omega t} dt \right|^2 \qquad (6)$$

$$d_q = \int d(t) e^{-iq\omega t} dt \qquad (7)$$

که به دلیل جفت شدگی فازی در هماهنگ های نزدیک بسامد قطع در طیفHHG، qها از این ناحیه انتخاب می شوند.

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

Downloaded from opsi.ir at 16:52 +0330 on Friday September 22nd 2017

۳- تجزیه و تحلیل

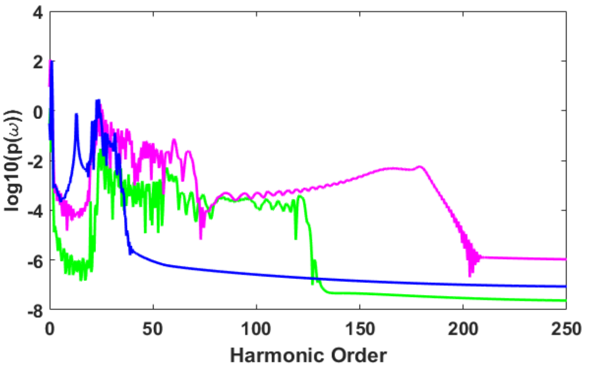
در ابتدا، طیف هماهنگ های مرتبه ی بالا را برای سه میدان لیزر تک رنگ، دو رنگ و سه رنگ مورد بحث و مقایسه قرار می دهیم.میدان های انتخابی دارای شرایطی بدین شرح هستند :

$$\lambda_1 = 800nm, \lambda_2 = 1600nm, \lambda_3 = 2400nm$$

$I_1 = 1\times 10^{14} W/Cm^2$ ، $I_2 = 1.2\times 10^{14} W/Cm^2$

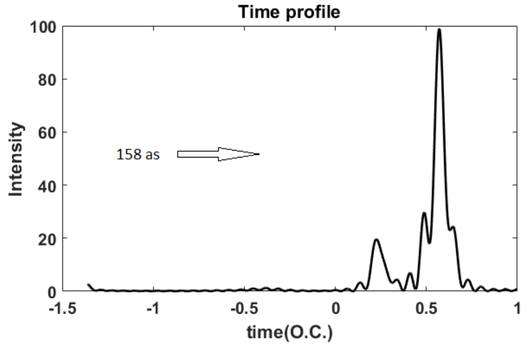
$I_3 = 1.5\times 10^{14} W/Cm^2$ ، $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = 2.5fs$ و فاز $\varphi_1 = \pi, \varphi_2 = 0, \varphi_3 = -\pi/2$ که I_1, τ_1, φ_1 پارامترهای وابسته به میدان اصلی هستند.

همانطور که در شکل (۱) پیداست، طیف هماهنگ های مرتبه ی بالا در لیزر سه رنگی از ناحیه ی تخت گسترده تر و در نتیجه از فرکانس قطع بالاتری نسبت به دو رقیب تک رنگ و دو رنگ خود برخوردار است.نوسانات کم، فرکانس قطع بالاتر و همچنین بازده ی بهینه ی طیف هماهنگ ها درمیدان لیزری سه رنگ سبب می شود تا این میدان به عنوان میدان الکتریکی لیزر فرودی بر گاز مورد آزمایش(He) جهت تولید پالس آتو ثانیه برگزیده شود.[4]

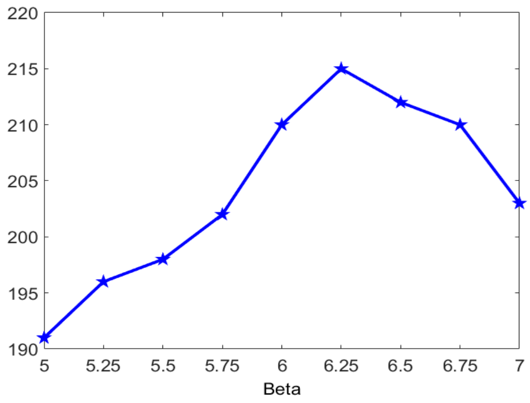


شکل ۱: طیف هاهنگ های مرتبه ی بالا برای میدان لیزر تک رنگ (نمودار آبی)،لیزر دو رنگ(نمودار سبز) ولیزر سه رنگ (نمودار بنفش)

در شکل (۲) با بر هم نهی هماهنگ های ۱۸۰-۱۳۰ از طیف هماهنگ های حاصل از میدان لیزری سه رنگ پالس 158 asحاصل شد که تک پالس منفرد مطلوبی نبوده است.پیرو دستیابی به تک پالس منفرد با کمینه ی پهنا در نیم بیشینه و شدت مطلوب و همچنین طیف هماهنگ هایی با فرکانس قطع بالاتر و ناحیه ی تخت گسترده تر برآن شدیم تا فاز وابسته به زمان غیرخطی،"چیرپ"، را در میدان اصلی جایگزین فاز ثابت $\varphi_1 = \pi$ کنیم. چیرپ غیر خطی $-\beta\tanh\left(\frac{t}{\tau}\right)$ را در میدان اصلی جایگزین φ_1 شد. β پارامتر چیرپ و τ را $600a.u.$ برگزیده شدند.

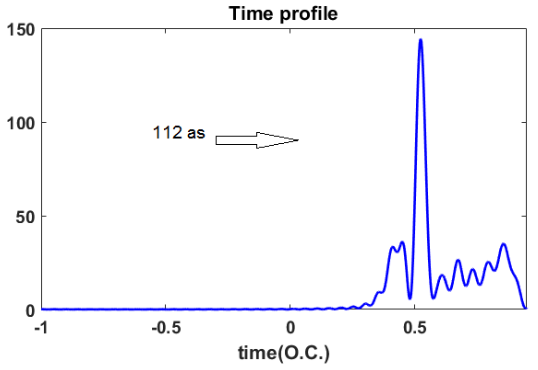


شکل ۲: پالس آتوثانیه تولید شده توسط میدان لیزری سه رنگ



شکل ۳: نمودار پارامتر چیرپ بر حسب هماهنگ ها که بیشینه ی آنها در ۶,۲۵ می باشد.

طبق شکل (۳) با تغییر پارامتر چیرپ از ۵ تا ۷ بیشینه ی فرکانس قطع هماهنگ ها در $\beta = 6.25$ حاصل شد[5].پالس به دست آمده از این تغییر، در شکل (۴) به نمایش گذاشته شده است.پالسی به پهنای 112 asبا برهم نهی هماهنگ های 179-123 تولید شد که نسبت به پالس حاصل از میدان لیزری بدون چیرپ مطلوب تر است.

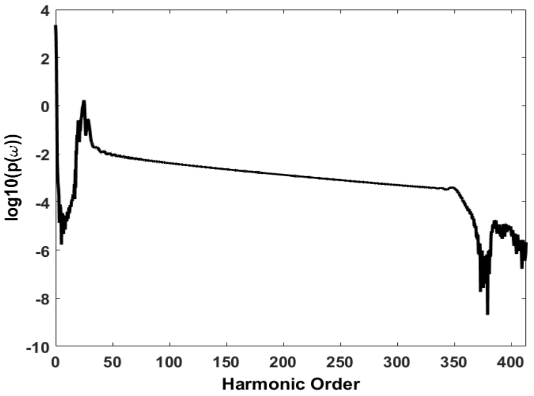


این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

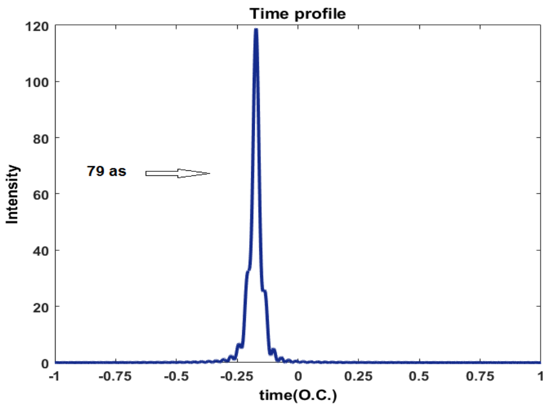
Downloaded from opsi.ir at 16:52 +0330 on Friday September 22nd 2017

شکل ۴: پالس آتو ثانیه از میدان لیزری سه رنگی که تنها میدان اصلی چیرپ دار است

با در دست داشتن پارامتر چیرپ بهینه، چیرپ به تمام میدان های اصلی، کنترلی اول و دوم در میدان لیزر سه رنگی افزوده می شود. طیف هماهنگ های حاصل شده از ناحیه ی تخت بسیار هموارتر،گسترده تر و همچنین فرکانس قطع بالاتری نسبت به حالات قبل برخوردار است.همانطور که از شکل (۵) و شکل (۶) پیداست،موقعیت بسامد قطع طیف در هارمونیک 350ام است همچنین پالس 79as با بر هم نهی هماهنگ های 260-350 تولید شده است.



شکل ۵: طیف هماهنگ های مرتبه ی بالا حاصل از میدان لیزری که هر سه میدان اصلی ، کنترلی اول و دوم چیرپ دار شده اند



شکل ۶: تک پالس منفرد آتو ثانیه حاصل از میدان لیزری که هر سه میدان اصلی ،کنترلی اول و دوم چیرپ دار شده اند

۴- نتیجه گیری

در این مقاله تولید هماهنگ های مرتبه ی بالا با استفاده از میدان لیزری سه رنگی در حالت بدون چیرپ، با اعمال چیرپ تنها به میدان اصلی و چیرپ دار شدن تمامی میدان های اصلی، کنترلی اول و دوم با حل معادله ی شرودینگر وابسته به زمان تک بعدی مورد بررسی قرار گرفت.مشاهده شد که وارد نمودن چیرپی با مقدار بهینه ی پارامتر چیرپ (β) مسبب افزایش دامنه ی میدان های فرودی و در نتیجه ی آن افزایش شدت پالس تولید شده و افزایش فرکانس قطع می شود[6].در این مقاله با وارد نمودن چیرپ $-\beta\tanh\left(\frac{t}{\tau}\right)$ و بهینه مقدار ۶٫۲۵ برای پارامتر چیرپ در هرسه میدان لیزر سه رنگی به پالس کوتاه 79 as تولید شد.

مراجع

[1] M.hentschel, R. kieninger, Ch. spielmann et al.,Nature 414, 509(2001)
[2] Platonenko, V. T., Sterjantov, A. F., and Strelkov, V. V., *Laser Physics* ,Vol. 13, No. 4, 2003, pp. 443-449.
[3] Xu Cao,1 Shicheng Jiang,1 Chao Yu,1 Yunhui Wang,1 Lihua Bai,2,4 and Ruifeng Lu1,3,* " Generation of isolated sub-10-attosecond pulses in spatially inhomogenous two-color fields",Optical Society of America-(211)
[4] Peng-Cheng Li, I-Lin Liu, Shih-I Chu, "Optimization of three-color laser field for the generation of single ultrashort attosecond pulse'', Optical Society of America-(2011)
[5] Liqiang Feng1 and Tianshu Chu1,2," Generation of an isolated sub-40-as pulse using two-color laser pulses: Combined chirp effects**",** PHYSICAL REVIEW A **84**, 053853-(2011)
[6] Zenghu Chang;"*Fundamentals of Attosecond Optics*";1st edition;Taylor and Francis group (2011), chapter 4

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