

مقایسه ی دوپایداری نوری در دو سامانه اپتومکانیکی ترکیبی متفاوت: اثر مولکول های نقطه کوانتومی

نادر دانش فرا^۱، حمید رضا فروغی^{*}

۱. گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه رازی، کرمانشاه

پست الکترونیکی: hamidrezaforoughi477@gmail.com

چکیده

در این مقاله، دوپایداری نوری در سامانه های اپتومکانیکی ترکیبی شامل دو کاواک (اپتومکانیکی و معمولی) که به همدیگر جفت شده اند و شامل مولکول های نقطه کوانتومی (QDMs) است، مورد بررسی و مقایسه قرار می گیرد. برای این منظور، دو پیکربندی متفاوت مورد مطالعه قرار می گیرد: در پیکربندی اول مولکول های نقطه کوانتومی (QDMs) درون کاواک اپتومکانیک و در پیکربندی دوم مولکول های نقطه کوانتومی درون کاواک معمولی قرار دارند. برای محاسبه دینامیک عملگرهای سامانه از رهیافت هایزنبرگ - لانژوین تحت تقریب میدان میانگین استفاده می شود. برای دستیابی به پدیده دوپایداری نوری، که در کلیدهای نوری و حافظه های نوری کاربرد دارد، معادلات دینامیکی سامانه در حالت پایا حل می شوند. اثر پارامترهای فیزیکی سامانه از جمله نامیزانی، تعداد مولکول های نقطه کوانتومی، شدت تونل زنی میدان خارجی روی پدیده دوپایداری نوری مطالعه می شود. علاوه بر این، آستانه ی کلید زنی و پهنای ناحیه دوپایداری نوری در دو پیکربندی مختلف با هم مقایسه می شود. با توجه به اینکه پدیده دوپایداری نوری می تواند کاربردهای بالقوه ای در کلید های تمام نوری، ترانزیستورهای نوری، محاسبات کوانتومی و ارتباطات کوانتومی داشته باشد نتایج بدست آمده می تواند برای کاربردهای ذکر شده و بهینه سازی سامانه مفید باشد.

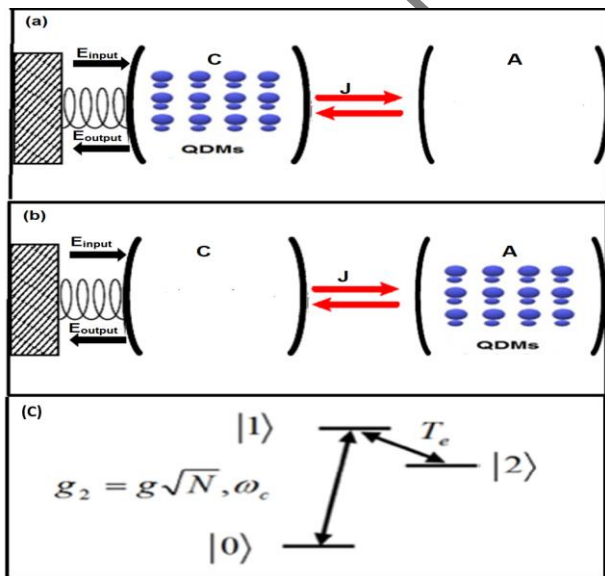
واژه های کلیدی: کاواک اپتومکانیک ترکیبی، دوپایداری نوری، مولکول نقطه کوانتومی

۱. مقدمه

پرو با آینه های ثابت و جفت شدگی بین میدان درون کاواک و غشاء نوسان کننده سامانه اپتومکانیک ایجاد کرد. گروه والتر اولین بار تاثیرات فشار تابشی ناشی از میدان درون کاواک بر آینه ی ماکروسکوپ مشاهده و بررسی کرد [۳]. در سامانه های اپتومکانیک یکی از آینه های انتهایی می تواند آزادانه در محدوده معینی حرکت نوسانی انجام دهد و مد مکانیکی ایجاد کند که این مد مکانیکی می تواند با مد میدان درون کاواکی به وسیله ی فشار تابشی جفت شود، این نوع از برهم کنش بین نور و ماده (آینه ماکروسکوپی) که در آن فشار

سامانه های اپتومکانیک از جمله ساختارهای بسیار با اهمیت در اپتیک کوانتومی به شمار می آیند که در آنها مد میدان درون کاواک با مد نوسانگر مکانیکی از طریق فشار تابشی جفت شدگی ایجاد می کند [۲۱]. سامانه اپتومکانیک از یک کاواک فابری - پرو با یک آینه انتهایی ثابت و آینه ی دیگر با قابلیت نوسان تشکیل می شود و همچنین می توان با قرار دادن یک غشاء بسیار سبک با قابلیت نوسان، درون یک کاواک فابری-

کوانتومی (دو یا چند نقطه کوانتومی که توسط تونل زنی جفت شده اند، مولکولهای نقطه کوانتومی را تشکیل می دهند که دارای خواص اپتیکی و فیزیکی منحصر به فردی هستند [۱۶]) که با یک کاواک اپتیکی با هم جفت شده اند، و در دومی کاواک اپتومکانیکی و کاواک اپتیکی حاوی مجموعه ای مولکول های نقطه کوانتومی می باشد، می پردازیم، نقاط کوانتومی به دلیل قابلیت تنظیم پذیری در ترازهای انرژی و ضریب غیرخطیت بالا در دهه های اخیر بسیار مورد توجه بوده اند و چون مولکول های نقطه کوانتومی از کنار هم قرار گرفتن دو یا چند نقطه کوانتومی ایجاد می شوند، با اعمال ولتاژ و تونل زنی بین نقاط کوانتومی دارای خواص نوری غیرخطی بالایی بوده و این ویژگی آنها در ایجاد پدیده های غیرخطی از جمله دوپایداری نوری مورد استفاده قرار داده ایم [۱۷]. در این سامانه مورد نظر ما که شامل مولکول های نقطه کوانتومی هست پدیده دوپایداری نوری مورد بررسی قرار داده و با هم مقایسه می کنیم. در این سامانه اثر پارامترهای فیزیکی مختلف در رفتار و ویژگی های دوپایداری نوری مورد بررسی قرار می گیرد.



شکل ۱. دیاگرام سامانه اپتومکانیک ترکیبی متشکل از دو کاواک جفت شده، کاواک (C) کاواک اپتومکانیک و کاواک (A) کاواک معمولی. (a) و (b)، ساختار انرژی مولکول نقطه کوانتومی (c)

تابشی ناشی از میدان درون کاواکی توانایی جابجا کردن یک جسم ماکروسکوپی دارد، را جفت شدگی اپتومکانیکی می نامند. سامانه ی که این پدیده در آن ایجاد می گردد را سامانه اپتومکانیک می گویند.

در سال های اخیر سامانه های اپتومکانیکی کاربردهای بسیار وسیعی در فیزیک تجربی و نظری داشته اند و توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده اند. کاربردهای این سامانه ها آنچنان قابل ملاحظه بوده است که می توان از آنها در حوزه های متنوعی از پژوهش های مرتبط با اپتیک کوانتومی از قابلیت ها و ویژگی های این سامانه ها استفاده کرد. با استفاده از سامانه های اپتومکانیکی می توان اصول مهمی از مکانیک کوانتومی را به صورت تجربی مورد آزمایش قرار داد [۴]. همچنین در زمینه های مربوط به پردازش اطلاعات کوانتومی و سردسازی نوسانگرهای مکانیکی تا نزدیک حالت پایه [۵]، مسدود سازی فوتون [۶]، سردسازی اجسام بزرگ مقیاس، آشکارسازی امواج گرانشی [۷]، ایجاد پدیده دوپایداری نوری [۸ و ۹]، تولید مخلوط چهار موج [۱۰]، ایجاد شفافیت القایی اپتومکانیکی [۱۱-۱۳] و همچنین فراهم کردن یک رهیافت برای انجام مطالعات بنیادی در زمینه گذار از مکانیک کلاسیک به مکانیک کوانتومی [۱۴ و ۱۵] می توان اشاره کرد.

در سامانه های اپتومکانیکی برهم کنش بین میدان تابشی و آینه ی متحرک می تواند منجر به رفتار غیرخطی شود که این رفتار غیرخطی موجب بروز پدیده های متنوعی از جمله دوپایداری نوری در این سامانه ها می شود. هرگاه ساختار مورد بررسی برای هر شدت ورودی دو شدت خروجی پایدار داشته باشد، این پدیده را دوپایداری نوری می نامند که از آن می توان در ساخت کلید های تمام نوری استفاده کرد.

در بررسی سامانه های اپتومکانیکی به دلیل اینکه ارتباط این سامانه ها با محیط اطرافشان اجتناب ناپذیر می باشد، پس در نظر گرفتن و اعمال اتلاف ها در بررسی این سامانه ها امری بسیار مهم است. یکی از رهیافت های مهم برای بررسی اثرات اتلاف در سامانه های اپتومکانیکی رهیافت هایزنبیگ - لانژوین می باشد. ما به بررسی دو سامانه اپتومکانیکی که در اولی کاواک اپتومکانیکی حاوی مجموعه ای از مولکول های نقطه

۲. مدل فیزیکی سامانه و معادلات

مطابق شکل ۱ یک سامانه اپتومکانیکی که تشکیل شده است از دو کاواک A و C که با هم جفت شده اند، در نظر می گیریم. درون این سامانه ها N ملکول نقطه کوانتومی با ساختار انرژی نشان داده شده در شکل ۱ قسمت b قرار می گیرد که تشکیل شده اند از دو نقطه کوانتم با اندازه های مختلف است. برای بررسی تحولات دینامیکی عملگرهای سامانه مورد نظر، در رژیم اتلافی از رهیافت هایزنبرگ-لانژوین استفاده می کنیم. ابتدا هامیلتونی سامانه را نوشته که این هامیلتونی شامل تمام اجزاء موثر در این سامانه می باشد. بنابراین هامیلتونی سامانه به صورت زیر نوشته می شود:

$$H = H_0 + H_{I1} + H_{I2} \quad (۱)$$

در رابطه (۱) جمله اول بیانگر خود انرژی های سامانه است که به صورت زیر می باشد:

$$H_0 = \hbar\omega_a \hat{a}^+ \hat{a} + \hbar\omega_c \hat{c}^+ \hat{c} + \hbar \sum_{i=1}^N (\omega_{10} \sigma_{11}^i + \omega_{20} \sigma_{22}^i) + \frac{1}{2} \hbar\omega_m (X^2 + P^2) \quad (۲)$$

که جمله اول و دوم خود انرژی دو کاواک می باشند که در آن ω_c, c, c^+ ، به ترتیب فرکانس کاواک (C) و عملگرهای خلق و فنا در این کاواک و ω_a, a, a^+ ، به ترتیب فرکانس کاواک (A) و عملگرهای خلق و فنا در این کاواک می باشند. جمله سوم هامیلتونی مربوط به مولکول های نقطه کوانتوم است که $\sigma_{jj}^i, \omega_{j0}, j=1,2, i=1-N$ به ترتیب فرکانس مربوط به اختلاف انرژی دو تراز و جمعیت ترازها می باشند و جمله چهارم مربوط به نوسانگر هماهنگ (آینه متحرک کاواک (C)) که در آن X, P, ω_m به ترتیب فرکانس نوسانگر، عملگر تکانه بدون بعد و عملگر مکان بدون بعد است. همچنین جمله دوم معادله (۱) انرژی اندرکنشی مشترک در هر دو ساختار است که هامیلتونی مربوط به برهم کنش موجود در سامانه که در هر دو ساختار مشترک است به صورت:

$$H_{I1} = \hbar T_e \sum_{i=1}^N (\sigma_{12}^i + \sigma_{21}^i) + \hbar g_1 \hat{c}^+ \hat{c} X + J(c^+ a + a^+ c) + i\hbar E_p \sum_{i=1}^N (\hat{c} e^{-i\omega_i t} - \hat{c}^+ e^{i\omega_i t}) \quad (۳)$$

که قسمت اول اندرکنش میدان خارجی و کوانتوم نقطه مولکول ها، قسمت دوم جفت شدگی اپتومکانیکی و قسمت سوم بر همکنش میدان فرودی بر کاواک اپتومکانیک که در آنها $\omega_L, E_p, J, g_1, T_e$ به ترتیب قدرت تونل زنی، ثابت جفت شدگی اپتومکانیک، ضریب جفت شدگی بین کاواک ها و فرکانس لیزر تابشی است. جمله سوم در معادله (۱) مربوط به انرژی اندرکنشی برای دو ساختار نشان داده شده در شکل ۱ است و شامل دو جمله می باشد. هامیلتونی برهمکنشی مربوط به ساختار (a) شکل ۱ به صورت:

$$H_{I2a} = \hbar g_2 \sum_{i=1}^N (c\sigma_{11}^i - c^+ \sigma_{22}^i) \quad (۴)$$

هامیلتونی برهمکنشی مربوط به ساختار شکل (b) به صورت:

$$H_{I2b} = \hbar g_2 \sum_{i=1}^N (a\sigma_{11}^i - a^+ \sigma_{22}^i) \quad (۴)$$

در رابطه های بالا $g_2 = g\sqrt{N}$ که در آن N تعداد مولکول های نقطه کوانتومی و g قدرت جفت شدگی میدان کاواک و مولکول های نقطه کوانتومی می باشند.

اکنون با استفاده از تبدیل هولشتاین - پریمکاف اپراتورهای F و G را به صورت زیر تعریف می کنیم [۱۸]:

$$F = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=1}^N \sigma_{01}^i \quad (۵)$$

$$G = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=1}^N \sigma_{02}^i$$

دینامیک عملگرهای سامانه در رهیافت هایزنبرگ - لانژوین به صورت زیر می باشند:

$$\frac{dX}{dt} = \omega_m P \quad (۶)$$

$$\frac{dP}{dt} = -\gamma P - \omega_m X - ig_1 c^+ c$$

$$\frac{dB}{dt} = -(\gamma_2 - i\Delta_2)B - iT_e A$$

$$n = |c_s|^2 = \frac{E_p^2}{(\kappa_c + A_3) + (\Delta + A_4)}$$

$$A_3 = \frac{g_2^2(A_1\gamma_2 + A_2\Delta_2)}{A_1^2 + A_2^2} + \frac{J^2\kappa_a}{\kappa_a^2 + \Delta_a^2}$$

$$A_4 = \frac{g_2^2(-A_2\gamma_2 + A_2\Delta_2)}{A_1^2 + A_2^2} - \frac{J^2\Delta_a}{\kappa_a^2 + \Delta_a^2} \quad (9)$$

$$A_1 = \gamma_1\gamma_2 + T_e^2 - \Delta_1\Delta_2$$

$$A_2 = \gamma_1\Delta_2 + \gamma_2\Delta_1$$

رابطه مربوط به تعداد فوتون های درون کاواک اپتومکانیکی

برای ساختار (b) شکل ۱ به صورت زیر می باشد:

$$n = |c_s|^2 = \frac{E_p^2}{(\kappa_c + A_5) + (\Delta + A_6)}$$

$$A_5 = \frac{J^2(A_1A_3 + A_2A_4)}{A_3^2 + A_4^2}$$

$$A_6 = \frac{J^2(A_1A_3 - A_2A_4)}{A_3^2 + A_4^2}$$

$$(10) A_3 = \kappa_a A_1 + \Delta_a A_2 + g_2\gamma_2$$

$$A_4 = \kappa_a A_2 + \Delta_a A_1 + g_2\Delta_2$$

$$A_1 = \gamma_1\gamma_2 + T_e^2 - \Delta_1\Delta_2$$

$$A_2 = \gamma_1\Delta_2 + \gamma_2\Delta_1$$

با توجه به وجود پارامترهای مختلف که در ایجاد دوپایداری نوری در این سامانه موثر هستند، به بررسی تاثیر این پارامترها در ویژگی های دوپایداری نوری سامانه می پردازیم از جمله ایجاد دوپایداری نوری، آستانه دوپایداری و دامنه دوپایداری که موارد بسیار مهمی می باشند.

۳. نتایج عددی و بحث

در این بخش، نتایج عددی اثر پارامترهای فیزیکی بر رفتار دو پایداری نوری را برای سامانه های اپتومکانیکی ترکیبی پیشنهادی بررسی می کنیم. برای این منظور، پارامترهای در نظر گرفته شده در شبیه سازی و محاسبات عددی عبارتند از [۸]:

در معادله های بالا $\gamma, \gamma_1, \gamma_2$ به ترتیب واهلش ترازهای مولکول نقطه کوانتوم و ضریب میرایی نوسانگر مکانیکی هستند. Δ_2, Δ_1 به ترتیب نامیزانی بین فرکانس لیزر تابشی و اختلاف انرژی ترازهای او ۲ مولکول نقطه کوانتومی و تراز پایه می باشند.

برای ساختار (a) شکل ۱ داریم:

$$\frac{da}{dt} = -(\kappa_a - i\Delta_a)a - iJc + \sqrt{2\kappa_a}a_{in}(t)$$

$$\frac{dF}{dt} = -(\gamma_1 - i\Delta_1)F - iT_eG - ig_2c$$

$$\frac{dc}{dt} = -(\kappa_c - i\Delta_c)c - iJa + ig_1cX - ig_2F + E_p + \sqrt{2\kappa_c}c_{in}(t) \quad (7)$$

برای ساختار (b) شکل ۱ داریم:

$$\frac{da}{dt} = -(\kappa_a - i\Delta_a)a - iJc - ig_2F + \sqrt{2\kappa_a}a_{in}(t)$$

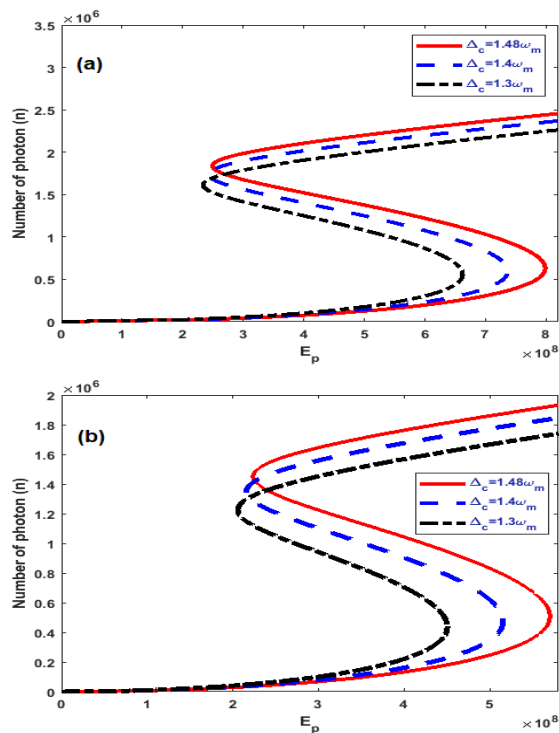
$$\frac{dF}{dt} = -(\gamma_1 - i\Delta_1)A - iT_eG - ig_2a$$

$$\frac{dc}{dt} = -(\kappa_c - i\Delta_c)c - iJa + ig_1cX + E_p + \sqrt{2\kappa_c}c_{in}(t) \quad (8)$$

در معادلات بالا $\kappa_a, \kappa_c, \Delta_a, \Delta_c, a_{in}(t), c_{in}(t)$ به ترتیب افت و خیزهای محیط برای کاواک های (C) و (A)، نامیزانی فرکانس لیزر تابشی و فرکانس های کاواک های (C) و (A)، واهلش کاواک های (C) و (A) می باشند. برای بررسی دوپایداری نوری در یک سامانه اپتومکانیکی شامل دو کاواک جفت شده که یکی از آنها کاواک معمولی و کاواک دیگر اپتومکانیکی شامل مجموعه ای از مولکول های نقطه کوانتومی، معادلات سامانه را در حالت پایا مورد مطالعه قرار می دهیم. برای اینکار تغییرات زمانی عملگرها را مساوی صفر قرار داده و سپس این معادلات را با استفاده از تقریب میدان میانگین، متوسط عملگرها محاسبه می کنیم. رابطه مربوط به تعداد فوتون های درون کاواک اپتومکانیکی برای ساختار (a) شکل ۱ به صورت زیر می باشد:

۳.۲. اثر نامیزانی فرکانس کاواک (C) و تابش فرودی (Δ_c)

همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود تاثیر نامیزانی فرکانس کاواک (C) و فرکانس تابش فرودی (Δ_c) در ایجاد پدیده دوپایداری نوری در دو ساختار (a) و (b) شکل ۱ بررسی شده است. با افزایش نامیزانی دامنه دوپایداری افزایش می یابد اما آستانه ایجاد دوپایداری افزایش می یابد.



شکل ۳. اثر نامیزانی فرکانس تابش فرودی و فرکانس کاواک (C) (Δ_c)

با مقایسه دو پیکربندی متفاوت مشاهده می شود که در حالتی که مولکول های نقطه کوانتومی قرار دارند دامنه دوپایداری نوری بزرگتری ایجاد می گردد و چون ما دوپایداری نوری را برای کاواک (C) محاسبه می کنیم وجود مولکول های نقطه کوانتومی درون این کاواک و اندرکنش میدان با مولکول های نقطه کوانتومی باعث تقویت غیرخطیت سامانه می شود و بر روی دوپایداری نوری اثر می گذارد که این یک مزیت برای این

$$L = (1 - 25) \times 10^{-3} m, m = 5 - 145 ng, \omega_m = 1 MHz$$

$$\Delta_1 = \omega_m, \Delta_2 = 5\omega_m, \Delta_c = 1.48\omega_m, 1.58\omega_m, \Delta_a = \omega_m$$

$$\gamma_1 = 0.9\omega_m, \gamma_2 = 1.2\omega_m, \gamma = 1.4 \times 10^{-3} \omega_m$$

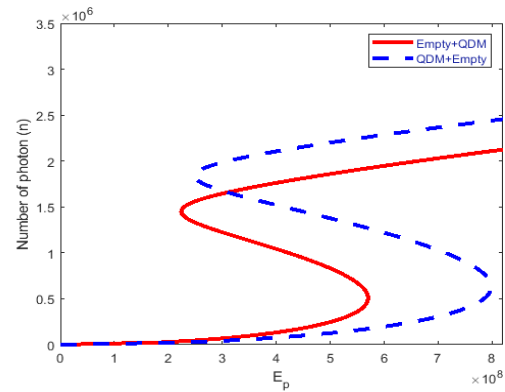
$$\kappa_a = 0.5\omega_m, \kappa_c = 0.5\omega_m, 0.05\omega_m, \kappa_a = 0.05\omega_m$$

$$T_e = 10\omega_m, g_1 = 0.009\omega_m$$

$$g_2 = 2\omega_m, J = 0.47\omega_m,$$

۳.۱. مقایسه دو سامانه اپتومکانیک

با توجه به شکل ۲ که در آن دوپایداری نوری در هر دو سامانه اپتومکانیکی ترکیبی به طور همزمان رسم شده است، در حالتی که مولکول های نقطه کوانتومی درون کاواک اپتومکانیکی قرار داشته باشند دوپایداری نوری دامنه دوپایداری بزرگتری دارد و برای استفاده های کاربردی این حالت مناسب تر می باشد.



شکل ۲. مقایسه ایجاد دوپایداری نوری در دو ساختار مختلف اپتومکانیک

البته در حالتی که مولکول های نقطه کوانتومی درون کاواک معمولی قرار دارند ما باز در سامانه دوپایداری نوری داریم با این تفاوت که دامنه دوپایداری کمتر می باشد. چون ما دوپایداری نوری را درون سامانه اپتومکانیکی بررسی می کنیم این اختلاف ناشی از وجود مولکول های نقطه کوانتومی درون کاواک اپتومکانیکی می باشد که باعث تقویت غیرخطیت در این سامانه می شود.

پیکربندی می باشد.

می کند با توجه به این ویژگی ها می توان در ایجاد حالت بهیبه دوپایداری نوری می توان از این پارامتر قابل کنترل استفاده کرد.

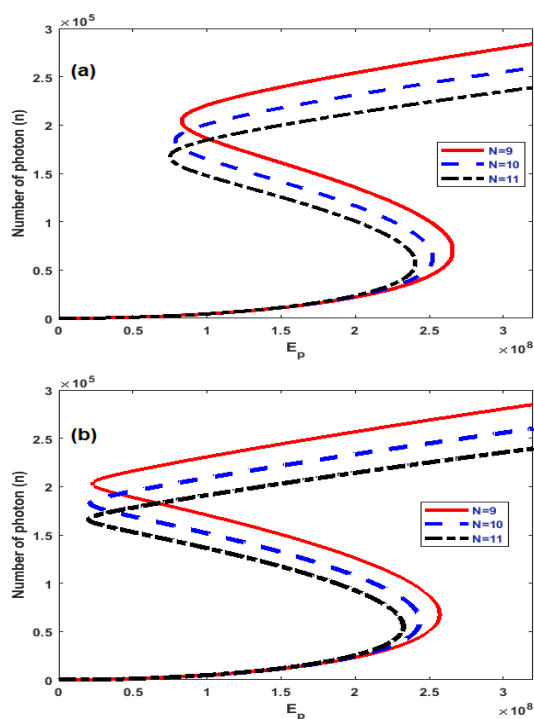
۳.۳. اثر نامیزانی فرکانس کاواک (A) و فرکانس تابش

فرودی

همان طور که در شکل ۴ مشاهده می شود تاثیر نامیزانی فرکانس کاواک (A) و فرکانس تابش فرودی (Δ_a) در ایجاد پدیده دوپایداری نوری در دو ساختار (a) و (b) شکل ۱ بررسی شده است همچنان که مشاهده می شود.

۴.۳. اثر تعداد مولکول های نقطه کوانتومی

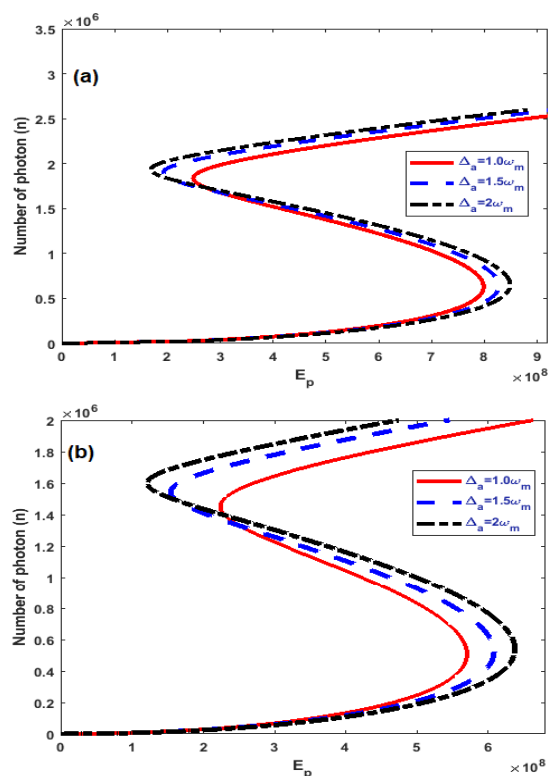
با توجه به شکل ۵ اثر تعداد مولکول های نقطه کوانتومی (N) در ایجاد دوپایداری نوری مورد بررسی قرار گرفته است که با توجه به شکل می بینیم که با افزایش تعداد مولکول های نقطه کوانتومی آستانه کلید زنی به بالا کاهش می یابد ولی آستانه کلید زنی به پایین تقریباً ثابت می ماند و تغییر خیلی کمی دارد.



شکل ۵. اثر تعداد مولکول های نقطه کوانتومی روی دوپایایی

نوری

مطابق شکل ۵ با افزایش تعداد مولکول های نقطه کوانتومی درون کاواک (A) آستانه کلید زنی به بالا کاهش می یابد و آستانه کلید زنی به پایین تقریباً ثابت می ماند در نتیجه افزایش تعداد مولکول های نقطه کوانتومی در دو پیکربندی مختلف تاثیرات تقریباً یکسان در ایجاد پدیده دوپایداری نوری، دامنه دوپایداری نوری و آستانه های کلید زنی به بالا و کلید زنی به پایین دوپایداری نوری مربوط به سامانه ترکیبی دارد، علت این



شکل ۴. اثر نامیزانی فرکانس کاواک (A) و فرکانس تابش فرودی

(Δ_a) روی دوپایایی نوری

نامیزانی بین فرکانس تابش فرودی و فرکانس تشدید کاواک (A) آستانه کلید زنی به بالا و کلید زنی به پایین دوپایداری نوری مربوط به سامانه تغییر می کند. دامنه دوپایداری در سامانه نیز افزایش می یابد. همان طور که در شکل ۴ مشاهده می شود در این حالت باز پیکربندی (a) دامنه دوپایداری بزرگتری ایجاد

دارند برای ایجاد حالت بهینه دوپایداری نوری، پیکربندی که مولکول های نقطه کوانتومی درون کاواک (C) قرار دارند مناسب تر است، این موضوع به علت افزایش غیرخطیت در سامانه می باشد در حالتی که مولکول های نقطه کوانتومی درون کاواک (C) قرار دارند تاثیر این غیرخطیت در دوپایداری نوری واضحتر است .

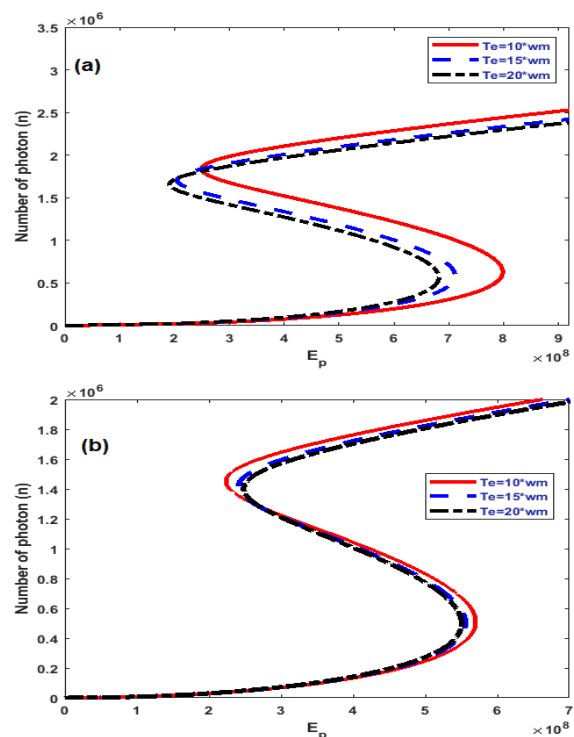
۴. نتیجه گیری

در این مقاله ایجاد پدیده دوپایداری نوری در سامانه ترکیبی اپتومکانیکی دو کاواکی که شامل مولکول های نقطه کوانتومی می باشد را در دو حالت مختلف بررسی کرده ایم. برای این منظور با نوشتن هامیلتونی مساله و استفاده از معادلات هایزنبرگ-لانژوین و پس از حل معادلات در حالت پایا به محاسبه دو پایداری نوری در دو سامانه پرداخته ایم. با توجه به نتایج سامانه ترکیبی که در آن کاواک اپتومکانیکی حاوی مولکول های نقطه کوانتومی به کاواک معمولی جفت شده است دوپایداری نوری بهتری با دامنه دوپایداری مناسب در شدت های کمتر مشاهده می شود. و سامانه ترکیبی که در آن کاواک اپتومکانیک به کاواک معمولی حاوی کوانتوم نقطه مولکول ها متصل است دامنه دوپایداری بزرگتری می باشد و همچنین تاثیر پارامترهای مختلف در آستانه های کلید زنی به پایین و کلید زنی به بالا و همچنین دامنه دوپایداری بررسی شد در نتیجه ما می توانیم با انتخاب پارامترهای مناسب حالت دوپایداری نوری با آستانه های کلید زنی به بالا و کلید زنی به پایین و همچنین دامنه دوپایداری سامانه را بهینه سازی کنیم و با توجه به ویژگی های این دو سامانه می توان از آنها برای ساخت کلیدهای تمام نوری، ترانزیستورهای نوری، حسگرهای خیلی حساس، در محاسبات، ارتباطات نوری و کامپیوتر های کوانتومی استفاده کرد.

موضوع این می باشد که با افزایش تعداد مولکول های نقطه کوانتومی غیرخطیت درون کاواک افزایش می یابد و این افزایش غیرخطیت باعث کاهش آستانه کلید زنی به پایین دوپایداری سامانه می شود.

۵.۳. اثر شدت تونل زنی میدان خارجی (T_e)

هنگامی که مولکول های نقطه کوانتومی درون کاواک اپتومکانیکی قرار دارند با افزایش قدرت تونل زنی میدان خارجی آنچنان که در شکل ۶ مشاهده می شود آستانه کلید زنی به بالا و کلید زنی به پایین کاهش می یابند و در شدت های ورودی کمتری ایجاد می شوند با این وجود دامنه دوپایداری سامانه تقریباً ثابت می ماند و این تاثیر قدرت تونل زنی میدان خارجی به علت افزایش غیرخطیت سامانه و تاثیر آن در ایجاد



شکل ۶. اثر شدت میدان خارجی (T_e) روی دوپایداری نوری

و همچنین دامنه دوپایداری سامانه ندارد. در مقایسه با حالتی که مولکول های نقطه کوانتومی درون کاواک اپتومکانیکی قرار

1. M. Aspelmeyer, T. J. Kippenberg, F. Marquardt, *Reviews of Modern Physics* **86**, (2014) 1391.
2. B. Chen, X.F. Wang, J.K. Yan, X.F. Zhu, C. Jiang, *Superlattices Microstruct.* **113**, (2018) 301.
3. J. D. Mc. Cullen, P. Meystre and E. M. Wright, *Opt. Lett.* **9**, (1984) 193.
4. V. B. Braginsky, S. E. Strigin, S. P. Vyatchanin, *Phys. Lett. A* **287**, (2001) 331.
5. S. M. Huang, A. X. Chen, *Phys. Rev. A* **98** (2018) 063818.
6. H. Xei, C.G. Liao, X. Shang, M.Y. Ye, X. M. Lin, *Phys. Rev. A* **96**, (2017) 013861.
7. V. B. Braginsky, F. Y. Khalili, K. S. Thorne, *Quantum measurement*, Cambridge University Press, 1995.
8. H. Foroughi, N. Daneshfar, *Eur. Phys. J. D* **77**, (2023) 118.
9. S. Ding, C. Yu, L. Sun, H. hang, F. Chen, *JOAM*, **23**, (2021) 463.
10. K. Ullah. *Chin. Phys. B* **28**, (2019) 114209.
11. H. Xiong, Y. Wu, *Appl. Phys. Rev.* **5**, (2018) 031305.
12. C. Yu, W. Yang, L. Sun, H. Zhang, F. Chen, *Opt. Quant. Electron.* **52**, (2020) 267.
13. M. A Khan, S. Niaz, F. Khan, M. A. Jamil, S. M. Ramay, *Int. J. Quantum Chem.* **122**, (2022) 26955.
14. J. Millen, P. Z. G. Fonseca, T. Mavrogordatos, T. S. Monteiro and P. F. Barker *Phys. Rev. Lett.* **114**, (2015) 123602.
15. R. W. Peterson, T. P. Purdy, N. S. Kampé, R. W. Andrews, P. L. Yu, K. W. Lehnert and C. A. Regal *Phys. Rev. Lett.* **116**, (2016) 063601.
16. J. Wu and Z. M. Wang (Eds.), *Quantum Dot Molecules*, Springer, 2014.
17. M. Veisi, S. H. Kazemi, M. Mahmoudi, *Sci. Rep.* **10**, (2020) 16304.
18. T. Holstein, H. Primakoff, *Phys. Rev.* **58**, (1940) 1098.

پایگاه
مجلات
فیزیک