بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه اراک

دانشکده علوم پایه

کارشناسی ارشد فیزیک (گرایش اتمی و مولکولی)

مطالعه نظری درهم تنیدگی کوانتومی در زنجیره های اسپینی

پژوهشگر :

سحرفصاحت

استاد راهنما :

دکتر مهدی میرزایی

زمستان ۹۲

بسم ا... الرحمن الرحیم

مطالعه نظری درهم تنیدگی کوانتومی درزنجیره های اسپینی

توسط:

سحر فصاحت

پایان نامه

ارائه شده به مدیریت تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیت های

تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته فیزیک اتمی و مولکولی

از

دانشگاه اراک

اراک-ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: .....

دکتر مهدی میرزایی (استاد راهنما و رئیس کمیته).....استادیار

دکتر اکبرزنده نام (داوورداخلی).....دانشیار

دکترحسین صادقی(داورخارجی). ..... دانشیار

زمستان۱۳۹۲

الهی!

دلی ده که در حرص و آز بر ما باز نشود

و قناعتی ده که چشم امید ما جز بروی تو باز نشود

الهی!

دستم گیر که دست آویز ندارم

و عذرم بپذیر که پای گریز ندارم

الهی!

تحقیقی ده که از دنیا بیزار شوم

و توفیقی ده که در دین استوار شویم

خواجه عبدالله انصاری

این پایان نامه را به اعتبار بی بازگشت ترین لحظات زندگیم که در کسوت مقدس دانش آموزی گذشته است

به پاس مهر جاودانشان، تقدیم می کنم به زیباترین بهانه هایم برای زیستن؛

به پدرم

استوارترین تکیه گاهم

به مادرم

که دعای خیرش همواره بدرقه ی راهم بوده

به همسرم

که همواره پناه خستگیم و امید بودنم است

به خواهرها و برادرم

که نشانه ی لطف الهی در زندگیم هستند

تقدیر و تشکر

شکر و سپاس خدای را که بزرگ‌ترین امید و یاور در در لحظه لحظه زندگیست.

سپاس خدای را که هر چه دارم از اوست به امید آنکه توفیق یابم جز در راه خدمت به خلق او نکوشم

خداوند منان را شاکریم که ما را توفیق داد که در مسیر علم و دانش گامی هر چند کوچک برداریم، تا بدین وسیله به ناشناخته‌های خود پی بریم. این مسیر، میسر نمی‌شود مگر به لطف معلمی دلسوز که چراغ راه پر حادثه علم شود.

از استاد ارجمند و دلسوزم، جناب آقای دکتر مهدی میرزایی که در کمال سعه ی صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این پایان نامه را به عهده گرفتند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از پدر و مادر بسیار عزیز و بزرگوارم، همسرم صبور و مهربانم، خواهرها و برادر دلسوزم، که همواره مشوق من در این مسیر بودند نهایت تشکر را دارم.

پروردگارا

نه می توانم موهایشان را که در راه عزت من سفید شده اند را سیاه کنم و نه برای دست های پینه بسته شان که ثمره تلاش برای افتخار من است مرهمی دارم.

پس توفیقم ده که هر لحظه شکرگزارشان باشم و ثانیه های عمرم را در عصای دست بودنشان بگذرانم آمین

چکیده

مطالعه نظری درهم تنیدگی کوانتومی درزنجیره های اسپینی

سحر فصاحت

هدف از انجام این تحقیق مطالعه و بررسی درهم‌تنیدگی کوانتومی در زنجیره‌های مختلف اسپینی در هامیلتونی‌های متفاوت است.در فصل اول این تحقیق به معرفی مفهوم درهم‌تنیدگی وکاربردهای آن و عوامل مؤثربرکنترل آن می‌پردازیم و در آخرین مبحث از فصل اول مطالعات انجام شده در این زمینه را مرور خواهیم کرد. در فصل دوم مروری بر هامیلتونی مدل هایزنبرگ و هامیلتونی مدل آیزنبرگ داشته و هامیلتونی زنجیره‌های XYZ, XXZ, XXX, XY, XX را معرفی می‌کنیم در انتهای بخش دوم ماتریس چگالی و پارامتر تلاقی را معرفی خواهیم کرد. در اولین مبحث از بخش سوم به بررسی تلاقی در مدل هایزنبرگ می‌پردازیم. در بخش ۳-۲ تلاقی را در مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت در انواع زنجیره‌های اسپینی بررسی خواهیم کرد. در بخش ۳-۳ تلاقی در مدل هایزنبرگ با فرض وجود میدان مغناطیسی غیریکنواخت در انواع زنجیره‌های اسپینی مورد بررسی قرار می‌دهیم. در بخش ۳-۴ به بررسی تأثیر برهم‌کنش DM بر تلاقی موجود در زنجیره‌های اسپینی متفاوت پرداخته سپس در بخش ۳-۵ تلاقی در مدل آیزینگ در زنجیره‌ی سه کیوبیتی را بررسی می‌کنیم. در بخش ۳-۶ به بررسی تأثیر وجود یک کیوبیت ناخالص در زنجیره‌های حاوی سه کیوبیت می‌پردازیم. در بخش ۳-۷ تلاقی در زنجیره‌های سه کیوبیتی را با فرض وجود میدان مغناطیسی خارجی یکنواخت مورد بررسی قرار خواهیم داد. و در آخرین بخش از این پایان نامه به بررسی تأثیر میدان مغناطیسی غیریکنواخت می‌پردازیم

فصل اول: مقدمه ومروری بر کارهای انجام شده

۱-۱- معرفی مکانیک کوانتومی ولزوم استفاده از آن ۲

۱-۲- معرفی درهم‌تنیدگی ۳

۱-۳- کاربردهای درهم‌تنیدگی ۳

۱-۴- استفاده از درهم‌تنیدگی در مخابرات کوانتومی ۴

۱-۵- معرفی بر هم کنش DM ۴

۱-۶- عوامل مؤثر بر کنترل درهم‌تنیدگی ۵

۱-۷- ذخیره سازی درهم‌تنیدگی ۵

۱-۸- معرفی تلاقی ۶

۱-۹- بررسی مطالعات انجام شده در این زمینه ۶

فصل دوم: تعاریف اولیه و بررسی مدل هایزنبرگ و مدل آیزنبرگ در زنجیره‌های اسپینی

۲-۱- بررسی هامیلتونی هایزنبرگ ۱۲

۲-۲- معرفی هامیلتونی زنجیره‌های اسپینی ۱۴

۲-۳-ا عمال میدان مغناطیسی ۱۵

۲-۳-۱- بررسی هامیلتونی هایزنبرگ در حالت‌های مختلف ۱۵

۲-۴- معرفی ماتریس چگالی ۱۷

۲-۴-۱- معرفی تلاقی ۱۷

فصل سوم : بحث و نتیجه گیری

۳-۱- بررسی درهم‌تنیدگی در زنجیره اسپینی XXX مدل هایزنبرگ ۲۰

۳-۲-۱- بررسی درهم‌تنیدگی در زنجیره‌های اسپینی مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت خارجی..... ۲۲

۳-۲-۲- بررسی درهم‌تنیدگی در زنجیره‌های اسپینی XXZ, XXX, XX هایزنبرگ دوکیوبیتی درحضور میدان مغناطیسی یکنواخت خارجی ۲۶

۳-۲-۳- بررسی درهم‌تنیدگی در زنجیره‌ی XXZ, XXX, XX هایزنبرگ دوکیوبیتی در حضور میدان کوانتیزه ۳۰

۳-۳- بررسی درهم‌تنیدگی در زنجیره‌های اسپینی هایزنبرگ دوکیوبیتی در حضور میدان مغناطیسی غیر یکنواخت ۳۵

۳- ۳-۱- بررسی درهم‌تنیدگی در زنجیره‌های اسپینی XXZ, XXX, XX مدل هایزنبرگ دوکیوبیتی در حضور میدان مغناطیسی غیریکنواخت ۳۹

۳-۳-۲- بررسی درهم تنیدگی در زنجیره‌ی اسپینی XXZ مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی تک پالس ۴۳

۳-۴- بررسی درهم‌تنیدگی در مدل هایزنبرگ تحت برهم کنش DM ۵۲

۳-۴-۱- بررسی درهم‌تنیدگی در زنجیره‌های اسپینی هایزنبرگ دوکیوبیتی تحت برهم کنش DM ۵۳

۳-۴-۲- بررسی درهم‌تنیدگی در زنجیره‌های اسپینی XXZ, XXX هایزنبرگ دوکیوبیتی تحت برهم کنش DM در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت خارجی ۵۶

۳-۴-۳- بررسی درهم‌تنیدگی در زنجیره‌های اسپینی هایزنبرگ دوکیوبیتی تحت برهم کنش DM در حضور میدان مغناطیسی غیریکنواخت خارجی ۶۳

۳-۴-۳-۱- بررسی درهم‌تنیدگی در زنجیره‌های اسپینی XYZ, XY هایزنبرگ دوکیوبیتی تحت برهم‌کنش DM در حضور میدان مغناطیسی غیریکنواخت خارجی ۶۴

۳-۴-۳-۲- بررسی درهم‌تنیدگی در زنجیره‌های اسپینی XXZ, XXX, XX مدل هایزنبرگ دوکیوبیتی تحت برهم کنش DM در حضور میدان مغناطیسی غیریکنواخت خارجی ۶۸

۳-۵- بررسی درهم‌تنیدگی در مدل آیزینگ ۷۲

۳-۶- بررسی درهم‌تنیدگی جفت در زنجیره‌ی اسپینی باز XX هایزنبرگ سه کیوبیتی حاوی یک کیوبیت ناخالص ۷۶

۳-۷- بررسی درهم‌تنیدگی جفت در زنجیره‌های اسپینی هایزنبرگ دوکیوبیتی در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت خارجی ۸۵

۳-۷-۱- بررسی درهم‌تنیدگی جفت در زنجیره‌های اسپینی باز XX, XXX, XXZهایزنبرگ سه کیوبیتی در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت خارجی ۸۷

۳-۸- بررسی درهم‌تنیدگی جفت در زنجیره‌های اسپینی باز مدل هایزنبرگ سه کیوبیتی در حضور میدان مغناطیسی غیریکنواخت خارجی ۹۵

۳-۸-۱- بررسی درهم‌تنیدگی جفت در زنجیره‌ی اسپینی باز XX مدل هایزنبرگ سه کیوبیتی در حضور میدان مغناطیسی غیریکنواخت خارجی ۹۶

منابع ۱۰۴

فهرست اشکال

جدول۲-۱: معرفی حالت‌های تک‌تایی و سه‌تایی برحسب اسپین ۱۲

شکل۲-۲ : نمایی از برهم‌کنش اسپین‌ها در مدل هایزنبرگ ۱۶

شکل ۳-۱ :تلاقی بین دو کیوبیت در زنجیره XXX مدل هایزنبرگ به ازای تغییرات دما ۲۲

شکل۳-۲ :تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره‌ی XYZ مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت به ازای مقادیر $J_x=1, J_y=0.8, J_z=1.2$ بر حسب تغییرات B,T ۲۵

شکل۳-۳ :تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره‌ی XY مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت به ازای مقادیر $J_x=1, J_y=0.8, J_z=0$ بر حسب تغییرات B,T ۲۶

شکل۳-۴ :تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره XXZ مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت در حالتی که $J_x=J_y=1, J_z=2$ بر حسب تغییرات B,T ۲۸

شکل ۳-۵ :تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره XXX مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت در حالتی که $J_x=J_y=J_z=1$ بر حسب تغییرات B,T ۲۹

شکل۳-۶ :تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره XX مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت در حالتی که $J_x=J_y=1, J_z=0$ بر حسب تغییرات B,T ۳۰

شکل ۳-۷: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره XXZ مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی کوانتیزه به ازای $J=-1, T=0.2, \upsilon=0.5, J_z=0.8$ برحسب تغییرات n,Δ ۳۳

شکل ۳-۸: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره XXZ مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی کوانتیزه به ازای $J=-1, n=1, \upsilon=0.5, J_z=0.8$ برحسب تغییرات T, Δ ۳۳

شکل ۳-۹: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره XXZ مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی کوانتیزه به ازای $\Delta=1, n=1, \upsilon=0.5, J_z=0.8$ برحسب تغییرات T, J ۳۴

شکل ۳-۱۰: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره XXZ مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی کوانتیزه به ازای $\Delta=-1, n=1, \upsilon=0.5, J_z=0.8$ برحسب تغییرات T, J ۳۴

شکل ۳-۱۱: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره XYZ مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی غیر یکنواخت در حالتی که $J_x=1, J_y=0.8, J_z=1.2$ بر حسب تغییرات B, b ۳۸

شکل ۳-۱۲: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره XY مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی غیریکنواخت در حالتی که $J_x=1, J_y=0.8, J_z=0$ بر حسب تغییرات B, b ۳۹

شکل ۳-۱۳: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره XXZ مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی غیریکنواخت در حالتی که $J_x=J_y=1, J_z=2$ بر حسب تغییرات B, b ۴۱

شکل ۳-۱۴: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره XXX مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی غیریکنواخت در حالتی که $J_x=J_y=J_z=1$ بر حسب تغییرات B, b ۴۲

شکل ۳-۱۵: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره XX مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی غیریکنواخت در حالتی که $J_x=J_y=1, J_z=0$ بر حسب تغییرات B, b ۴۳

شکل ۳-۱۶: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره‌ی XXZ مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی تک پالس در حالتی که $J=1, B=3, T=0.6$ بر حسب تغییرات θ, J_z ۴۶

شکل ۳-۱۷: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره‌ی XXZ مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی تک پالس در حالتی که $J_z=1, B=3, T=0.6$ بر حسب تغییرات θ, J ۴۷

شکل ۳-۱۸: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره‌ی XXZ مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی تک پالس در حالتی که $J=1, B=3, T=0.6$ بر حسب تغییرات θ, J_z ۴۸

شکل ۳-۱۹: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره‌ی XXZ مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی تک پالس در حالتی که $J=1, B=3, \theta=\frac{\pi}{2}$ است بر حسب تغییرات T, J_z ۴۹

شکل ۳-۲۰: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره‌ی XXZ مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی تک پالس در حالتی که $J=1,B=3,\theta=0$ بر حسب تغییرات T,J_z ۵۰

شکل ۳-۲۱: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره‌ی XXZ مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی تک پالس در حالتی که $J=1,B=3,\theta=\frac{\pi}{3}$ به ازای مقادیر مختلف J_z ۵۰

شکل ۳-۲۲: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره‌ی XXZ مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی تک پالس در حالتی که $J=0.5,B=0.5,J_z=1$ بر حسب تغییرات θ,T ۵۱

شکل ۳-۲۳: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره‌ی XXZ مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی تک پالس در حالتی که $J=0.5,B=1.5,J_z=1$ بر حسب تغییرات θ,T ۵۲

شکل ۳-۲۴: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره‌ی XXX مدل هایزنبرگ در حضور برهم‌کنش DM در حالتی که $T=0.5$ بر حسب تغییرات J,D ۵۵

شکل ۳-۲۵: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره‌ی XXZ مدل هایزنبرگ تحت برهم‌کنش DM در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت به ازای $T=0.2,\Delta=0.3,J=1$ بر حسب تغییرات B,D ۵۹

شکل ۳-۲۶: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره‌ی XXZ مدل هایزنبرگ تحت برهم کنش DM در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت به ازای $T=0.8,\Delta=0.3,J=1$ بر حسب تغییرات B,D ۵۹

شکل ۳-۲۷: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره‌ی XXZ مدل هایزنبرگ تحت برهم‌کنش DM در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت به ازای $J=1,\Delta=0.3,B=2$ به ازای تغییرات T,D ۶۰

شکل ۳-۲۸: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره‌ی XXX مدل هایزنبرگ تحت برهم‌کنش DM در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت به ازای $T=0.2,\Delta=1,J=1$ بر حسب تغییرات B,D ۶۱

شکل ۳-۲۹: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره‌ی XXX مدل هایزنبرگ تحت برهم‌کنش DM در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت به ازای $T=0.8,\Delta=1,J=1$ بر حسب تغییرات B,D ۶۱

شکل ۳-۳۰: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره‌ی XXX مدل هایزنبرگ تحت برهم‌کنش DM در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت به ازای $J=1,\Delta=1,B=2$ بر حسب تغییرات T,D ۶۲

شکل ۳-۳۱: تلاقی بین دوکیوبیت مدل هایزنبرگ تحت برهم‌کنش DM در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت به ازای $B=2,T=0.2,J=1$ بر حسب تغییرات D,Δ ۶۳

شکل ۳-۳۲: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره‌ی XYZ مدل هایزنبرگ تحت برهم‌کنش DM در حضور میدان مغناطیسی غیریکنواخت به ازای $J_z = 2, B = 1, \Delta = 0.2, J = 2.5, T = 0.2$ بر حسب تغییرات D, b ۶۶

شکل ۳-۳۳: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره‌ی XYZ هایزنبرگ تحت برهم‌کنش DM درحضور میدان مغناطیسی غیریکنواخت به ازای $J_z = 2, B = 1, \Delta = 0.2, J = 2.5, T = 5$ بر حسب تغییرات D, b ۶۷

شکل ۳-۳۴: تلاقی بین دو کیوبیت در زنجیره XYZ مدل هایزنبرگ تحت برهم‌کنش DM در حضور میدان مغناطیسی غیریکنواخت به ازای $J=2.5, J_z = 2, B= 1 , b= 1, \Delta = 0.2$ برحسب تغییرات D, T ۶۸

شکل ۳-۳۵: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره‌ی XXZ مدل هایزنبرگ تحت برهم‌کنش DM در حضور میدان مغناطیسی غیریکنواخت به ازای $J=2, J_z = 2, B= 3 , b= 1$ برحسب تغییرات D, T ۷۱

شکل ۳-۳۶: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره‌ی XXX مدل هایزنبرگ تحت‌کنش DM در حضور میدان مغناطیسی غیریکنواخت به ازای $J=2, J_z = 1, B= 3 , b= 1$ برحسب تغییرات D, T ۷۱

شکل ۳-۳۷: تلاقی بین دوکیوبیت در زنجیره XX مدل هایزنبرگ تحت برهم‌کنش DM در حضور میدان مغناطیسی غیریکنواخت به ازای $J=2, J_z = 0, \beta= 5, B= 3$ برحسب تغییرات D, b ۷۲

شکل ۳-۳۸: تلاقی بین دو کیوبیت در مدل آیزینگ با $N = 3$ بر حسب تغییرات λ, T ۷۵

شکل ۳-۳۹: تلاقی بین کیوبیت اول و دوم در زنجیره‌ی باز XX مدل حاوی یک کیوبیت ناخالص به ازای $J_2 = J_3 = 3$ برحسب تغییرات J_1, T ۷۹

شکل ۳-۴۰: تلاقی بین کیوبیت اول و ودوم در زنجیره‌ی باز XX مدل حاوی یک کیوبیت ناخالص به ازای $J_1 = J_3 = 3$ برحسب تغییرات J_2, T ۷۹

شکل ۳-۴۱: تلاقی بین کیوبیت اول و ودوم در زنجیره‌ی باز XX مدل حاوی یک کیوبیت ناخالص به ازای $J_1 = J_2 = 3$ برحسب تغییرات J_3, T ۸۰

شکل ۳-۴۲: تلاقی بین کیوبیت اول وسوم در زنجیره‌ی باز XX مدل حاوی یک کیوبیت ناخالص به ازای $J_2 = J_3 = 3$ برحسب تغییرات J_1, T ۸۱

شکل ۳-۴۳: تلاقی بین کیوبیت اول و سوم در زنجیره‌ی باز XX مدل حاوی یک کیوبیت ناخالص به ازای $J_1 = J_3 = 3$ برحسب تغییرات J_2, T ۸۲

شکل ۳-۴۴: تلاقی بین کیوبیت اول و سوم در زنجیره‌ی باز XX مدل حاوی یک کیوبیت ناخالص به ازای $J_1 = J_2 = 3$ برحسب تغییرات J_3, T ۸۲

شکل ۳-۴۵: تلاقی بین کیوبیت دوم و سوم در زنجیره‌ی باز XX مدل حاوی یک کیوبیت ناخالص به ازای $J_2 = J_3 = 3$ برحسب تغییرات J_1, T ۸۴

شکل ۳-۴۶: تلاقی بین کیوبیت دوم وسوم در زنجیره‌ی باز XX مدل حاوی یک کیوبیت ناخالص به ازای $J_1 = J_3 = 3$ برحسب تغییرات J_2, T ۸۴

شکل ۳-۴۷: تلاقی بین کیوبیت دوم و سوم در زنجیره‌ی باز XX مدل حاوی یک کیوبیت ناخالص به ازای $J_1 = J_2 = 3$ برحسب تغییرات J_3, T ۸۵

شکل ۳-۴۸: تلاقی بین کیوبیت اول و دوم در زنجیره‌ی باز XXZ مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت به ازای $J_z = 8, J = 2$ برحسب تغییرات T, B ۹۰

شکل ۳-۴۹: تلاقی بین کیوبیت اول و دوم در زنجیره‌ی باز XXZ مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت به ازای $J_z = 2, J = 2$ برحسب تغییرات T, B ۹۰

شکل ۳-۵۰: تلاقی بین کیوبیت اول و دوم در زنجیره‌ی باز XXX مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت به ازای $J_z = 1, J = 2$ برحسب تغییرات T, B ۹۱

شکل ۳-۵۱: تلاقی بین کیوبیت اول و دوم در زنجیره‌ی باز XX مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت به ازای $J_z = 0, J = 2$ برحسب تغییرات T, B ۹۱

شکل ۳-۵۲: تلاقی بین کیوبیت اول وسوم در زنجیره‌ی باز XXZ مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت به ازای $J_z = 2, J = 2$ برحسب تغییرات T, B ۹۳

شکل ۳-۵۳: تلاقی بین کیوبیت اول و سوم در زنجیره‌ی باز XXX مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت به ازای $J_z = 1, J = 2$ برحسب تغییرات T, B ۹۴

شکل ۳-۵۴: تلاقی بین کیوبیت اول و سوم در زنجیره‌ی باز XX مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی یکنواخت به ازای $J_z = 0, J = 2$ برحسب تغییرات T, B ۹۴

شکل ۳-۵۵: تلاقی بین کیوبیت اول و دوم در زنجیره‌ی باز XX مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی غیریکنواخت به ازای $T = 0.2, J = 1$ برحسب تغییرات B, b ۹۹

شکل ۳-۵۶: تلاقی کیوبیت اول و دوم برای زنجیره‌ی باز XX مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی غیریکنواخت به ازای $B = 2, J = 1$ برحسب تغییرات T, b ۹۹

شکل ۳-۵۷: تلاقی بین کیوبیت اول و سوم در زنجیره‌ی باز XX مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی غیریکنواخت به ازای $J=1, T=0.2$ برحسب تغییرات B, b ۱۰۱

شکل ۳-۵۸: تلاقی بین کیوبیت اول و سوم در زنجیره‌ی باز XX مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی غیریکنواخت به ازای $J=1, B=2$ برحسب تغییرات T, b ۱۰۱

شکل ۳-۵۹: مقایسه تلاقی بین کیوبیت اول و دوم و تلاقی بین کیوبیت اول و سوم مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی غیریکنواخت به ازای $B=1, T=0$ برحسب تغییرات b ۱۰۲

شکل ۳-۶۰: مقایسه بین تلاقی در کیوبیت اول ودوم و تلاقی در کیوبیت اول و سوم مدل هایزنبرگ در حضور میدان مغناطیسی غیریکنواخت به ازای $B=2, T=0$ برحسب تغییرات b ۱۰۳

فصل اول

مقدمه و مروری بر

کارهای انجام شده

۱- ۱- معرفی مکانیک کوانتومی و لزوم استفاده از آن :

از آنجایی که رفتار اتم ها، الکترون‌ها، فوتون‌ها و بقیه‌ی ذرات زیر اتمی به کمک قوانین فیزیک کلاسیک قابل توضیح و تفسیر نبود، بنابراین در نیمه‌ی اول قرن بیستم به وسیله‌ی ورنر هایزنبرگ، نیلس بور، اروین شرودینگر، ماکس بورن، ماکس پلانک، لویی دوبروی، پاول دیراک، لفگانگ پاولی و دیگران پایه‌های مکانیک کوانتومی ساخته شد که بعضی از جنبه‌های بنیادی این نظریه هنوز هم در حال پیشرفت است. واژه‌ی کوانتوم به معنی بسته یا دانه بوده و این نظریه به بعضی از کمیت‌های فیزیکی (مانند انرژی یک اتم در حال سکون) مقدارهای گسسته‌ای نسبت می‌دهد.

پدیده‌ی دیگری که منجر به پیدایش مکانیک کوانتومی شد، امواج الکترومغناطیسی مانند نور بود. ماکس پلانک درسال ۱۹۰۰ هنگام مطالعه بر روی تابش جسم سیاه کشف کرد که انرژی این امواج را می توان به شکل بسته‌های کوچک در نظر گرفت. آلبرت اینشتین از این فکر بهره برد و نشان داد که امواجی مثل نور را می توان با ذره ای به نام فوتون که انرژی اش به بسامدش بستگی دارد توصیف کرد. این نظریه‌ها به دیدگاهی به نام دوگانگی موج-ذره بین ذرات زیراتمی و امواج الکترومغناطیسی منجر شد که در آن ذرات نه موج و نه ذره بودند بلکه ویژگی‌های هر دو را از خود بروز می دادند.

توصیف مکانیک کوانتومی پدیده‌های کوانتومی فیزیک بسیار حائز اهمیت است زیرا نظریه-های کلاسیک قادر به توصیف بعضی از پدیده‌ها نیستند به طور مثال اگر قرار بود قوانین مکانیک نیوتنی و الکترومغناطیس کلاسیک بر رفتار یک اتم حاکم باشد آنگاه الکترون‌ها به سرعت به سمت هسته اتم حرکت می کردند و به آن برخورد می‌کردند ولی در دنیای واقعی الکترون ها در نواحی خاصی دور اتم‌ها باقی می مانند. مکانیک کوانتومی علاوه بر این که دنیای ذرات بسیار ریز را توصیف می‌کند برای توضیح برخی از پدیده‌های بزرگ مقیاس مانند ابررسانایی و ابرشارگی هم به کار می‌رود.

در ساختار مکانیک کوانتومی حالت هر سیستم در هر لحظه به وسیله‌ی یک تابع موج مختلط توصیف می‌شود. بر خلاف مکانیک کلاسیک، در مکانیک کوانتومی نمی توان هم زمان کمیت های مزدوج را هم زمان اندازه گیری کرد مانند اندازه گیری هم زمان تکانه و مکان ذره.

این ناتوانی در تعیین هم زمان مکان و تکانه الکترون به اصل عدم قطعیت هایزنبرگ مشهور است.

در مکانیک کوانتومی حالت هر سیستم با یک بردار حالت متعلق به فضای مختلط که به آن فضای هیلبرت گفته می‌شود نشان می‌دهند که این بردار را کت می‌نامیم. همچنین مکانیک کوانتومی بیان می کند که حالت یک سیستم، پیش از اندازه گیری به طور دقیق قابل پیش بینی نیست[۱] .

۱-۲-معرفی در هم‌تنیدگی :

یکی از مهمترین و جالبترین خواص مکانیک کوانتومی درهم‌تنیدگی کوانتومی است. از درهم تنیدگی می‌توان به مهم‌ترین وجه تمایز مکانیک کوانتومی و مکانیک کلاسیکی اشاره کرد[۲]. به طور ساده در مکانیک کوانتومی درهم‌تنیدگی دو سیستم A,B به این معنی است که برخی از خواص فیزیک قابل اندازه گیری سیستم های A,B دارای وابستگی هستند و این مستقل از فاصله فضایی دو سیستم است. تاریخچه این موضوع به سال ۱۹۳۵ بر می‌گردد. زمانی که مقاله معروف انیشتین[۱] روزن[۲] و پودولسکی[۳] [۳] منتشر شد. این مقاله در واقع با هدف اثبات نقص مکانیک کوانتومی نوشته شده بود[۱] .

درهم‌تنیدگی به طور طبیعی در دماهای پایین کوانتومی رخ می‌دهد و هسته اصلی پدیده‌های کوانتومی مثل ابر رسانایی اثر کوانتومی هال و گذار فاز کوانتومی است[۴].

۱-۳-کاربردهای در هم‌تنیدگی:

در هم‌تنیدگی چهار کاربرد برجسته دارد:

۱) در ابتدا، می‌توان برای تست بعضی سوالات اساسی در مکانیک کوانتومی استفاده نمود[۵].
۲) این حالات درهم‌تنیده، کلید اصلی در فرآیند انتقال اطلاعات کوانتومی مثل انتقال از راه دور اطلاعات کوانتومی می‌باشد[۶].

[۱] A. Einstein
[۲] N. Rosen
[۳] B. Podolsky

۳) حالت‌های درهم‌تنیده را می‌توان برای افزایش حساسیت اندازه گیری‌های تداخل مثل ژیروسکوپ اپتیکی[۷] و تنظیم ساعت کوانتومی به کار برد.

۴) درهم‌تنیدگی نقش اصلی در مطالعه‌ی سیستم‌های کوانتومی همبسته را دارا است حالت پایه درهم‌تنیده در شناسایی گذار فاز کوانتومی[۸] عایق‌های مات، گذار ابر شاره، گذار مغناطیسی و پارا مغناطیسی کوانتومی به ما کمک می‌کند[۹].

مهم ترین کاربرد درهم‌تنیدگی، نقش اساسی درهم‌تنیدگی در پردازش اطلاعات و انتقال اطلاعات کوانتومی است[۴]. همچنین کاربرد درهم‌تنیدگی در پروتکل‌های رمز نگاری و انتقال ایمن اطلاعات به طور تجربی ثابت شده است.

۱-۴-استفاده از درهم‌تنیدگی در مخابرات کوانتومی :

در فناوری اطلاعات نظریه جدیدی موسوم به نظریه اطلاعات کوانتومی شکل گرفته است. در این نظریه از حالت‌های کوانتومی به عنوان حامل‌های اطلاعات استفاده می‌شود این نظریه را می‌توان به دو بخش عمده تقسیم کرد: محاسبات کوانتومی و ارتباطات کوانتومی و یا به طور خاص مخابرات کوانتومی. مخابرات کوانتومی تکنیکی است که در آن اطلاعات از یک نقطه به نقطه دیگر با استفاده از حالت‌های کوانتومی ارسال می‌شود بدون آنکه در این میان ماده یا جسمی جابه‌جا شود این امر به دو شیوه کلی انجام می‌شود: رمزنگاری کوانتومی، مخابرات تلفنی کوانتومی[۱].

۱-۵- معرفی برهم‌کنش DM :

نزدیک به نیم قرن پیش زنالوشنسکی و موریا برهم‌کنش نامتقارن ناهمسانگردی را معرفی کردند که آنرا برهم‌کنش DM نامیدند. این برهم‌کنش، برهم‌کنش ضعیف فرومغناطیسی را در کریستال‌های آنتی فرومغناطیسی توصیف می‌کند. مشاهده شده است برهم‌کنش DM قادر به ایجاد در هم‌تنیدگی در زنجیره اسپینی و ایجاد وفاداری[۱] در انتقال اطلاعات کوانتومی است[۱۰].

[۱] fidelity