

بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. ۱۳۹۷ بهمن ۱۳۹۷



اثر پارامتر کمانش بر رفتار زمانی قطبش اسپینی در سیلیسن

سارا راستگو، فواد پارسایی

rastgoo@sirjantech.ac.ir

<u>fparsaei@gmail.com</u>

بخش فیزیک، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران

چکیده – در این مقاله، دینامیک قطبش اسپین الکترون π در سیلیسن مورد مطالعه قرار میگیرد. ورقه سیلیسن 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 می آیند. 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 می یابد. 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.

$$\begin{split} H &= \hbar \omega (\tau \sigma_{+} a + \tau \sigma_{-} a^{\dagger} - \sigma_{+} a - \sigma_{-} a^{\dagger}) \\ &+ \lambda_{so} \tau \sigma_{z} s_{z} - \Delta_{z} \sigma_{z} \end{split} (1) \\ \forall h = \lambda_{so} \tau \sigma_{z} s_{z} - \Delta_{z} \sigma_{z} \\ \forall h = \lambda_{so} \tau \sigma_{z} s_{z} - \Delta_{z} \sigma_{z} \\ eles \ low \ delta = 1 \\ eles \ low \ delta = 1 \\ eles \ delt$$

 $\hat{N}_e = a^{\dagger}a + \sigma_+ \sigma_- + s_+ s_- + \tau_+ \tau_-$ به هامیلتونی جابجا میشود. بنابراین هامیلتونی نسبت به ویژه مقادیر عملگر \hat{N}_e (که با N_e نمایش داده خواهد شد) قطعه – قطری است. حالت متناظر با $0 = N_e$ ، یک قطعه 1×1 در ماتریس هامیلتونی را نتیجه می دهد. حالت متناظر با ماتریس هامیلتونی را نتیجه می دهد. حالت متناظر با های متناظر با 2 = N_e منجر به یک قطعه 7×7 در هامیلتونی می شود. برای 2 < N_e، هامیلتونی دارای قطعه 8×8 است. [7].

ویژه مقادیر انرژی و ویژهحالتهای انرژی بهصورت تحلیلی قابلمحاسبه هستند، ولی بهمنظور خلاصهسازی از آوردن آنها اجتناب میشود.

تحول زمانى قطبش اسپينى

فرض کنید حالت سیستم در لحظه
$$t = 0$$
 به صورت باشد:
 $|\psi(0)\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}|B, n+3, K\rangle \otimes (|+\rangle + |-\rangle)$
(۲)

که نشان دهنده آن است که الکترون π در زیرشبکه B با تراز لانداو n+3 قرار دارد و اسپین در امتداد محور xقطبیده شده است. با استفاده از شکل قطری هامیلتونی که در بخش قبل بحث شد، عملگر تحول زمانی در بخش قبل عرف شد، عملگر تحول زمانی $U_{original} = VU_{diagonal}V^{\dagger}$

مقدمه

اساس فرآيندهاى اطلاعات كوانتومى ذخيره اطلاعات روى درجه آزادی اسپینی است. در چنین فرآیندهایی، حمل اسپینی در دمای اتاق، زمان راحتی اسپینی طولانی و ... بسيار اساسى است[1]. انجام عمليات سرعتبالا و همچنین ذخیره انرژی در دستگاههای الکترونیکی به كمك درجه آزادى اسپينى، داراى اهميت فراوانى است[2]الکترونهای π در ساختار لانهزنبوری سیلیسن، 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 سیلیسن می شود [3] . از جمله این خصوصیات می توان به مسیر آزاد متوسط بزرگ، زمان راحتی اسپینی طولانی و ... اشاره کرد[4]. در سیلیسن برخلاف گرافن، جفتشدگی اسپین-مدار ذاتی با قدرت قابل توجه و کنترل و نیز جفتیدگی اثر کمانی که در اثر جابجایی زیر شبکهها توليد مى شود، وجود دارد. بايد توجه داشت كه اثر جفتيدگى كمانى نيز با اعمال ميدان الكتريكى عمودى قابل كنترل است [5].

در این مقاله تحول زمانی قطبش اسپینی در سیلیسن ، با در نظر گرفتن یک میدان مغناطیسی یکنواخت عمود بر ورقه سیلیسن را محاسبه میکنیم. به کمک شکل قطعه-قطری 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 می-دهد. نتایج ما نشان میدهد که با افزایش جفتیدگی کمانی، دوره تناوب کاهش مییابد.

هاميلتونى

الکترون π در سیلیسن با هامیلتونی زیر توصیف می-شود(برای جزئیات بیشت به مرجع [6] مراجعه شود) :

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

$$\begin{split} \left| \psi(t) \right\rangle &= \frac{1}{\sqrt{2}} (U_1 \left| B, n+3, K, + \right\rangle + U_2 \left| A, n+2, K, + \right\rangle \\ &+ U_3 \left| A, n+2, K, - \right\rangle + U_4 \left| B, n+3, K, - \right\rangle) \end{split} \tag{7}$$

به طوری که

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

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

$$E_{i} = \lambda_{so} + (-1)^{i} \Delta_{z} \quad , \lambda_{i} = \sqrt{(E_{i})^{2} + 4\hbar^{2}\omega^{2}(n+3)} \}$$
$$\alpha_{i} = \frac{2\hbar\omega\sqrt{n+3}}{\sqrt{4\hbar^{2}\omega^{2}(n+3) + (E_{i} - \lambda_{i})^{2}}}, \beta_{i} = \frac{E_{i} - \lambda_{i}}{2\hbar\omega\sqrt{n+3}}\alpha_{i}$$

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

$$\left\langle S_{x}(t) \right\rangle = \frac{1}{2} (U_{4}^{*}U_{1} + U_{3}^{*}U_{2} + C.C.)$$

$$\left\langle S_{y}(t) \right\rangle = \frac{i}{2} (U_{4}^{*}U_{1} + U_{3}^{*}U_{2} - C.C.)$$
(*)

مؤلفه ^z اسپین برابر صفر است که نشان میدهد اسپین در صفحه xy قطبیده شده است. برای بررسی دقیق تر رفتار زمانی مؤلفههای اسپینی دو کمیت بدون بعد r و s را به صورت زیر تعریف می کنیم.

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

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

$$< S_x(t) >= F_1(r,s)\cos(\omega_1 t) + (1 - F_1(r,s))\cos(\omega_2 t)$$

 $< S_y(t) >= F_2(r,s)\sin(\omega_1 t) + F_3(r,s)\sin(\omega_2 t)$
 \neq وقتی با توجه به معادله (۱) میتوان نتیجه گرفت که وقتی میدان مغناطیسی با پارامتر کمانش هممرتبه باشد، تأثیر
آن در هامیلتونی قابلمشاهده است (یعنی $s \sqcup r$). در بخش بعد نتایج به دست آمده مورد بررسی قرار خواهد گرفت.



نتيجهگيرى

در شکل (۱) رفتار فرکانسهای 0_1 و 0_2 بر حسب r, به ازای مقدار ثابت s ، رسم شده است که نشان می دهد با افزایش r فرکانسها افزایش می یابد. 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 z اسپین برابر صفر حاصل می-شود و گفته می شود که اسپین در صفحه yx قطبیده شده است. در شکل (۳) می توان مشاهده نمود که به ازای پارامتر کمانش کوچک، ضرایب F_1, F_2 به سمت صفر و خریب F_3 به سمت یک میل می کند. همچنین به ازای پارامتر کمانش نزدیک به $0 2 \lambda s$ ، ضرایب F_1 به سمت صفر و سمت یک و ضریب F_3 به سمت صفر میل می کند. پس پارامتر کمانش نزدیک به $0 2 \lambda s$ ، ضرایب F_1 به سمت مفر و نقد سمت یک و ضریب F_3 به سمت مؤلفه x و سینوسی مؤلفه y در سمت یک و ضریب F_3 به سمت صفر میل می کند. پس زمانی مولفه های اسپینی الکترون π ، به ازای یک مقدار

Downloaded from opsi.ir on 2025-07-07



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 دادهایم که سیلیسن در r=1 گذار فاز کوانتومی انجام میدهد. با افزایش مجدد r، الگوی نوسان بهتدریج 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).



ثابت s، برای چند پارامتر کمانش مختلف در شکل (۲) رسم شده است. همان گونه که از شکل (۲) مشاهده میشود، برای 0.1 = r، رفتار مؤلفه x اسپین تقریباً به صورت سینوسی و برای مؤلفه y به صورت کسینوسی میباشد. این رفتار با افزایش r، الگوی سینوسی و کسینوسیاش را بهتدریج از دست میدهد تا اینکه در r=1 الگوی نوسانها به صورت رمبش واحیا میباشد.