



بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۱۳۹۷ ۱۱-۹



اثر پارامتر کمانش بر رفتار زمانی قطبش اسپینی در سیلیسן

سارا راستگو، فoad پارسای

rastgoo@sirjantech.ac.ir

fparsaei@gmail.com

بخش فیزیک، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران

چکیده- در این مقاله، دینامیک قطبش اسپین الکترون π در سیلیسן مورد مطالعه قرار می‌گیرد. ورقه سیلیسן تحت تأثیر میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی عمودی در نظر گرفته می‌شود. یک حالت اولیه برای سیستم در نظر گرفته می‌شود و سپس به کمک عملگر تحول زمانی، حالت سیستم در زمان‌های بعدی به دست آورده می‌شود. مقدار چشمداشتی مؤلفه‌های اسپینی، که منجر به قطبش اسپینی می‌شود، را بر حسب زمان به دست می‌آیند. نتایج ما نشان می‌دهد قطبش اسپینی بر حسب زمان به صورت نوسانی تغییر می‌کند. الگوی این نوسان‌ها وابستگی مستقیم بر پارامتر کمانش دارد. در یک پارامتر کمانش خاص این الگو تبدیل به رفتار رمبش و احیا می‌شود. مشاهده می‌شود که با افزایش پارامتر کمانش، دوره تناوب نمودارها کاهش می‌یابد.

کلیدواژه- پارامتر کمانش، سیلیسن، قطبش اسپینی،

Effect of the Buckling Parameter on the Dynamical Spin Polarization in Silicene

Sara Rastgoo , Foad Parsaei

Physics Department, Sirjan University of Technology, Sirjan 78137, Iran

Abstract-. In the present article the temporal behavior of the spin polarization of the π -electrons in the silicene is studied. Vertical electric and magnetic field on the silicene sheet is considered. The time evolution operator is calculated and then the state of the system at time t is determined. Using the state of the system at any time t , the temporal behavior of the spin polarization is derived. Our results indicate that the dynamical behavior of the spin polarization obeys the oscillatory behavior which directly depends on the buckling parameter. For an especial buckling parameter, collapse and revival pattern is seen. It is shown that as the buckling parameter increases, the period of the pattern ascends.

Keywords: Buckling Effect, Silicene, Spin Polarization.

$$H = \hbar\omega(\tau\sigma_+a + \tau\sigma_-a^\dagger - \sigma_+a - \sigma_-a^\dagger) + \lambda_{SO}\tau\sigma_z\delta_z - \Delta_z\sigma_z \quad (1)$$

که $\vec{\sigma}$ عملگر شبه اسپین، \vec{a} عملگر اسپین و $\vec{\tau}$ عملگر-وادی است. این عملگرها به ترتیب روی حالت‌های زیر-شبکه $\langle A(B)|$ ، حالت‌های اسپین $\langle \pm |$ و حالت‌های وادی $\langle K(K')|$ عمل می‌کنند. در معادله اخیر، $v_f = 5 \times 10^5 \frac{m}{s}$ سرعت فرمی، $\lambda_{SO} = 3.9 meV$ ضریب جفتیدگی اسپین-مدار ذاتی حالت‌های زیرشبکه، اسپین و وادی، و Δ پارامتر کمانش ناشی از جابجایی زیر شبکه‌ها نسبت به یکدیگر می‌باشند. به طوری که $\omega = \frac{v_f}{l_B \sqrt{2}}$

$l_B = \sqrt{\frac{\hbar}{eB}}$ طول مغناطیسی است. عملگر-می‌شود. بنابراین هامیلتونی جابجا که با $\hat{N}_e = a^\dagger a + \sigma_+ \sigma_- + s_+ s_- + \tau_+ \tau_-$ با هامیلتونی جابجا می‌شود. نمایش داده خواهد شد) قطعه-قطري است. حالت متناظر با $N_e = 0$ ، یک قطعه 1×1 در ماتریس هامیلتونی را نتیجه می‌دهد. حالت متناظر با $N_e = 1$ یک قطعه 4×4 را در هامیلتونی می‌دهد. حالت-های متناظر با $N_e = 2$ منجر به یک قطعه 7×7 در هامیلتونی می‌شود. برای $N_e > 2$ ، هامیلتونی دارای قطعه‌های 8×8 است. [7].

ویژه مقادیر انرژی و ویژه حالت‌های انرژی به صورت تحلیلی قابل محاسبه هستند، ولی به منظور خلاصه‌سازی از آوردن آن‌ها اجتناب می‌شود.

تحول زمانی قطبش اسپینی

فرض کنید حالت سیستم در لحظه $t = 0$ به صورت باشد:

$$|\psi(0)\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} |B, n+3, K\rangle \otimes (|+\rangle + |-\rangle) \quad (2)$$

که نشان‌دهنده آن است که الکترون π در زیرشبکه B با تراز لانداو $n+3$ قرار دارد و اسپین در امتداد محور x قطببیده شده است. با استفاده از شکل قطري هامیلتونی که در بخش قبل بحث شد، عملگر تحول زمانی $U_{original} = VU_{diagonal}V^\dagger$ در پایه‌هایی که حالت اولیه

مقدمه

اساس فرآیندهای اطلاعات کوانتمی ذخیره اطلاعات روی درجه آزادی اسپینی است. در چنین فرآیندهایی، حمل اسپینی در دمای اتاق، زمان راحتی اسپینی طولانی و ... بسیار اساسی است[1]. انجام عملیات سرعت‌بالا و همچنین ذخیره انرژی در دستگاه‌های الکترونیکی به کمک درجه آزادی اسپینی، دارای اهمیت فراوانی است[2]. الکترون‌های π در ساختار لانه‌نبوری سیلیسی، همانند ذرات شبه دیراک دارای جرم رفتار می‌کنند. این رفتار جالب الکترون‌ها، که هم از نظر تئوری و هم از نظر تجربی اثبات شده است، منجر به ظهور خصوصیات جالبی در سیلیس می‌شود[3]. از جمله این خصوصیات می‌توان به مسیر آزاد متوسط بزرگ، زمان راحتی اسپینی طولانی و ... اشاره کرد[4]. در سیلیس بخلاف گرافن، جفت‌شده‌گی اسپین-مدار ذاتی با قدرت قابل توجه و کنترل و نیز جفتیدگی اثر کمانی که در اثر جابجایی زیر شبکه‌ها تولید می‌شود، وجود دارد. باید توجه داشت که اثر جفتیدگی کمانی نیز با اعمال میدان الکتریکی عمودی قابل کنترل است[5].

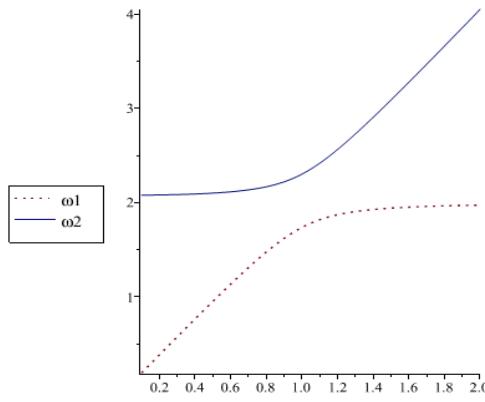
در این مقاله تحول زمانی قطبش اسپینی در سیلیس، با در نظر گرفتن یک میدان مغناطیسی یکنواخت عمود بر ورقه سیلیس را محاسبه می‌کنیم. به کمک شکل قطعه-قطري هامیلتونی، عملگر تحول زمانی نوشته می‌شود. ابتدا یک حالت اولیه برای سیستم در نظر می‌گیریم و سپس به کمک عملگر تحول زمانی، حالت سیستم را در زمان‌های بعدی به دست می‌آوریم. محاسبات نشان می‌دهد که قطبش اسپینی بر حسب زمان، رفتار نوسانی نشان می‌دهد. نتایج ما نشان می‌دهد که با افزایش جفتیدگی کمانی، دوره تناوب کاهش می‌یابد.

هامیلتونی

الکترون π در سیلیس با هامیلتونی زیر توصیف می‌شود(برای جزئیات بیشتر به مرجع [6] مراجعه شود) :

$$\begin{aligned} < S_x(t) > &= F_1(r,s)\cos(\omega_1 t) + (1-F_1(r,s))\cos(\omega_2 t) \\ < S_y(t) > &= F_2(r,s)\sin(\omega_1 t) + F_3(r,s)\sin(\omega_2 t) \end{aligned} \quad (6)$$

با توجه به معادله (۱) می‌توان نتیجه گرفت که وقتی میدان مغناطیسی با پارامتر کمانش هم مرتبه باشد، تأثیر آن در هامیلتونی قابل مشاهده است (یعنی $r \perp s$). در بخش بعد نتایج به دست آمده مورد بررسی قرار خواهد گرفت.



شکل ۱: تغییرات فرکانس بر حسب r به ازای $s = 0.01$
(محور قائم بر حسب $\frac{\lambda_{SO}}{\hbar}$ مقیاس یافته است).

نتیجه‌گیری

در شکل (۱) رفتار فرکانس‌های ω_1 و ω_2 بر حسب r ، به ازای مقدار ثابت s ، رسم شده است که نشان می‌دهد با افزایش r فرکانس‌ها افزایش می‌یابد. در شکل (۳) رفتار کلی ضرایب F_1, F_2, F_3 بر حسب r ، به ازای یک مقدار ثابت s ، ارائه شده است. با توجه به محاسبات تحلیلی ارائه شده در بخش قبل، مؤلفه ζ اسپین برابر صفر حاصل می‌شود و گفته می‌شود که اسپین در صفحه xy قطبیده شده است. در شکل (۳) می‌توان مشاهده نمود که به ازای پارامتر کمانش کوچک، ضرایب F_1, F_2 به سمت صفر و ضریب F_3 به سمت یک میل می‌کند. همچنین به ازای پارامتر کمانش نزدیک به $2\lambda_{SO}$ ، ضرایب F_1, F_2 به سمت یک و ضریب F_3 به سمت صفر میل می‌کند. پس دلیل رفتار کسینوسی مؤلفه x و سینوسی مؤلفه y در شکل (۳)، قابل درک خواهد بود. به عنوان نمونه، رفتار زمانی مؤلفه‌های اسپینی الکترون π ، به ازای یک مقدار

نوشته شده است، به دست می‌آید. که $U_{diagonal} = \exp(-iHt/\hbar)$ عملگر تحول زمانی در پایه‌های هامیلتونی و V ماتریس تبدیل است. مشخص است که حالت اولیه سیستم از دو ویژه‌حالت عملگر کازیمیر مربوط به دو بلوک مجاور هامیلتونی، N و $N+1$ تشکیل شده است. عملگر کازیمیر، عملگری است که با هامیلتونی جابجا می‌شود. به منظور دستیابی به ویژه مقدادر و ویژه حالات هامیلتونی، عملگر هامیلتونی را در پایه‌های عملگر کازیمیر، قطری می‌کنیم. بنابراین تحول زمانی این حالت به کمک دو بلوک مجاور در عملگر تحول زمانی انجام می‌شود.

$$\begin{aligned} |\psi(t)\rangle = & \frac{1}{\sqrt{2}}(U_1|B,n+3,K,+\rangle + U_2|A,n+2,K,+\rangle \\ & + U_3|A,n+2,K,-\rangle + U_4|B,n+3,K,-\rangle) \end{aligned} \quad (3)$$

به طوری که

$$U_1 = \alpha_1^2 e^{-i\lambda_1 t/\hbar} + \beta_1^2 e^{i\lambda_2 t/\hbar}, \quad U_3 = \alpha_2 \beta_2 (e^{-i\lambda_2 t/\hbar} - e^{i\lambda_2 t/\hbar})$$

$$U_2 = \alpha_1 \beta_1 (e^{-i\lambda_1 t/\hbar} - e^{i\lambda_1 t/\hbar}), \quad U_4 = \beta_2^2 e^{-i\lambda_2 t/\hbar} + \alpha_2^2 e^{i\lambda_2 t/\hbar}$$

و

$$E_i = \lambda_{SO} + (-1)^i \Delta_z, \quad \lambda_i = \sqrt{(E_i)^2 + 4\hbar^2 \omega^2(n+3)}$$

$$\alpha_i = \frac{2\hbar\omega\sqrt{n+3}}{\sqrt{4\hbar^2\omega^2(n+3)+(E_i-\lambda_i)^2}}, \quad \beta_i = \frac{E_i - \lambda_i}{2\hbar\omega\sqrt{n+3}} \alpha_i$$

که اندیس $i = 1, 2$. اکنون می‌توانیم مقدادر چشمداشتی مؤلفه‌های اسپینی را با کمک رابطه زیر محاسبه کنیم:

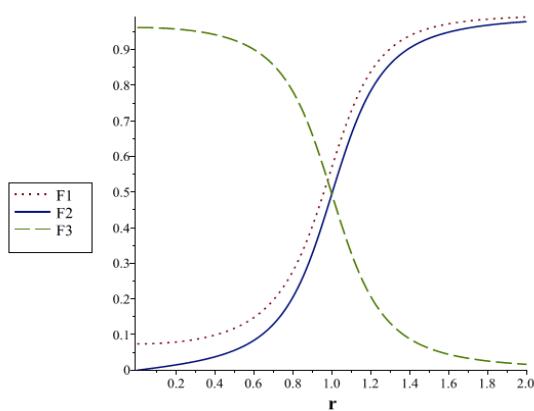
$$\langle S_x(t) \rangle = \frac{1}{2}(U_4^* U_1 + U_3^* U_2 + C.C.) \quad (4)$$

$$\langle S_y(t) \rangle = \frac{i}{2}(U_4^* U_1 + U_3^* U_2 - C.C.)$$

مؤلفه ζ اسپین برابر صفر است که نشان می‌دهد اسپین در صفحه xy قطبیده شده است. برای بررسی دقیق‌تر رفتار زمانی مؤلفه‌های اسپینی دو کمیت بدون بعد r و s را به صورت زیر تعریف می‌کنیم.

$$r = \frac{\Delta_z}{\lambda_{SO}}, \quad s = \frac{\hbar^2 v_f^2}{2e\lambda_{SO}}(n+3)B \quad (5)$$

با کمک معادله (۴) می‌توان نشان داد که مؤلفه‌های اسپینی به طور کلی به شکل زیر می‌باشند

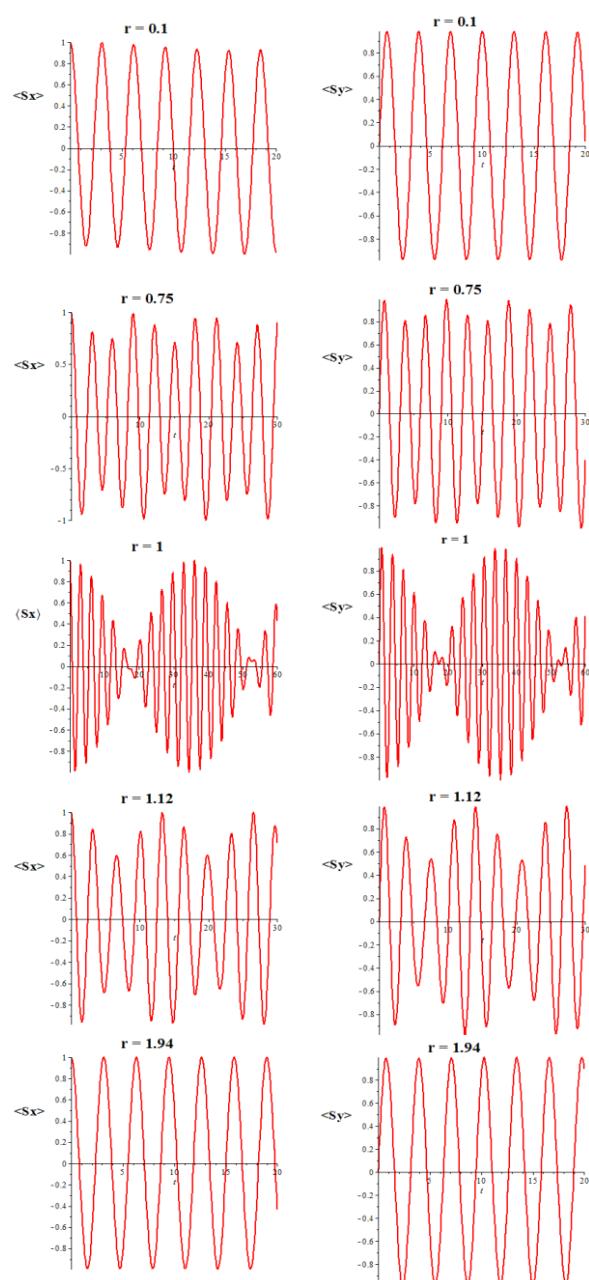


شکل ۳: رفتار کلی ضرایب F_1, F_2, F_3 بر حسب r ، به ازای $s = 0.01$

قابل توجه است که در مراجع [6,7] نشان داده ایم که سیلیسین در $r=1$ گذار فاز کوانتومی انجام می دهد. با افزایش مجدد r ، الگوی نوسان به تدریج به شکل سینوسی و کسینوسی باز خواهد گشت.

مرجع ها

- [1] C. J. Tabert and E. J. Nicol, "AC/DC Spin and Vallet Hall Effect in Silicene and Germanene", Phys. Rev. B 87 235426 (2013).
- [2] M. Ezawa, "Quantum Hall Effect in Silicene", J. Phys. Soc. Jpn. 81, 064705 (2012).
- [3] Y. Ling, P. Liu and J. P. Wu, "Characterization of Quantum Phase Transition Using Holographic Entanglement Entropy", Phys. Rev. D 93, 126004 (2016).
- [4] M. Idrish Miah, "Voltage probe of the optically oriented electron spin relaxation", Current Science 101, 765 (2011).
- [5] Y. S. Dedkov, M. Fonin, U. Rudiger and C. Laubschat, "Rashba Effect in the Graphene/Ni(111) System", Phys. Rev. Lett. 100, 107602 (2008).
- [6] S. Rastgoo, H. Shirkani and M. M. Golshan, "Entanglement between Electronic States in Silicene and Photons", Phys. Lett. A. 379, 2048-2052 (2015).
- [7] S. Rastgoo and M. M. Golshan, "Thermal Entanglement between π -Electrons in Silicene and Photons; Occurrence of Phase Transitions", Phys. Lett. A. 381, 964-969 (2017).



شکل ۲: تغییرات مؤلفه های اسپینی بر حسب زمان، به ازای $s = 0.01$ ، برای چند پارامتر کمانش مختلف (محور افقی بر حسب $\frac{\lambda_{SO}}{\hbar}$ مقیاس یافته شده است).

ثابت s ، برای چند پارامتر کمانش مختلف در شکل (۲) رسم شده است. همان گونه که از شکل (۲) مشاهده می شود، برای $r=0.1$ ، رفتار مؤلفه x اسپین تقریباً به صورت سینوسی و برای مؤلفه y به صورت کسینوسی می باشد. این رفتار با افزایش r ، الگوی سینوسی و کسینوسی اش را به تدریج از دست می دهد تا اینکه در $r=1$ الگوی نوسان ها به صورت رمبش واخیا می باشد.