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 : ۱-۲۴۸۲-۱۰-A

مطالعه پذیرفتاری نوری غیرخطی در ساختارهای هیبرید اکسایتون-پلاسمون

مریم محمدبیگی، نادر دانشفر

گروه فیزیک، دانشگاه رازی، کرمانشاه

m.mohamadbeigi@stu.razi.ac.ir

چکیده – در این مقاله، پذیرفتاری‌های نوری غیرخطی مرتبه سوم و مرتبه پنجم یک مولکول هیبرید متشکل از یک کوانتوم دات و یک نانوذره پلاسمونیک کروی با استفاده از فرمالیزم ماتریس چگالی برای یک سیستم دوترازی مطالعه می شود. اثر فاصله بین نانوذره فلزی و نقطه کوانتومی روی پاسخ نوری غیرخطی نشان داده می شود.

کلید واژه-«نقطه کوانتومی،نانوذره فلزی، پذیرفتاری نور غیرخطی».

Study of nonlinear optical susceptibility in hybrid exciton-plasmon structures

Maryam Mohamadbeigi, Nader Daneshfar

Department of Physics, Razi University, Kermanshah

m.mohamadbeigi@stu.razi.ac.ir

Abstract- In this paper, the third- and fifth-order nonlinear optical susceptibilityof a hybrid molecule composed of asemiconductor quantum dot and a spherical plasmonic nanoparticle is studied using the density matrix formalism for a two-level system. The impact of distance between metallic nanoparticle and quantum dot on the nonlinear optical responseis shown.

Keywords: quantum dot, metal nanoparticle, nonlinear optical susceptibility.

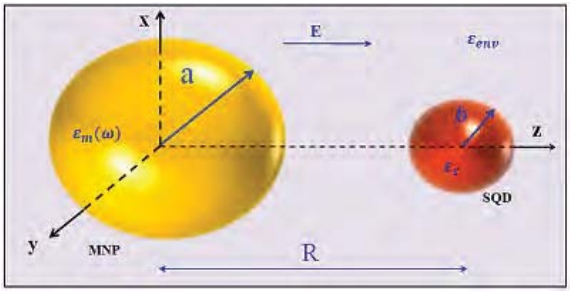
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

مقدمه

در سالهای اخیر، تحقیقات تجربی و نظری زیادی روی ساختارهای هیبریدی شامل نقطه کوانتومی نیمه رسانا و نانو ذرات فلزی انجام شده است. این ساختارهای هیبریدی از طریق حالتهای الکترونیکی کوانتومی یعنی اکسایتونها در نقاط کوانتومی و مدهای الکترومغناطیسی یا همان پلاسمونها در نانوذرات فلزی مشخص میشوند که بطور غیرمستقیمی توسط اندرکنش کولنی برهم اثر می-گذارند[۱]. هنگامیکه نقطه کوانتومی در مجاورت نانوذره فلزی قرار میگیرد در میدان الکترومغناطیسی که توسط سیستم کوانتومی احساس میشود تغییر قابل توجهی بوجود میآید که روی خواص نوری ساختار هیبریدی اثر می گذارد. از مهمترین پدیدههای حاصل از این ساختار می‌توان نوسانهای فرکانس رابی، انتقال جمعیت و نانو کلیدهای فراصوتی تنظیمپذیر را نام برد[۲]. در این مقاله با استفاده از فرمالیزم ماتریس چگالی برای سیستم دوترازی پذیرفتاری نوری غیرخطی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

مدل و تئوری مساله

مطابق شکل(۱)، نقطه کوانتومی به شعاع b و گذردهی $\boldsymbol{\varepsilon_s}$ توسط فاصله نانوذره ونقطه کوانتومی، R ، در مجاورت نانوذره فلزی با شعاع a و گذردهی $\boldsymbol{\varepsilon_m}$ در محیط میزبان قرار داده شده است.لازم به ذکر است که شعاع نقطه کوانتومی از فاصله بین ذرات و شعاع نانوذره بسیار کوچکتر است و این سیستم تحت تاثیر میدان الکترومغناطیسی $\vec{E}(t)=\vec{E}_0\cos(\omega t)$ در راستای محور $\hat{\boldsymbol{z}}$ ها قرار دارد [۱]. میدان اعمال شده، گذار بین باندی دو تراز $|1\rangle \rightarrow |2\rangle$ نقطه کوانتومی را با انرژی $\hbar\omega_0$ و پلاسمونهای سطح نانوذره فلزی را برانگیخته میکند.



شکل ۱: شمای ساده ای از نانوذره فلزی و نقطه کوانتومی که در محیط میزبان قرار دارند.

هامیلتونی سیستم دوترازی مطابق رابطه زیر نوشته می-شود[۳].

$$H=\hbar\omega_0|2\rangle\langle 2|-\mu E_{SQD}(|1\rangle\langle 2|+|2\rangle\langle 1|) \qquad (1)$$

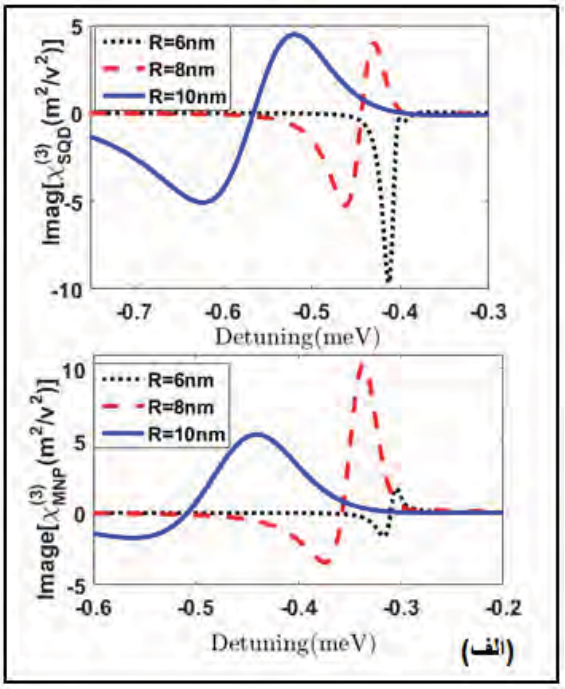
که E_{SQD} میدان الکتریکی درون کوانتوم دات و μ گشتاور دوقطبی آن است. با حل معادله ماتریس چگالی و استفاده از تقریب موج چرخان مولفه های ماتریس چگالی و اختلاف جمعیت بدست میآیند. بدون پرداختن به جزئیات و انجام عملیات جبری، پذیرفتاری‌های غیرخطی مرتبه سه و پنج برای نقطه کوانتومی و نانوذره فلزی بدست می‌آیند [۱و۳] که عبارتند از:

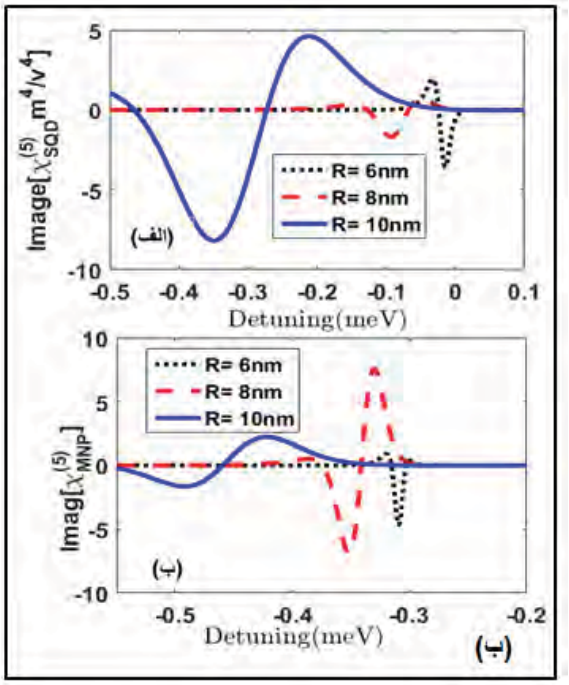
$$\chi^{(3)}_{SQD}=\frac{\Gamma}{V}\frac{4\mu^4\kappa|\kappa|^2}{3\hbar^3\varepsilon_0}\frac{T_1T_2^2(T_2\delta+i)[T_2(\delta+G_R)-i(1+T_2G_I)]^2}{[(1+T_2G_I)^2+T_2^2(\delta+G_R)^2]^3} \qquad (2)$$

$$\chi^{(5)}_{SQD}=-\frac{\Gamma}{V}\frac{8\mu^6\kappa|\kappa|^4T_1^2T_2^3}{5\hbar^5\varepsilon_0}\times\frac{(T_2\delta+i)[T_2(\delta+G_R)-i(1+T_2G_I)]^2[1+iT_2G+T_2^2(\delta^2-2|G|^2-\delta G)]}{[(1+T_2G_I)^2+T_2^2(\delta+G_R)^2]^5} \qquad (3)$$

$$\chi_{MNP}=\frac{3\gamma_1\varepsilon_{env}}{\varepsilon_0}+\frac{3\gamma_1 s_a V}{4\pi\varepsilon_{effs}\Gamma R^3}\chi_{SQD} \qquad (4)$$

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





اثر فاصله روی پذیرفتاری نوری غیرخطی

همانطور که از شکل (۲) مشاهده می شود پذیرفتاریهای غیرخطی مرتبههای سوم و پنجم برای مقدارهای مختلف فاصله بین نانوذره و نقطه کوانتوم برحسب پارامتر نامیزانی، $\delta = \omega - \omega_0$، رسم شده است. ثابت دیالکتریک نقطه کوانتومیو محیط $\Gamma/V = 5\times10^{23}\,m^{-3}, \varepsilon_{env} = \varepsilon_0, \varepsilon_S = 6\varepsilon_0$ ،همچنین $T_2 = 0.3ns, T_1 = 0.8ns, \hbar\omega_0 = 2.5eV$ میباشد[3].جنس نانوذره فلزی طلا در نظر گرفته شده است که پارامترهای مربوط به آن مطابق با رفرنس[۴و۵] می باشند.طیف پذیرفتاری غیرخطی نقطه کوانتومی و نانوذره فلزی برای قسمت موهومی $\chi^{(3)}$(الف) و هر دو قسمت حقیقی و موهومی $\chi^{(5)}$((ج) و (د))شکل‌هایی شبیه پاشندگی دارند در حالی‌که قسمت حقیقی $\chi^{(3)}$ (ب) شکل جذبی دارد[۳]. در تمام موارد بررسی شده، با افزایش فاصله مرکز به مرکز نانوذره فلزی و نقطه کوانتومی، طیف متحمل جابجایی فرکانسی می‌شود و انتقال فرکانسی نسبت به نامیزانی منفی است. علاوه براین، با افزایش فاصله بین نانوذره پلاسمونیک و نقطه کوانتومی، پهنای طیف تشدیدی افزایش می‌یابد.

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

نتیجه‌گیری

در نتیجه، پذیرفتاریهای نوری غیرخطی مرتبه بالا حاصل از یک مولکول هیبریدی متشکل از یک نانوذره طلاکه در مجاورت یک نیمرسانا همچون یک نقطه کوانتومی قرار گرفته بررسی شدند. با حل معادلات ماتریس چگالی، پذیرفتاریهای مرتبه سوم و پنجم برای سیستم هیبریدی محاسبه شد و برحسب پارامتر نامیزانی رسم گردید. مشاهده شد که این پاسخ نوری غیرخطی سیستم هیبریدی در نظرگرفته شده به شدت به فاصله بین نانوذره و نقطه کوانتومی وابسته است.

مرجع‌ها

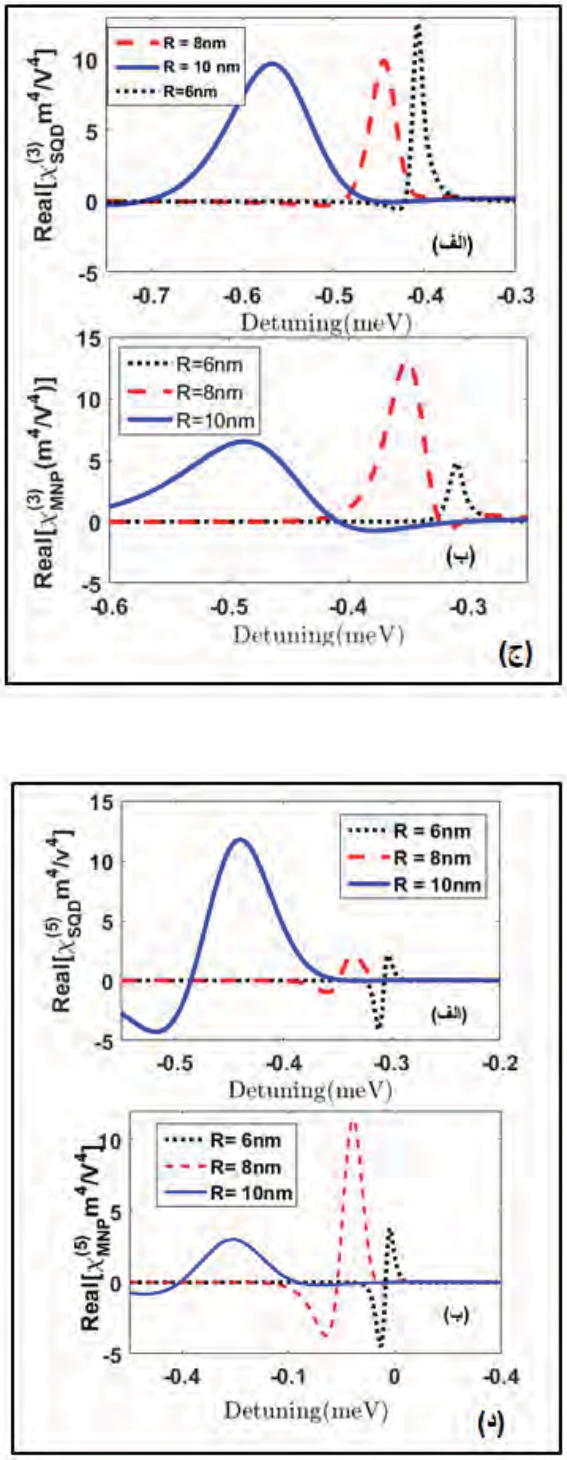
[1] Y. Jie-Yun, et.al .“Optical properties of coupled metal-semiconductor and metal-molecule nanocrystal complexes: Role of multipole effects”,Physical Review B, Vol. 77, pp.165301, 2008.

[2] R. D. Artuso and G. W. Bryant, “Strongly coupled quantum dot-metal nanoparticle systems: Exciton-induced transparency,discontinuous response, and suppression as driven quantum oscillator effects,” Phys. Rev. B, Vol. 82, 195419-1, 2010.

[3] A. F. terzis, S. G. Kosionis, J. Bovitsis and E. Paspalakis, “Nonlinear optical susceptibilities of semiconductor quantum dot – metal nanoparticle hybrids,”Jornal of Modern Optics, Vol. 63(5), 451-261, 2015.

[4] P. R. West, S. Ishii, G. V. Naik, N. K. Emani, V. M. Shalaev and A. Boltasseva, “Searching for better plasmonic materials,” Laser andphotonics Rev, Vol. 4(6), 795-808, 2010.

[5] S. G. Kosionis, A. F. Terzis, S. M. Sadeghi, E. Paspalakis, “Optical response of a quantum dot–metalnanoparticle hybrid interacting with a weak probe field,” J. Phys.: Condens. Matter 25, 0453042013.



شکل۲: نمودار نرمالیزه شده پذیرفتاریهای مرتبه سوم و پنجم سیستم کوانتومی - نانوذره فلزی برحسب تابعی از نامیزانی δ.

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