بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه سیستان و بلوچستان،
زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹

کد مقاله : ۱-۲ ۲۶۰- ۱۰-A

تاثیر شرایط غیر تشدید بر انتقال جمعیت حالت‌های هسته‌ای در اندرکنش لیزر اشعه ایکس با. ^{97}Tc

سمانه احدی خانقاه،مقصود سعادتی نیاری

گروه فیزیک، دانشکده علوم ، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل-ایران

Samaneahadi.1372@gmail.com, m.saadati@uma.ac.ir

چکیده - در این مقاله تاثیر واکوکی برانتقال جمعیت حالت‌های هسته‌ای در اندرکنش لیزرهای اشعه ایکس با هسته متحرک بررسی شده است. برای این کار ابتدا فرض را براین گرفتیم که هسته متحرک با دو پالس لیزری اشعه ایکس اندرکنش می‌کند و فاکتور نسبیتی طوری تنظیم می‌شود که با استفاده از پدیده دوپلر نسبیتی شرایط تشدیدی بین فرکانس لیزر اشعه ایکس و فرکانس‌های گذار هسته برقرار باشد. در ادامه با در نظر گرفتن حالت غیر تشدیدی، تاثیر واکوکی بر انتقال جمعیت، مورد بررسی قرار گرفته است. برای مطالعه عددی نیز از معادله لیوویل استفاده خواهد شد.

کلید واژه- انتقال جمعیت،لیزر اشعه ایکس، واکوکی، هسته.

The effect of non-resonantcondition on population transfer of nuclear state in the interaction of X-ray laser with ^{97}Tc .

SamaneAhadi-Khanghah, MaghsodSaadati-Niari

Department of Physics, Faculty of Sciences, University of MohagheghArdabili, Ardabil, Iran

Samaneahadi.1372@gmail.com, m.saadati@uma.ac.ir

Abstract- The effect of detuning on the population transfer ofnuclear state in the interaction of X-ray lasers with accelerated nuclei has been investigated. It is first assumed that the accelerated nuclei ^{97}Tc interacts with two X-ray laser pulses and the relativity factor is adjusted so that, using the relativistic Doppler phenomenon, the resonant condition between the X-ray laser frequency and the transition frequency between levels are established. In the following, considering the non-resonant condition, the effect of detuning on the population transfer has been investigated.

Keywords: detuning, nuclei, population transfer, X-ray.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

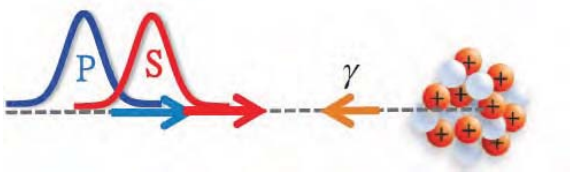
مقدمه

انتقال همدوس جمعیت حالت‌های کوانتومی در اندرکنش لیزر با ماده یکی از شاخه‌های مهم اپتیک کوانتومی می‌باشد. با توسعه ساخت لیزرهای پالسی، تکنیک‌های مختلفی برای انتقال جمعیت حالت‌های اتمی پیشنهاد شده است که یکی از مهم ترین این تکنیک‌ها، روش گذار بی درو تحریکی رامان [۱] می‌باشد. در این روش از دو پالس تاخیری پمپ و استوکس برای انتقال جمعیت در سیستم‌های سه ترازی Λ –گونه استفاده می‌شود. با پیشرفت‌هایی که اخیرا در زمینه ساخت لیزرهای اشعه ایکس به کار گرفته شده‌است، انتقال جمعیت در سیستم‌های هسته‌ای با استفاده از لیزر اشعه ایکس است. در مراجع [۳و۲] روش گذار بی درو تحریکی رامان برای انتقال جمعیت حالت‌های هسته‌ای با استفاده از لیزر اشعه ایکس پیشنهاد شده است. در این طرحواره پیشنهادی، هسته بصورت شتابدار در نظر گرفته شده است و بااستفاده از اثر دوپلر نسبیتی حالت تشدید بین فرکانس لیزر اشعه ایکس و فرکانس گذار بین ترازها برقرار گردیده است. همچنین در مراجع [۵و۴] از روش زنجیره پالس‌های همپوشان برای انتقال جمعیت حالت‌های هسته‌ای در سیستم‌های سه ترازی و چهار ترازی استفاده شده است.

در تمام طرحواره‌های پیشنهادی تاکنون سیستم در حالت تشدید کامل بوده است. یعنی فاکتور نسبیتی مربوط به حرکت هسته طوری محاسبه می‌شود که فرکانس لیزر مشاهده شده توسط هسته با فرکانس گذار هسته‌ها برابر باشد. در این مقاله اثر حالت غیرتشدیدی بر انتقال جمعیت در هسته سه ترازی ^{97}Tc بررسی خواهد شد. برای این کار واکوکی برای سیستم در نظر گرفته شده و تاثیر مقادیر مختلف واکوکی بر انتقال جمعیت بررسی خواهد شد.

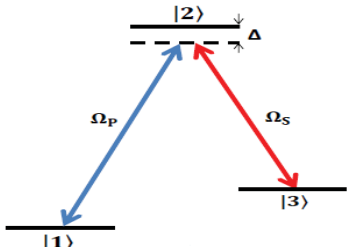
هامیلتونی موثر اندرکنش لیزر اشعه ایکس با هسته شتابدار در حالت تشدیدی

اندرکنش هسته سه ترازی متحرک با دو پالس لیزری اشعه ایکس که یکی از پالس‌ها پالس پمپ و دیگری پالس استوکس نامیده می‌شود، درنظر می‌گیریم. شکل۱، طرحواره آزمایشگاهی این اندرکنش را نشان می‌دهد.



شکل۱: طرحواره آزمایشگاهی اندرکنش هسته شتابدار با دو پالس لیزری اشعه ایکس

هامیلتونی اندرکنش لیزر اشعه ایکس با هسته شتابدار بصورت زیر می‌باشد. همچنین الگوی جفت شدگی هسته با لیزر اشعه ایکس طبق الگوی زیر است:



شکل۲: الگوی جفت شدگی لیزر اشعه ایکس با هسته

هامیلتونی مؤثر اندرکنش لیزر اشعه ایکس با هسته در زیر فضای $s=\{|1\rangle,|2\rangle,|3\rangle\}$ در حالت تشدید دو فوتونی بصورت زیر است:

$$H=\frac{1}{2}\begin{pmatrix} 0 & \Omega_P(t) & 0 \\ \Omega_P(t) & 2\Delta & \Omega_S(t) \\ 0 & \Omega_S(t) & 0 \end{pmatrix} \quad (۱)$$

Δ واکوکی است و از رابطه زیر بدست می‌آید[۶]:

$$\Delta=(E_2-E_1)-[\gamma(1+\beta)\hbar\omega_P]=(E_2-E_3)-[\gamma(1+\beta)\hbar\omega_S] \quad (۲)$$

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

در رابطه بالا، E_i نشان دهنده انرژی ترازها، $\beta = v/c$ نسبت سرعت هسته به سرعت نور در خلا، $\gamma = \sqrt{1-(v/c)^2}$ فاکتور نسبیتی، $\hbar\omega_P$ انرژی فوتون لیزر پمپ و $\hbar\omega_s$ انرژی فوتون لیزر استوکسمی‌باشدترازهای‌انرژی $E_1 = 96.5kev$ و $E_2 = 657kev$ و $E_3 = 324kev$ در ^{97}Tc را در نظر می‌گیریم. ابتدا فرض می‌کنیم که حالت تشدید یعنی $\Delta = 0$ برقرار باشد. مقدار $\hbar\omega_P = 12.4kev$ در نظر گرفته می‌شود. با استفاده از رابطه (۲) مقدار فاکتور نسبیتی $\gamma = 22.6$ و $\hbar\omega_s = 7.36kev$ بدست می‌آید.

انتقال جمعیت با استفاده از روش گذار بی درو تحریکی رامان در حالت تشدیدی

در روش گذار بی درو تحریکی از دو پالس گوسین استفاده می‌کنیم که پالس استوکس مقدم بر پالس پمپ است. فرکانس‌های رابی مربوط به اندرکنش هسته شتابدار با لیزر بصورت زیر است[۷]:

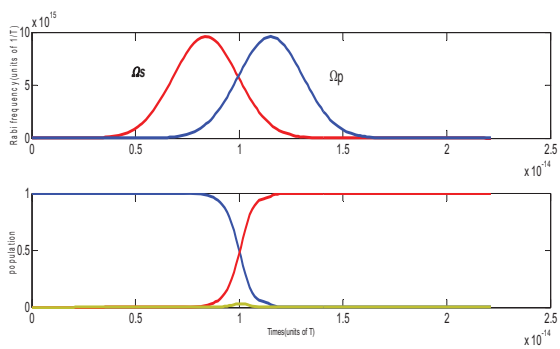
$$\Omega_P(t) = \frac{4\sqrt{\pi}}{\hbar}\left(\frac{\gamma^2(1+\beta)^2 I_P^{eff}(L_{21}+1)(2I_1+1)B_{21}}{c\varepsilon_0 L_{21}}\right)^{\frac{1}{2}} \times \frac{k_{21}^{L_{21}-1}}{(2L_{21}+1)!!}\exp\left[-\left(\frac{\gamma(1+\beta)(t-\tau)}{\sqrt{2}T_P}\right)^2\right] \quad (۳)$$

$$\Omega_s(t) = \frac{4\sqrt{\Pi}}{\hbar}\left(\frac{\gamma^2(1+\beta)^2 I_s^{eff}(L_{23}+1)(2I_3+1)B_{23}}{c\varepsilon_0 L_{23}}\right)^{\frac{1}{2}} \times \frac{k_{23}^{L_{23}-1}}{(2L_{23}+1)!!}\exp\left[-\left(\frac{\gamma(1+\beta)(t+\tau)}{\sqrt{2}T_s}\right)^2\right] \quad (۴)$$

در روابط بالا $L_{23} = 1, L_{31} = 2$ نشان دهنده مرتبه گذار الکتریکی، k_{21} و k_{23} عدد موج مربوط به گذارهای I_1 و I_3 نشان‌دهنده اسپین ترازهای زمینه و $B_{21} = 500wu$ و $B_{23} = 6.7\times10^{-5}wu$ احتمال گذار چند قطبی در واحد وایسکوف می‌باشد. همچنین $T_p = T_s = 10^{-13}s$ نشان دهنده پهنای لیزری پالس‌ها و 2τ تاخیر زمانی پالس‌ها است. برای بررسی عددی از معادله لیوویل بصورت زیر استفاده می‌کنیم:

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} = -\frac{i}{\hbar}[H,\rho] + \rho_s \quad (۵)$$

که در رابطه بالا ρ ماتریس چگالی و ρ_s جمله مربوط به اثر گسیل خودبه خودی به داخل سیستم می‌باشد. شکل زیر نمودار تحول زمانی فرکانس رابی و جمعیت برحسب زمانبرای ^{97}Tc را بدون در نظر گرفتن گسیل خودبه-خودی نشان می‌دهد.در این مطالعه $I_P^{eff} = 2.86\times10^{25}\frac{W}{cm^2}$، $I_s^{eff} = 8.42\times10^{27}\frac{W}{cm^2}$ و $\tau = 10^{-14}s$ در نظر گرفته شده است. همچنین برای $k_{21} = 2.84\times10^{12}\frac{1}{\text{cm}}$ و $k_{23} = 1.68\times10^{12}\frac{1}{\text{cm}}$ در نظر گرفته شده است.

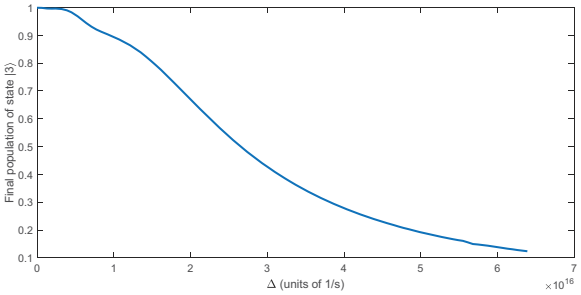


شکل۳: فرآیند گذار بی درو تحریکی رامان در ^{97}Tc، که پالس استوکس بر پمپ مقدم است و در چارچوب آزمایشگاهی $T_p = T_s = 10^{-13}s$ است.

تاثیر واکوکی بر انتقال جمعیت

دراین بخش فرض می‌کنیم که سیستم در حالت تشدیدی نباشد یعنی $\Delta \neq 0$ باشد، می‌خواهیم تاثیر واکوکی بر انتقال جمعیت را بررسی کنیم. شکل ۴ جمعیت نهایی تراز ۳ را برای واکوکی‌های مختلف نشان می‌دهد.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.



شکل۴: رابطه جمعیت نهایی تراز $|3\rangle$ و واکوکی‌های مختلف در ^{97}Tc ، با کاهش واکوکی شاهد افزایش بازده انتقال جمعیت هستیم.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، تاثیر واکوکی‌های مختلف بر بازده انتقال جمعیت بررسی شد. مشاهده کردیم که در حالتی که زمان همدوسی تپ‌های پمپ و استوکس کوچک‌تر از $10^{-14}s$ است،بازده انتقال جمعیت کاهش پیدا می‌کند. اگر شرایط گذار بی‌درو تحریکی رامان را برقرار کنیم اثر ناهمدوسی حاصل از واکوکی فازی تپ‌های لیزری را کاهش نمی‌دهد. دراین حالت جمعیت به طور کامل منتقل نمی‌شود به همین علت با استفاده از محاسبات عددی معادله لیوویل با شرط واکوکی غیر صفر جمعیت را به طور کامل بدون مداخله تراز واسطه به تراز نهایی منتقل کردیم. دلیل انتخاب عنصر ^{97}Tc در این پژوهش این بود که نیمه عمر حالت تحریکی مناسبی دارد.

مرجع‌ها

[1] Vitanov, Nikolay V., Andon A. Rangelov, Bruce W. Shore, and Klaas Bergmann. "Stimulated Raman adiabatic passage in physics, chemistry, and beyond." Reviews of Modern Physics, Vol. 89, No. 1,p.015006, 2017.

[2] Liao, Wen-Te. *Nuclear coherent population transfer with x-ray laser pulses.In Coherent Control of Nuclei and X-Rays*, pp. 27-48. Springer, Cham, 2014.

[3] Liao, Wen-Te, Adriana Pálffy, and Christoph H. Keitel. "Three-beam setup for coherently controlling nuclear-state population." Physical Review C, Vol. 87, No. 5, p. 054609,2013.

[4] Nedaee-Shakarab, B., M. Saadati-Niari, and F. Zolfagharpour. "Nuclear-state population transfer by a train of coincident pulses." Physical Review C, Vol. 94, No. 5, p.054601, 2016.

[5] Nedaee-Shakarab, B., M. Saadati-Niari, and F. Zolfagharpour. "Nuclear-state engineering in tripod systems using x-ray laser pulses." Physical Review C, Vol. 96, No. 4, p. 044619, 2017.

[6] Liao, Wen-Te. "Nuclear coherent population transfer with x-ray laser pulses." In Coherent Control of Nuclei and X-Rays, pp. 27-48. Springer, Cham, 2014.

[7] Liao, Wen-Te, Adriana Pálffy, and Christoph H. Keitel."Three-beam setup for coherently controlling nuclear-state population." Physical Review C, Vol. 87, No. 5, p. 054609, 2013.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.