ترابرد الکترونیکی فسفورن سیاه:رهیافت آشوب کوانتومی

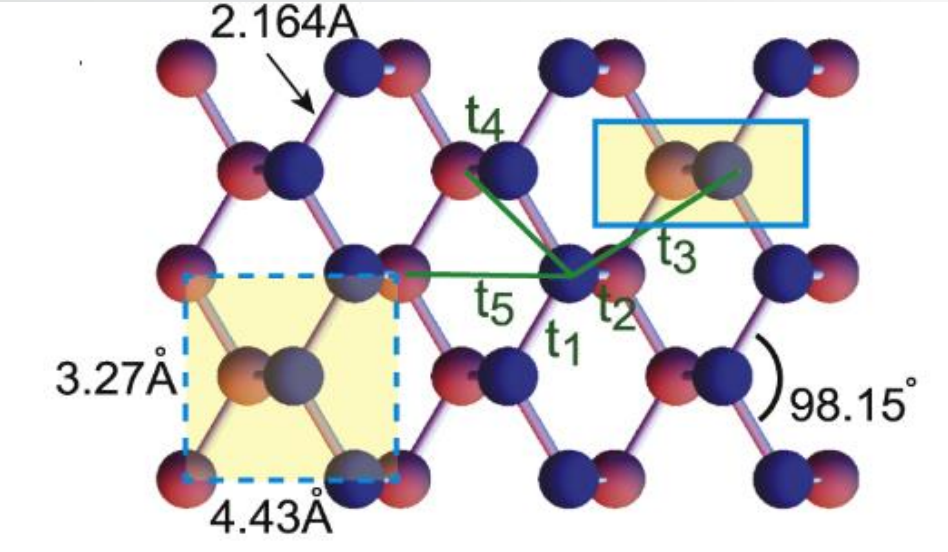
الهه جوانشور، سهراب بهنیا *، فاطمه نعمتی

گروه فیزیک، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه

Email:s.behnia@sci.uut.ac.ir

fatemeh.nemati.1988@gmail.com

مقدمه



1. فسفورن سیاه، یک ماده دو بعدی با شکاف باند قابل تنظیم است. با تعداد لایه‌ها، میدان الکتریکی، تنش یا ناخالصی تنظیم شود
2. به دلیل کاربردهای بالقوه در الکترونیک، نوری، فتوولتائیک، آشکارسازهای نوری و اسپینترونیک بسیار مورد توجه قرار دارد.

مدل و روش

رویکرد ما از یک هامیلتونین ساده، اما موثر، با اتصال محکم دو باندی در حضور میدان الکتریکی برای توضیح خواص الکترونیکی فسفورن سیاه با در نظر گرفتن واحدهای اتمی پیروی می‌کند

$$H_{lattice} = \sum_i \varepsilon_P c_i^\dagger c_i + \sum_{i \neq j} t_{ij} c_i^\dagger c_j$$

$$H_E = -\sum_i eEy_i c_i^\dagger c_i$$

$$H_{imp} = \sum_i \varepsilon_B c_i^\dagger c_i + \sum_{i \neq j} t_{PB} c_i^\dagger c_j$$

$$f_1(K) = 2e^{\left(iK_x a/\left(2\sqrt{3}\right)\right)} cos\left(K_y b/2\right)$$

$$f_2(K) = e^{-\left(iK_x a/\left(\sqrt{3}\right)\right)}$$

$$f_3(K) = 2e^{-\left(i5K_x a/\left(2\sqrt{3}\right)\right)} cos\left(K_y b/2\right)$$

$$f_4(K) = 4cos\left(K_y b/2\right)\cos\left(\sqrt{3}K_x a/2\right)$$

$$f_5(K) = e^{2\left(iK_x a/\left(\sqrt{3}\right)\right)}$$

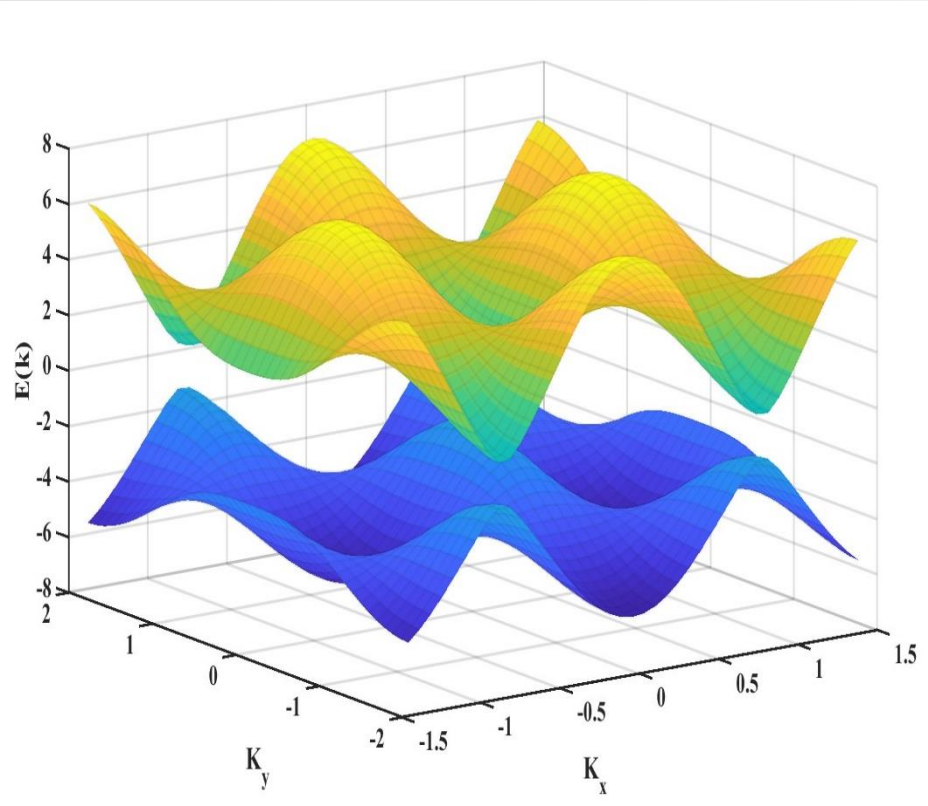
$$g(K) = t_1 f_1(K) + t_2 f_2(K) + t_3 f_3(K) + t_5 f_5(K);$$

$$E_\pm(K) = t_4 f_4(K) \pm \sqrt{g(K) g^*(K)}$$

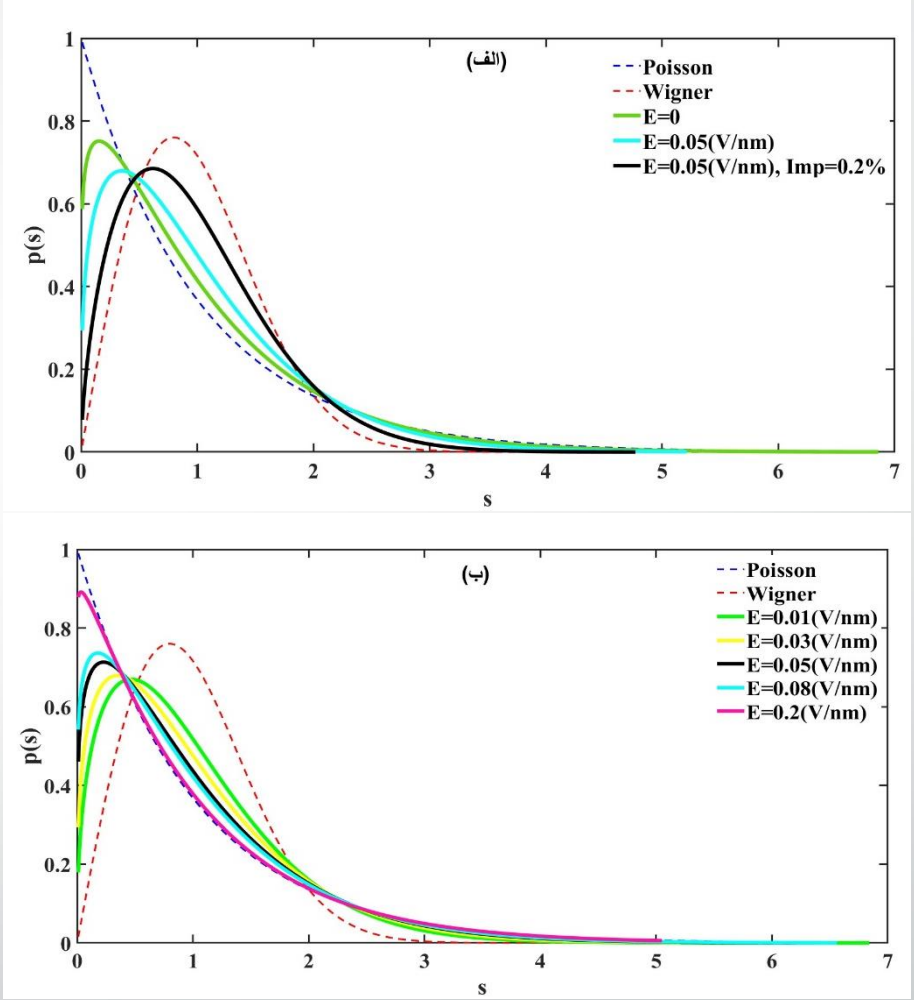
نظریه ماتریس تصادفی یک ابزار آماری قدرتمند برای تجزیه و تحلیل سیستم‌های پیچیده است که به ویژه در زمینه آشوب کوانتومی استفاده می‌شود. در آشوب کوانتومی، نظریه ماتریس تصادفی برای درک توزیع آماری سطوح انرژی و مقادیر ویژه در سیستم‌های کوانتومی که همتایان کلاسیک آن‌ها آشوبناک هستند، استفاده می‌شود.

$$P_\beta(s) = \left(\Gamma\left[\frac{\beta+2}{\beta+1}\right]\right)^{\beta+1} (\beta+1) s^\beta \exp\left(-\alpha s^{\beta+1}\right)$$

نتایج



شکل۱ ساختار نواری مدل دو باندی فسفورن سیاه



شکل۲، نمودار توزیع سطوح انرژی برای یک لایه فسفورن سیاه

جمع بندی

- با استفاده از آشوب کوانتومی، امکان گذار رسانایی شبکه فسفورن سیاه مورد بررسی قرار گرفت.
- ۰.۰۱ به عنوان حد آستانه مقدار الکتریکی جهت افزایش رسانایی تعیین می‌گردد.
- با افزایش میدان الکتریکی، سیستم به سمت نارسانایی میل می‌کند.

مراجع

1. Lamas-Martínez, K., et al., *Thermoelectric properties of gated phosphorene junctions.* Physical Review B, 2023. **107**(24): p. 245427.
2. Ezawa, M., *Electrically tunable quasi-flat bands, conductance and field effect transistor in phosphorene.* arXiv preprint arXiv:1404.5788, 2014.
3. Nobahari, M.M., *Electro-optical properties of strained monolayer boron phosphide: A tight-binding study.* 2023.
4. Behnia, S., F. Nemati, and M. Yagoubi-Notash, *Structural stability of electrical current in graphene-hexagonal boron nitride heterostructures: a quantum chaos approach.* The European Physical Journal Plus, 2022. **137**(3): p. 1-15.
5. Akhtar, M., et al., *Recent advances in synthesis, properties, and applications of phosphorene.* npj 2D Materials and Applications, 2017. **1**(1): p. 5.
6. Yu, W., et al., *Anomalous doping effect in black phosphorene using first-principles calculations.* Physical Chemistry Chemical Physics, 2015. **17**(25): p. 16351-16358.
7. Deng, B., et al., *Efficient electrical control of thin-film black phosphorus bandgap.* Nature Communications, 2017. **8**(1): p. 14474.