لیزر در پزشکی؛ ۱۳۹۸، دورهٔ ۱۶، شمارهٔ ۳، صفحات: ۱۳-۸ .

مقاله پژوهشی

جایگزیدگی و انتقال اسپین الکترون‌ها در توالی‌های دی‌ان‌ای در اثر تابش نور لیزر

سهراب بهنیا [۱]
مصطفی سلیمی [۲]
سمیرا فتحی‌زاده [۳]

خلاصه

مقدمه: اعمال شرایط محیطی مختلف به سامانه‌های زیستی جهت بررسی و ایجاد جریان‌های اسپینی از زمینه‌های مطالعاتی نوظهور در حال پیشرفت است. اخیراً بررسی جریان‌های اسپینی با اعمال دما به‌عنوان اثرات محیط توجه دانشمندان زیادی را به خود اختصاص داده است. از طرفی در علم اسپینترونیک از اسپین و جریان‌های اسپینی الکترون به‌منظور پردازش، حفظ و انتقال امن اطلاعات استفاده می‌شود. با توجه به کاربردهای گستردهٔ لیزر در علوم پزشکی، در این مطالعه با به‌کارگیری لیزر مادون قرمز به‌منظور اعمال حرارت روی سلول به بررسی شرایط ایجاد و هدایت جریان‌های اسپینی ناشی از حرارت محیط پرداخته می‌شود..

روش بررسی: برای این منظور، توالی‌های مختلف مولکول DNA به‌عنوان مولکول مرکزی، تعبیه‌شده در حمام حرارتی جهت شبیه‌سازی اثرات محیطی (که در این مطالعه پرتو نور لیزر می‌باشد) را درنظر می‌گیریم و از دو انتها زنجیرهٔ مولکول را به الکترودهایی در ولتاژهای قابل کنترل متصل می‌کنیم. با تغییر ولتاژ الکترودها و فرکانس حمام در طول توالی‌های مختلف، شرایط ایجاد جریان‌های اسپینی بررسی می‌شود.

یافته‌ها: در تعداد جفت‌بازهای کمتر، سیستم، رفتار جایگزیده از خود نشان می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده با به‌کارگیری ابزارهای آشوب کوانتومی مشخص می‌کند که با افزایش طول توالی در زنجیرهٔ DNA تقارن‌های سیستم شکسته و تابع موج اسپینی سیستم از حالت جایگزیدگی خارج می‌شود و سیستم به سمت ایجاد جریان‌های اسپینی می‌رود.

بحث و نتیجه‌گیری: با استفاده از تغییرات ایجادشده در محیط سلولی ناشی از تابش لیزر می‌توان سیستمی برای ایجاد و هدایت جریان‌های اسپینی طراحی کرد به‌طوری‌که بتوان با به‌کارگیری جریان‌های اسپینی، ذخیره و انتقال اطلاعات در اسپینترونیک مولکولی را بهبود داد.

واژه‌های کلیدی: اسپینترونیک، دی‌ان‌ای، آشوب کوانتومی، لیزر، حمام حرارتی

۱. استاد تمام، گروه فیزیک، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه فیزیک، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران

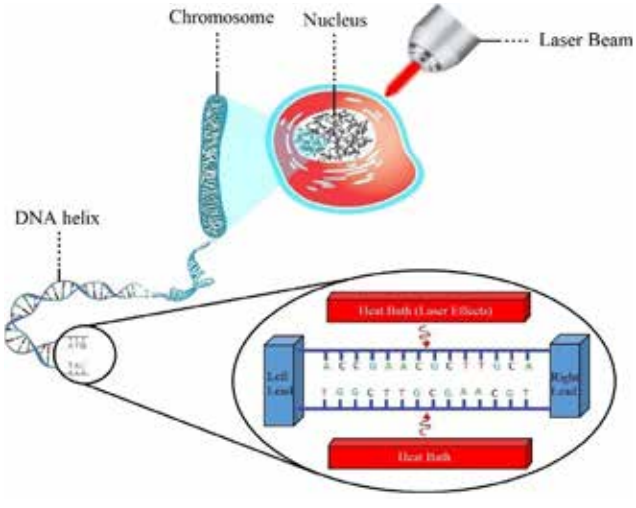
۳. استادیار، گروه فیزیک، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران

نویسندهٔ مسئول: سمیرا فتحی‌زاده، تلفن: ۰۹۱۴۳۹۱۳۴۹۳
پست الکترونیک: s.fathizadeh@sci.uut.ac.ir

مقدمه

در سال‌های اخیر، واژهٔ "زیست" تبدیل به پیشوندی قدرتمند در بسیاری از زمینه‌های مطالعاتی در حال رشد شده است[۱]. در علوم زیست‌فناوری، زیست‌نانوفناوری، زیست‌شیمی و زیست‌فیزیک، با به‌کارگیری ابزارهای مختلف علوم به شناسایی مؤلفه‌ها و فرآیندهایی می‌پردازد که در مواد خود-سامان نقش کلیدی ایفا می‌کنند. مطالعهٔ فرآیندهای زیستی به‌دلیل تراکم بالای سامانه‌های مورد نظر در قلمرو فیزیک ماده چگال قرار می‌گیرد. سامانه‌های زیستی شامل موادی می‌شود که به راحتی تحت تنش‌ها یا افت و خیزهای گرمایی و حرارتی تغییر شکل می‌دهند. درواقع، فیزیک مادهٔ چگال نرم بیشتر به بررسی فازهای غیرجامد مانند شاره‌های پیچیده، پلیمرها، کلوئیدها، فوم‌ها، کریستال‌های مایع، مواد دانه‌ای، غشاها و شیشه‌های اسپینی و نیز سیستم‌های زیستی می‌پردازد. ازطرفی نور لیزر به علت دارا بودن خواص منحصر به فرد مانند تک‌رنگ بودن، تکفام بودن و درخشندگی در واحد زاویهٔ فضایی، با شدت‌های متفاوت به‌طور گسترده‌ای در علوم پزشکی و زیستی به‌کار برده می‌شود[۲و۳]. درواقع، پرتوی لیزر باریکه‌ای از نور می‌باشد که واگرایی آن به‌طور نسبی کم و تراکم انرژی در واحد سطح آن زیاد است. کاربردهای لیزر در پزشکی در سه راستا در حال توسعه است: جراحی لیزر[۱]، لیزر درمان[۲] و تشخیص لیزر[۳][۴]. در بسیاری از مطالعات انجام‌شده مشخص شده است که پرتوی لیزری به علت دارا بودن انرژی قابل مقایسه با پیوندهای مولکولی و بین مولکولی، موجب تغییرات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک بسیاری در اجزاء سلولی می‌شود به‌طوری‌که تابش پرتوی لیزر با پدیده‌هایی مانند برهمکنش‌های فوتوشیمیایی، گرمایی، یونیزاسیون و قطبیدگی در اسپین، بسیاری از عملکردهای سلولی را متأثر می‌کند. از طرفی مولکول DNA به‌عنوان یک سامانهٔ زیستی دارای رفتار هوشمندانه است یعنی نسبت به محرک‌های محیط به گونه‌ای پاسخ می‌دهد که بیشترین منفعت را برای بقاء داشته باشد. به‌منظور شبیه‌سازی اثرات گرمایی لیزر روی سلول، از ارتباط زنجیرهٔ مولکول DNA به‌عنوان حامل اطلاعات سلولی و ژنتیکی با حمام‌های حرارتی بهره می‌گیریم و برای بررسی جریان اسپینی در طول توالی از اتصال آن به دو الکترود بهره می‌بریم. بررسی شرایط ایجاد و هدایت جریان‌های اسپینی در علم اسپینترونیک[۴] از اهمیت زیادی برخوردار است. در مطالعات اسپینترونیک که دانش ترکیب اسپین الکترون با الکترونیک است، از خاصیت اسپینی و درجهٔ آزادی اسپین الکترون به جای بار الکترون به‌عنوان حامل‌های اطلاعات استفاده می‌شود که منجر به ساخت نسل جدیدی از ابزارها برای ذخیرهٔ اطلاعات می‌گردد[۵]. در مطالعات اسپینترونیک آلی از مولکول DNA به‌عنوان مولکول آلی استفاده می‌شود[۶]. جریان‌های اسپینی، جریان‌های حساسی هستند که می‌توانند با استفاده از حرارت نور لیزر تابشی هدایت شوند. با استفاده از حساسیت و هوشمندی جریان‌های اسپینی می‌توان جریان اسپینی را در حسگرها و مانیتورهای در ابعاد نانو که قابل پوشیدن هم هستند و یا آشکارسازهای پزشکی استفاده کرد. مولکول دورشته‌ای DNA به دلیل ساختار اولیه و ثانویهٔ آن یک مولکول کایرال می‌باشد به این معنی که دارای عدم تقارن آینه‌ای است. از ویژگی‌های مولکول DNA ، هزینهٔ پایین در سنتز، قابلیت برنامه‌ریزی، انعطاف‌پذیری و سازگاری با محیط‌های زیستی است که در تولید ساختارهای مولکولی و الکترونی- مولکولی مانند ترانزیستورها، سیم‌های نانو و دیودها کاربرد دارد[۷]. در این مطالعه، با به‌کارگیری لیزر مادون قرمز، اثرات گرمایی ناشی از این پرتو را در قالب حمام گرمایی شبیه‌سازی می‌کنیم[۸]. با توجه به شکل ۱ در بخش اول با مدل‌سازی ریاضی، با به‌کارگیری زنجیرهٔ DNA به‌عنوان مولکول مرکزی، تعبیه‌شده در حمام حرارتی و متصل به الکترودها سیستم را شبیه‌سازی می‌کنیم. در بخش دوم با به‌کارگیری ابزارهای آشوب کوانتومی به تحلیل سیستم می‌پردازیم و جایگزیدگی اسپینی را در طول توالی‌های مختلف بررسی می‌کنیم.

در این مطالعه زنجیرهٔ مولکول DNA دورشته‌ای به‌عنوان مولکول مرکزی با N سایت درنظر گرفته شده است که از دو انتها به دو الکترود با k سایت متصل و از بالا و پایین با حمام‌های حرارتی در ارتباط است. مطابق شکل ۲ ماتریس هامیلتونی توصیف‌کنندهٔ چنین سیستمی، یک ماتریس $(6N+8k)\times(6N+8k)$ عضوی می‌باشد. با توجه به مقادیر مختلف از پارامترهای N و k برای تحلیل و دستیابی به خواص طیفی ویژهٔ بردارها و ویژهٔ مقادیر چنین سیستمی از نرم‌افزار متلب[۵] استفاده شده است.



شکل۱: تصویری از سیستم مورد مطالعه: مولکول DNA متصل به الکترودهای چپ و راست و غوطه‌ور در حمام حرارتی مدل سازی و ابزار

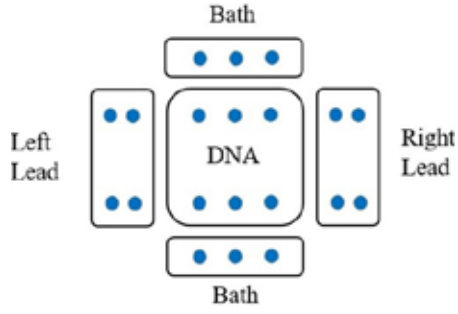
1. Laser Surgery

2. Laser Therapy

3. Laser Diagnostics

4. Spintronics

5. Matlab



شکل۲: زنجیرهٔ مولکول DNA با سایت تعبیه‌شده در حمام حرارتی و متصل به الکترودها با k سایت

هامیلتونی کل با رابطهٔ زیر بیان می‌شود[۹]:

$$H_{SYS} = H_{DNA} + H_{Lead} + H_{Bath} + H_{DNA-Lead} + H_{DNA-Bath} \qquad (۱)$$

در رابطهٔ (۱) جملهٔ اول مربوط به هامیلتونی DNA است که به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

(۲)

$$H_{DNA} = \sum_{i,j=1,2} \sum_{\sigma=\uparrow\downarrow} \varepsilon_{i,j}\, c_{i,j}^{+\sigma} c_{i,j}^{\sigma} + V_{i,i+1,j}\, c_{i+1,j}^{+\sigma} c_{i,j}^{\sigma} + \sum_{i,\sigma} \lambda_i\, c_{1,i}^{+\sigma} c_{2,i}^{\sigma} + \sum_{i,j} 2t_{\circ} \cos\theta\, (c_{i,j}^{+\uparrow} c_{i+1,j}^{\uparrow} - c_{i,j}^{+\uparrow} c_{i-1,j}^{\uparrow}$$
$$- c_{i,j}^{+\downarrow} c_{i+1,j}^{\downarrow} + c_{i,j}^{+\downarrow} c_{i-1,j}^{\downarrow}) + D_{i,i+1}\, c_{i,j}^{+\uparrow} c_{i+1,j}^{\downarrow} - D_{i,i+1}^{+}\, c_{i,j}^{+\downarrow} c_{i+1,j}^{\uparrow} + D_{i-1,i}^{*}\, c_{i,j}^{+\downarrow} c_{i-1,j}^{\uparrow} - D_{i-1,i}\, c_{i,j}^{+\uparrow} c_{i-1,j}^{\downarrow}) + H.c.$$

که j تعداد رشته‌ها و i، تعداد سایت‌ها در هر رشته می‌باشند. $c_{j,i}^{+}(c_{j,i})$ عملگر خلق (فنا) یک الکترون در سایت (j,i)، $\varepsilon_{j,i}$ انرژی روی سایت الکترون، $t_{j,i}$ انتگرال پرش در یک رشته، λ_i اندرکنش بین زنجیره‌ای، θ زاویه مارپیچ و

$$D_{n,n+1} = t_{\circ} \sin\theta\{\sin[n\Delta\phi] + \sin[(n+1)\Delta\phi] + i\cos[n\Delta\phi] + i\cos[(n+1)\Delta\phi]\}$$

می‌باشد که ϕ زاویه پیچش است. جملهٔ دوم در رابطهٔ (۱) بیان‌کنندهٔ هامیلتونی الکترودها است[۱۰]:

(۳)

$$H_{Lead} = \sum_{j=1,2} \sum_{k,\sigma} (\varepsilon_{L_{j,k}} + \frac{V_b}{2})\, a_{L_{j,k}}^{+\sigma} a_{L_{j,k}} + \sum_{j=1,2} \sum_{k,\sigma} (\varepsilon_{R_{j,k}} - \frac{V_b}{2})\, a_{R_{j,k}}^{+\sigma} a_{R_{j,k}}$$

که $a_{\beta_{j,k}}^{+}$ $(a_{\beta_{j,k}})$ با $\beta = L, R$، عملگر خلق (فنا) الکترون در الکترود β، $\varepsilon_{\beta_{j,k}}$ انرژی روی سایت الکترودها و V_b ولتاژ بایاس می‌باشد. هامیلتونی حمام حرارتی با رابطهٔ زیر بیان می‌شود[۱۱]:

$$H_{Bath} = \sum_{i=1}^{N} \hbar\omega_i\, b_i^{+} b_i + 2\sum_{i=1}^{N-1} \hbar\Omega_i \left(b_i^{+} b_{i+1} + b_{i+1}^{+} b_i\right) + H.c. \qquad (۴)$$

که در رابطهٔ (۴) b_i^{+} عملگر خلق نوسان در i-امین نوسانگر و ω و Ω فرکانس نوسانگر و ثابت جفت‌شدگی متقابل است. هامیلتونی مربوط به برهم‌کنش مولکول DNA با الکترودها با رابطهٔ زیر بیان می‌شود:

$$H_{DNA-Lead} = \sum_{j=1,2k,\sigma=\uparrow\downarrow} \sum (t_L\, a_{L_{j,k}}^{+\sigma} c_{i,j}^{\sigma} + t_R\, a_{R_{j,k}}^{+\sigma} c_{j,N}^{\sigma} + H.c) \qquad (۵)$$

که t_b عناصر ماتریس تونل‌زنی از سایت k-ام الکترود β به زنجیرهٔ DNA می‌باشد. هامیلتونی جملهٔ مربوط به برهم‌کنش حمام با مولکول DNA نیز با رابطهٔ زیر تعریف می‌شود:

$$H_{DNA-Bath} = \sum_{i=1,}^{N} \sum_{\sigma=\uparrow\downarrow} \sum_{j=1,2} t_i\, b_i^{+} c_{i,j}^{\sigma} + H.c. \qquad (۶)$$

که t_i نیز عناصر ماتریس تونل‌زنی بین حمام و مولکول DNA می‌باشد.

خواص آماری و تحلیل رفتار چنین سیستم‌هایی مطابق با نظریهٔ ماتریس‌های تصادفی[۶] است[۱۲]. نوسانات طیفی، خواص انتقال و جایگزیدگی سیستم مورد مطالعه بر اساس این نظریه بررسی می‌شود. آشوب کلاسیکی بر تحلیل مسیرها در فضای فاز تکیه دارد. ازآنجایی‌که مسیر در دانش کوانتوم با اصل عدم قطعیت هایزنبرگ رد می‌شود، تحلیل دینامیکی ترازهای انرژی و توابع موج می‌تواند اطلاعاتی دربارهٔ نحوهٔ عملکرد سیستم کوانتومی در اختیار بگذارد. یکی از ابزارهای پرکاربرد در نظریهٔ آشوب کوانتومی تحلیل چندفرکتالی توابع است که در بسیاری از زمینه‌های علمی مانند پزشکی، فیزیک، ژئوفیزیک، جغرافیا و اقتصاد کاربرد دارد[۱۳].

فرض می‌کنیم که $|\psi_i|^2$ مقدار تابع موج در سایت i-ام یک شبکهٔ d بعدی با حجم L^d می‌باشد. درصورتی‌که بتوان سیستم مورد نظر را با تعداد N_l جعبه به طول اضلاع مساوی l پوشش داد، در این حالت احتمال یافتن الکترون در k-امین جعبه برابر خواهد بود با $\mu_k(l) = \sum_i |\psi_i|^2$ که در آن $k = 1,2,3,..., N_l$ و احتمال کل حاصل جمع این احتمالات خواهد بود:

$$p_q(l) = \sum_{k=1}^{N_l} \mu_k^q(l)$$

اگر محدودهٔ مشخص و معینی از $\lambda = l/L$ را درنظر بگیریم دراین‌صورت $P_q(\lambda) \propto \lambda^{\tau(q)}$ خواهد بود که $\tau(q) = D_q(q-1)$ رابطهٔ نمای وزنی می‌باشد. با به‌کارگیری تبدیل لژاندر برای طیف تکینگی تابع $f(\alpha)$ داریم:

$$\alpha(q) = \frac{d\tau(q)}{dq} \qquad q = f'(\alpha)$$

بنابراین داریم:

$$f(\alpha_q) = \alpha_q q - \tau(q) \qquad (۷)$$

---

6. Random Matrix Theory (RMT)

چند فرکتال بودن ویژهٔ توابع با طیف یکتایی وابسته[۷] $f(\alpha_q)$ بررسی می‌شود که با رابطهٔ (۷) بیان می‌شود. در این رابطه تابع $f(\alpha)$ به‌صورت تابع محدبی از α می‌باشد که بیشترین مقدار آن برای مقدار α_0 به‌دست می‌آید یعنی $f(\alpha_0)=d$ که d بُعد سیستم مورد مطالعه است. باریک شدن عرضی نمودار این تابع متناسب است با پخش‌شدگی تابع موج و برعکس[۱۴].

درسیستم‌های کوانتومی، $|\psi(r)|^2$، به‌عنوان یک معیار از بهنجار بودن و IPR (نسبت مشارکت معکوس[۸]) معیاری برای تشخیص حالت‌های اشغال‌شدهٔ جایگزیده انتخاب می‌شود. با به‌کارگیری نسبت مشارکت معکوس می‌توان خواص جایگزیدگی سیستم را مطالعه کرد. نسبت مشارکت معکوس برای یک ویژهٔ حالت خاص مانند $|\psi^n\rangle=\sum_i c_i^n|\phi_i\rangle$ با رابطهٔ زیر تعریف می‌شود [۱۵]:

$$IPR_q^n(E_n)=\sum_i\left|c_i^n\right|^{2q} \qquad (۸$$

که اطلاعاتی را دربارهٔ ساختار ویژهٔ حالتی که برپایهٔ $|\phi_i\rangle$ نوشته شده و در انرژی E_i قرار دارد فراهم می‌کند. بیشترین مقدار برای این سنجه $IPR=1$ متناسب است با حالت‌های کاملاً جایگزیده و $IPR=1/\dim(H)$ بر حالت‌های کاملاً پخش‌شده دلالت دارد.

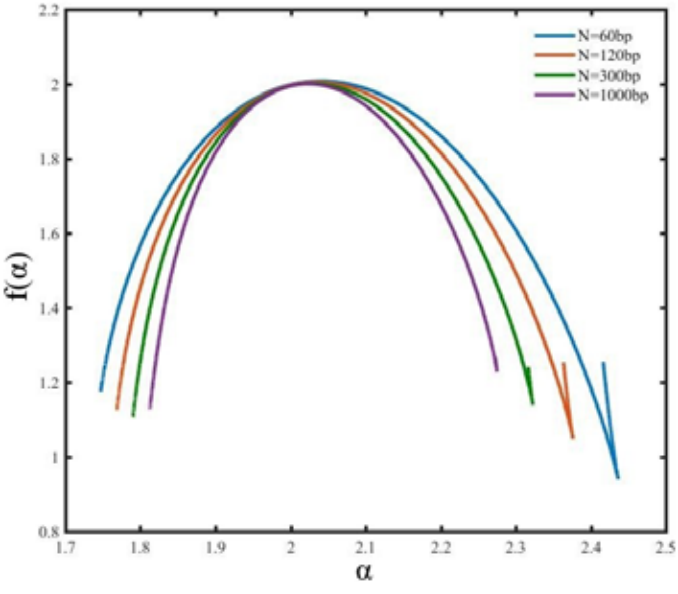
بررسی و تحلیل

به‌منظور شبیه‌سازی اثرات حرارتی ناشی از نور لیزر، توالی‌های مختلف از مولکول DNA را در ارتباط با حمام حرارتی قرار و توالی را از دو انتها به الکترودهایی در ولتاژ $V_b=3\,0V$ قرار می‌دهیم. توالی‌های مختلف از این مولکول می‌توانند خواص انتقال متفاوت ازجمله عایق و یا رسانا بودن را از خود نشان دهند. پارامترهای مختلفی روی خواص پخش و جایگزیدگی اسپینی در مولکول DNA تأثیر می‌گذارد. در این مطالعه با تغییر طول‌های مختلف از توالی DNA در فرکانس حمام $\omega/\omega_c=5$ شرایط ایجاد جریان‌های اسپینی بررسی می‌شود. برای این منظور مقادیر $\varepsilon_{j,i}$ به‌صورت $\varepsilon_A=8.5,\ \varepsilon_C=8.9,\ \varepsilon_G=8.3,\ \varepsilon_T=9\ eV$ انتخاب می‌شوند. t_{jl} بین بازهای ناهمنام با رابطهٔ $t_{XY}=\frac{t_{XX}+t_{YY}}{2}$ محاسبه می‌شود. ثابت‌های تونل‌زنی بین بازهای همنام نیز به‌صورت $t_{AA}=0.22,\ t_{TT}=-0.14,\ t_{CC}=-0.05,\ t_{GG}=0.11,\ \lambda_i=-0.3\ eV$ خواهند بود. برای پارامترهای الکترود داریم: $\varepsilon_{\beta_{j,k}}=7.75\ eV$ و $t_{\beta}=0.42\ eV$[۱۶-۱۸]. در شکل ۳ تابع چندفراکتالی $f(\alpha)$ برای توالی‌های مختلف از جفت‌بازهای CG به‌کمک نرم‌افزار متلب رسم شده است. میزان بازشدگی عرضی تابع $f(\alpha)$ خواص جایگزیدگی سیستم را نشان می‌دهد به این معنی که باز شدگی بیشتر تابع متناسب است با جایگزیدگی بیشتر و بسته شدن عرض نمودار نشان‌دهندهٔ حالت پخشی بیشتر در تابع موج سیستم است. در شکل ۳ به وضوح دیده می‌شود که با افزایش تعداد جفت‌بازها و طول توالی، از جایگزیدگی سیستم کاسته می‌شود و سیستم به سمت ایجاد جریان‌های اسپینی پیش می‌رود. جریان اسپینی کل که با رابطهٔ $S_t=S^{\uparrow}+S^{\downarrow}$ محاسبه می‌شود، با افزایش طول توالی افزایش می‌یابد.

در جدول ۱ مقادیر مختلف از نسبت مشارکت معکوس IPR برای تعداد جفت‌بازهای مختلف نشان داده شده است. بیشترین مقدار ممکن برای تابع $IPR=1$ برای حالتی با جایگزیدگی کامل می‌باشد. با توجه به کاهش مقادیر، متناسب با افزایش طول زنجیرهٔ DNA با این تحلیل نیز می‌توان نشان داد که افزایش طول توالی باعث شکسته شدن برخی تقارن‌های سیستم می‌شود و تابع موج توصیف‌کننده به سمت حالت‌های ناجایگزیده و ایجاد جریان اسپینی کل می‌رود.

نتیجه‌گیری

شناخت و کنترل سیستم‌های زیستی، از برهم‌کنش مولکولی گرفته تا رفتار کارکردی آن‌ها، یکی از اهداف مهمی است که در علوم پزشکی، مهندسی زیست، فیزیک و شیمی با به‌کارگیری ابزارهای موجود به آن پرداخته می‌شود. این شاخه از تحقیقات توجه خود را به توسعهٔ تکنیک‌های مناسب در یک محیط واقعی و پیچیده (محیط مولکولی) متمرکز کرده است[۱۹]. در سال‌های اخیر، مولکول‌های آلی از جمله DNA برای استفاده در مدارهای الکترونیکی به‌عنوان هدایت‌کننده‌های مولکولی و نانوسیم‌ها پیشنهاد شده است. این مواد، جایگزین‌های جذاب و به‌صرفه برای نیمه هادی‌های معدنی در انواع دستگاه‌های اپتوالکترونیک،



شکل۳: تابع چندفراکتالی $f(\alpha)$ برای توالی‌های مختلف از جفت‌بازهای CG

7. Associated singularity spectrum

8. Inverse participation ratio (IPR)

جدول۱: مقادیر نسبت مشارکت معکوس برای توالی‌های مختلف از جفت بازهای CG

Length of sequences	60bp	120bp	300bp	1000bp
IPR	0.209569	0.13861	0.0813528	0.0661902

فتوولتائیک و اسپینترونیک هستند. طول عمر طولانی اسپین در این مواد آن‌ها را برای برنامه‌های کاربردی در اسپینترونیک مطلوب می‌کند. اسپینترونیک یا الکترونیک بر پایهٔ اسپین، شامل مطالعه، ایجاد و کنترل جریان‌های اسپین به‌منظور انتقال اطاعات در سیستم‌های حالت جامد است. سامانه‌های زیستی به‌دلیل دارا بودن خواص بی‌نظیرشان بیشترین توجه را در این زمینه به خود اختصاص داده‌اند. قابلیت بیولوژیکی منحصر به‌فرد مولکول‌های DNA در انتقال اطلاعات ژنتیکی می‌تواند برای بیواسپینترونیک استفاده شود. درواقع، اسپینترونیک مولکولی به دنبال بهره‌برداری از تنوع ساختاری الکترونیکی مولکول‌ها است تا با به‌کارگیری روش‌های محاسباتی جدید و برنامه‌های ذخیره‌سازی اطلاعات، اسپین الکترون را کنترل کند. در این مطالعه با درنظر گرفتن اثرات ناشی از تابش لیزر در قالب حمام حرارتی، زنجیره‌ای از مولکول‌های دورشته‌ای DNA در توالی‌های مختلف، متصل به الکترودهایی از دو انتها با ولتاژ مشخص و قابل کنترل قرار داده شد و قطبیدگی اسپین، جایگزیدگی و شکست تقارن بررسی گردید. نتایج به‌دست‌آمده از روش‌های آشوب کوانتومی نشان‌دهندهٔ گسترش تابع موج و ایجاد جریان‌های اسپینی کل ($S_t = S^{\uparrow} + S^{\downarrow}$) متناسب با افزایش طول توالی می‌باشد[۲۰و۲۱]. در فعالیت‌های آتی، باتوجه به ایجاد شرایط مناسب برای خلق و هدایت جریان‌های اسپینی، می‌توان با به‌کارگیری جریان ایجادشده برای انتقال امن و ذخیرهٔ اطلاعات در طول یک مولکول زیستی اقدام کرد. همچنین می‌توان با استفاده از حساسیت و هوشمندی جریان‌های اسپینی، می‌توان جریان اسپینی را در حسگرها و مانیتورهای در ابعاد نانو که قابل پوشیدن هم هستند و یا آشکارسازهای پزشکی استفاده کرد[۲۲].

References:

1. Müh S, Beyer B. Bio-organic electronics—overview and prospects for the future. Electronics, 2014; 3(3): 444-61.

2. Teixeira GR, da Silva Marciano R, da Silva Sergio LP, Polignano GAC, Guimaraes OR, Geller M, da Fonseca ADS. Infrared laser effects at fluences used for treatment of dentin hypersensitivity on DNA repair in Escherichia coli and plasmids. Optics & Laser Technology, 2014; 64: 46-52.

3. Barnes FS. Applications of lasers to biology and medicine. Proceedings of the IEEE, 1975; 63(9): 1269-78.

4. Abramov PI, Kuznetsov EV, Skvortsov LA, Skvortsova MI. Quantum-Cascade Lasers in Medicine and Biology. Journal of Applied Spectroscopy, 2019; 86(1): 1-26.

5. Raman KV, Kamerbeek AM, Mukherjee A, Atodiresei N, Sen TK, Lazić P, Blügel S. Interface-engineered templates for molecular spin memory devices. Nature, 2013; 493(7433): 509.

6. Behnia S, Fathizadeh S, Akhshani A. DNA spintronics: Charge and spin dynamics in DNA wires. The Journal of Physical Chemistry C, 2016; 120(5): 2973-83.

7. Liu S, Wang WM, Briseno AL, Mannsfeld SC, Bao Z. Controlled deposition of crystalline organic semiconductors for field-effect-transistor applications. Advanced Materials, 2009; 21(12): 1217-32.

8. Ichikawa M, Ichikawa H, Yoshikawa K, Kimura Y. Extension of a DNA molecule by local heating with a laser. Physical review letters, 2007; 99(14): 148104.

9. Fathizadeh S, Behnia S, Ziaei J. Engineering DNA Molecule Bridge between Metal Electrodes for High-Performance Molecular Transistor: An Environmental Dependent Approach. The Journal of Physical Chemistry B, 2018; 122(9): 2487-94.

10. Chen ZZ, Lü R, Zhu BF. Effects of electron-phonon interaction on nonequilibrium transport through a single-molecule transistor. Physical Review B, 2005; 71(16): 165324.

11. Nicacio F, Ferraro A, Imparato A, Paternostro M, Semião FL. Thermal transport in out-of-equilibrium quantum harmonic chains. Physical Review E, 2015; 91(4): 042116.

12. Guhr T, Müller–Groeling A, Weidenmüller HA. Random-matrix theories in quantum physics: common concepts. Physics Reports, 1998; 299(4-6): 189-425.

13. Lopes R, Betrouni N. Fractal and multifractal analysis: a review. Medical image analysis, 2009; 13(4): 634-49.

14. Anderson PW. Absence of diffusion in certain random lattices. Physical review, 1958; 109(5): 1492.

15. Vasquez LJ, Rodriguez A, Römer RA. Multifractal analysis of the metal-insulator transition in the three-dimensional Anderson model. II. Symmetry relation under typical averaging. Physical Review B, 2008; 78(19): 195106.

16. Senthilkumar K, Grozema FC, Guerra CF, Bickelhaupt FM, Lewis FD, Berlin YA, Siebbeles LD. Absolute rates of hole transfer in DNA. Journal of the American Chemical Society, 2005; 127(42): 14894-903.

17. Apalkov V, Berashevich J, Chakraborty T. Unique magnetic signatures of mismatched base pairs in DNA. The Journal of chemical physics, 2010; 132(8): 02B613.

18. Malakooti S, Hedin ER, Kim YD, Joe YS. Enhancement of charge transport in DNA molecules induced by the next nearest-neighbor effects. Journal of Applied Physics, 2012; 112(9): 094703.

19. Lanfranco R, Mognetti BM, Bruylants G. Achieving Selective Targeting Using Engineered Nanomaterials. In Thermodynamics and Biophysics of Biomedical Nanosystems 2019: 147-82. Springer, Singapore.

20. Behnia S, Fathizadeh S, Akhshani A. DNA spintronics: Charge and spin dynamics in DNA wires. The Journal of Physical Chemistry C, 2016; 120(5): 2973-83.

21. Fathizadeh S, Behnia S, Ziaei J. Engineering DNA Molecule Bridge between Metal Electrodes for High-Performance Molecular Transistor: An Environmental Dependent Approach. The Journal of Physical Chemistry B, 2018; 122(9): 2487-94.

22. Horton M, Khan A, Maddison S. Delivering nanotechnology to the healthcare, IT and environmental sectors—a perspective from the 'London Centre for Nanotechnology'. BT technology journal, 2006; 24(3): 175-83.