دانشکده‌ی علوم

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد در رشته‌ی فیزیک- حالت جامد

بررسی گذار فازکوانتومی از منظر درهمتنیدگی کوانتومی چند قسمتی در مدل تعمیم یافته هایزنبرگ

به وسیله‌ی

رودابه نجفی‌نیا

استاد راهنما

دکتر افشین منتخب

اسفند ماه ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحيم

اظهارنامه

اینجانب رودابه نجفی‌نیا (۸۸۹۰۵۸) دانشجوی رشته فیزیک، گرایش حالت جامد دانشکده‌ی علوم اظهار می‌کنم که این پایان‌نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده‌ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته‌ام. همچنین اظهار می‌کنم که تحقیق و موضوع پایان نامه‌ام تکراری نیست و تعهد می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار دیگران قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام ونام خانوادگی: رودابه نجفی‌نیا

تاریخ و امضا : ۱۳۹۰/۱۲/۱۵

بررسی گذار فاز کوانتومی از منظر درهمتنیدگی کوانتومی چند قسمتی در مدل تعمیم یافته هایزنبرگ

به کوشش

رودابه نجفی‌نیا

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی

فیزیک - حالت جامد

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته دفاع پایان نامه با درجه : **عالی**

دکترافشین منتخب، استادیار بخش فیزیک (استاد راهنما).....

دکتر محمود براتی، استاد بخش فیزیک.....

دکتر محمود مرادی، استاد بخش فیزیک.....

دکتر سعید دعوت الحق، استادیار بخش فیزیک .....

اسفند ماه ۱۳۹۰

تقدیم به

پدر و مادر عزیز و همسر مهربانم

سپاسگزاری

سپاس خداوند بزرگ را که مرا آفرید و پس از هر بار افتادن قدرت دوباره برخاستن را به من داد. هم‌اکنون که این رساله به اتمام رسیده است بر خود لازم می‌دانم تا از زحمات بی‌دریغ و پیشنهادات راهگشای استاد راهنمای گرانقدر خود جناب آقای دکتر افشین منتخب در طی انجام این رساله، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم و از درگاه پروردگار متعال توفیق روزافزون را برای ایشان خواستارم. از اساتید بزرگوار آقایان دکتر محمود براتی، دکتر محمود مرادی و دکتر سعید دعوت‌الحق که مرا از راهنمایی‌های خود بهره‌مند ساختند سپاسگزاری می‌کنم، همچنین از زحمات جناب آقای دکتر اسدیان در انجام این رساله قدردانی می‌نمایم.

در پایان از خانواده عزیز و همسر مهربانم که مشوق و همراهان همیشگی من بوده‌اند، سپاسگزاری و تشکر می‌کنم.

چکیده

بررسی گذار فاز کوانتومی از منظر درهمتنیدگی کوانتومی چند قسمتی در مدل تعمیم یافته هایزنبرگ

به کوشش

رودابه نجفی‌نیا

در این تحقیق فازهای مدل هایزنبرگ XY و XX برای سیستمهای اسپین $\frac{1}{2}$ کوانتومی را با توجه به درهمتنیدگی مورد مطالعه قرار دادیم. ما نشان می‌دهیم که درهمتنیدگی که یک کمیت کوانتومی محض می‌باشد می‌تواند به عنوان یک کمیت ترمودینامیکی در سیستمهای ترمودینامیکی در تعیین گذار فازهای کوانتومی نقش مهمی را ایفا کند. در این تحقیق با استفاده از روشهای دقیق عددی حالت پایه سیستم را در دمای صفر مطلق بدست می‌آوریم هرچند در مطالعات عددی انجام شده به دلیل پیچیدگیهای ناشی از قطری کردن ماتریسهای بزرگ سیستمها را فقط تا تعداد ۲۰ اسپین مورد بررسی قرار دادیم ولی با استفاده از روشهای تخمینی و مقیاس اندازه محدود حد ترمودینامیکی آنها مورد تحقیق قرار گرفت. معیار مورد استفاده در تعیین فازها از دیدگاه درهمتنیدگی یک معیار چند بخشی به نام درهمتنیدگی گلوبال بوده است حال آنکه بیشتر تحقیقات در این زمینه با استفاده از معیارهای دو بخشی انجام شده است. ما نشان خواهیم داد که درهمتنیدگی گلوبال که از دیدگاه تئوری اطلاعات مورد بررسی قرار گرفته است در گذار از فازهای فرومغناطیس به پارامغناطیس دارای قله‌هایی خواهد بود و رفتار مقیاسی برای آن مشاهده می‌شود و توانستیم با استفاده از این معیار نماهای بحرانی ν و a را برای مدل XY و نمای بحرانی ν که نمای بحرانی مربوط به طول همبستگی می‌باشد و از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است را برای مدل XX در نقطه بحرانی چندگانه به‌دست آوریم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول : مقدمه ۲

فصل دوم : سیستم‌های اسپینی

۲- ۱- تکانه‌های زاویه‌ای ۹

۲-۲- تقسیم‌بندی مدل‌های اسپینی ۱۱

فصل سوم : تئوری اطلاعات

۳- ۱- مفهوم اطلاعات ۱۸

۳- ۲ - تئوری اطلاعات ۱۹

۳- ۳ - روابط آنتروپی کلاسیکی ۲۲

فصل چهارم : درهم‌تنیدگی کوانتومی

۴- ۱- تعریف درهمتنیدگی ۲۵

۴-۲- معرفی چند مورد از معیارهای درهمتنیدگی ۲۹

۴-۲-۱- تجزیه اشمیت ۲۹

۴-۲-۲- آنتروپی فون نیومن ۳۰

عنوان **صفحه**

۴-۲-۳- درهمتنیدگی تشکیل ۳۱

۴-۲-۴- کانکارنس..... ۳۲

۴-۲-۵- معیار هندسی ۳۲

۴-۲-۶- درهمتنیدگی گلوبال ۳۴

فصل پنجم : گذارفاز کوانتومی

۵-۱- مفهوم گذار فاز کوانتومی ۴۰

۵-۲- مقایسه کلی گذار فازهای کلاسیکی و کوانتومی ۴۱

فصل ششم : گذار از فاز فرومغناطیس به فاز پارامغناطیس و بررسی رفتاردرهمتنیدگی گلوبال در داخل فاز نوسانی در مدل XY

۶- ۱- فازهای مدل هایزنبرگ یک بعدی ۴۶

۶- ۲- روش تحقیق..... ۴۸

۶- ۳ - بررسی گذار فاز از حالت فرومغناطیس به پارامغناطیس..... ۴۹

۶-۳-۱- درهمتنیدگی گلوبال در گذار از فاز فرومغناطیس به فاز پارامغناطیس..... ۴۹

۶-۳-۲- استفاده از روشهای تخمینی و بررسی رفتارهای مقیاسی ۵۷

۶- ۴- بررسی فاز نوسانی از دیدگاه درهمتنیدگی..... ۶۳

فصل هفتم : گذار ازفاز نوسانی به فاز فرومغناطیسی و بررسی گذار از فاز نوسانی به فاز پارامغناطیس در مدل XX

۷-۱- حرکت بر روی خطوط r و h ثابت ۷۴

۷-۲- بررسی رفتار درهمتنیدگی بر روی خط گذار..... ۷۵

۷-۳- حرکت بر روی دوایری بسیار نزدیک به منحنی گذار ۷۹

عنوان **صفحه**

فصل هشتم : نتایج و پیشنهادات ۸۸

فهرست منابع و مأخذ ۹۱

فهرست جدول ها

عنوان **صفحه**

جدول ۶- ۱ : نقطه بحرانی بدست آمده برای ۵ سیستم با rهای مختلف در مدل XY ۵۸
جدول ۶- ۲ : مقادیر اندازه‌گیری شده مولفه بحرانی a در مدل XY در گذار از فاز
فرومغناطیس به فاز پارامغناطیس ۶۰
جدول ۷- ۱ : ضرائب ناهمسانگردی بحرانی و میدان مغناطیسی بحرانی در حد
ترمودینامیکی در مدل XX..... ۸۲

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲- ۱ : مدل لانه زنبوری..... ۱۶

شکل ۲- ۱ : مدل دیوار آجری..... ۱۶

شکل ۳- ۱ : کره بلاخ..... ۲۱

شکل ۳- ۲ : انواع مختلف آنتروپی..... ۲۲

شکل ۴- ۱ : درهمتنیدگی حقیقی..... ۳۷

شکل ۶- ۱ : دیاگرام فازی برای مدل هایزنبرگ..... ۴۷

شکل ۶- ۲ : نمودارسه بعدی درهمتنیدگی یک زنجیره ۱۰ اسپینی..... ۴۹

شکل ۶- ۳ : نمودارسه بعدی مشتق درهمتنیدگی یک زنجیره اسپینی..... ۵۰

شکل ۶- ۴ : رفتار درهمتنیدگی گلوبال در یک زنجیره ۱۰ اسپینی بر اثر تغییرمیدان

مغناطیسی برای rهای متفاوت..... ۵۱

شکل ۶- ۵ : رفتار درهمتنیدگی برای زنجیره‌های۱۲، ۱۴،۱۶ اسپینی..... ۵۲

شکل ۶- ۶ : نمودار مغناطش و درهمتنیدگی بر حسب تغییرات میدان مغناطیسی

$r = 0$..... ۵۳

شکل ۶- ۷ : نمودار مغناطش و درهمتنیدگی بر حسب تغییرات میدان مغناطیسی

در سه مدل متفاوت..... ۵۴

شکل ۶- ۸ : رفتارمشتق درهمتنیدگی نسبت به $\boldsymbol{\lambda}$ برای r های مختلف..... ۵۵

شکل ۶- ۹ : رفتارمشتق درهمتنیدگی نسبت به λ برای r های مختلف در نزدیکی

نقطه گذار..... ۵۶

عنوان **صفحه**

شکل ۶- ۱۰ : رفتار نقطه بحرانی برای هر سیستم با r متفاوت با افزایش تعداد اسپینهای زنجیره ۵۷
شکل ۶- ۱۱ : رفتار نقطه بحرانی برای مدل آیزینگ با افزایش تعداد اسپینهای زنجیره ۵۸
شکل ۶- ۱۲ : بررسی رابطه همگرایی نقطه بحرانی در مدل هایزنبرگ ۵۹
شکل ۶- ۱۳ : بررسی رابطه همگرایی نقطه بحرانی در مدل آیزینگ ۶۰
شکل ۶- ۱۴ : مقیاس اندازه محدود درهمتنیدگی در مدل هایزنبرگ و نمایش رفتار لگاریتمی مشتق درهمتنیگی ۶۱
شکل ۶- ۱۵ : مقیاس اندازه محدود درهمتنیدگی در مدل هایزنبرگ و آیزینگ و نمایش رفتار لگاریتمی مشتق درهمتنیگی..... ۶۲
شکل ۶- ۱۶ : نمودارسه بعدی درهمتنیدگی زنجیره ۲ اسپینی ۶۴
شکل ۶- ۱۷ : نمودارسه بعدی درهمتنیدگی زنجیره ۴ و ۶ اسپینی ۶۵
شکل 6- 18 : رفتار مشتق درهمتنیدگی در یک زنجیره ۱۴ اسپینی برای r های مختلف با افزایش میدان ۶۶
شکل ۶- ۱۹ : رفتار مشتق درهمتنیدگی نسبت به میدان مغناطیسی در r ثابت و زنجیره‌های متفاوت ۶۷
شکل ۶- ۲۰ : بررسی مشتق درهمتنیدگی با تغییر میدان مغناطیسی با دقت بیشتر در محل پله‌ها ۶۸
شکل ۶- ۲۱ : نمودار تغییرات ویژه‌مقادیر انرژی سیستم با افزایش میدان مغناطیسی ۶۹
شکل ۶- ۲۲ : نمودار تغییرات ویژه‌مقادیر انرژی برای دو تراز کوانتومی با کمترین مقدار انرژی ۷۰
شکل ۶- ۲۳ : مکان هندسی فرورفتگیهای مشاهده شده در نمودارها برای مدل عام هایزنبرگ ۷۱

عنوان **صفحه**

شکل ۷- ۱ : نمایش خطوط فرضی r وh ثابت به منظور گذار از فاز نوسانی به فرومغناطیسی در دیاگرام فازی ۷۴

شکل ۷- ۲ : نمایش رفتار درهمتنیدگی با تغییر میدان مغناطیسی در امتداد r ثابت ۷۴

شکل ۷- ۳ : نمودار سه بعدی تغییرات درهمتنیدگی گلوبال برای یک زنجیرۀ ۱۰ اسپینی در نزدیکی میدان بحرانی ۷۵

شکل ۷- ۴ : نمودارتغییرات درهمتنیدگی گلوبال و مشتق آن نسبت به میدان در مدل هایزنبرگ روی خط گذار با تغییر میدان مغناطیسی برای زنجیرۀهای ۱۶ ، ۱۸ و ۲۰ اسپینی ۷۶

شکل ۷- ۵ : نمایش رفتار مشتق درهمتنیدگی ، نسبت به تغییرات میدان مغناطیسی بر روی خط $r^2 + h^2 = 1$ ۷۷

شکل ۷- ۶ : نمودارتغییرات درهمتنیدگی گلوبال و مشتق آن نسبت به ضریب ناهمسانگردی در مدل هایزنبرگ روی خط گذار برای زنجیرۀهای ۱۶ ، ۱۸و ۲۰ اسپینی ۷۸

شکل ۷- ۷ : نمایش چگونگی حرکت به سمت نقاط گذار ۷۹

شکل ۷- ۸ : نمودارهای تغییرات درهمتنیدگی گلوبال و مشتق آن با افزایش ضریب ناهمسانگردی داخل فاز نوسانی و داخل فاز فرومغناطیس ۸۰

شکل ۷- ۹ : رفتار نقطه بحرانی برای با افزایش تعداد اسپینهای زنجیره در فواصل مختلف از نقطه گذار چندگانه ۸۱

شکل ۷- ۱۰ : مقیاس اندازه محدود درهمتنیدگی گلوبال ۸۳

شکل ۷- ۱۱ : نمایش رفتار لگاریتمی مشتق درهمتنیگی در نقطه $\mathbf{r_m}$ نسبت به N..... ۸۴

شکل ۷- ۱۲ : رفتار مشتق درهمتنیدگی نسبت به میدان مغناطیسی و نمایش محاسبات عددی در محاسبه آن درخارج فاز نوسانی ۸۵

شکل ۷- ۱۳ : رفتار مشتق درهمتنیدگی نسبت به میدان مغناطیسی و نمایش محاسبات عددی در محاسبه آن درداخل فاز نوسانی ۸۶

فصل اول

مقدمه

مکانیک کوانتوم یک تئوری بسیار قوی می‌باشد که بر پایه فیزیک بنیادی بنا شده است و بیان دقیق وکاملی از طبیعت را عنوان می‌کند. شاید در نگاه بسیار سطحی تنها اصول موضوعه‌ای از قبیل بر هم نهی حالتهای کوانتومی و یا چگونگی تحول و اندازه‌گیری حالتهای کوانتومی بسیار خودنمایی کند، حال آنکه مفهوم واقعی مکانیک کوانتومی چیزی بسیار فراتر از اینها می‌باشد. اگر فقط با یک دید کاملاً ریاضی‌گونه وارد دنیای کوانتوم شویم جواب بسیاری از سوالات ما بدون پاسخ می‌ماند، یکی از این اصول موضوعه در سال ۱۹۲۵ توسط پائولی[1] مطرح شد [۱] آن را اصل طرد پائولی نامید، بر طبق این اصل هیچ دو الکترونی نمی‌تواند دارای عدد کوانتومی یکسان باشد، به بیان ساده‌تر هیچ دو الکترونی نمی‌توانند یک حالت یکسان را اشغال کنند.

شاید در وهله اول این گونه به نظر برسد که بیان این موضوع فقط در خصوص الکترون‌ها می‌باشد، حال آنکه برای ورود به دنیای کوانتومی مواد باید در نظر داشت که بخش مهمی از ساختار اتمها، الکترونها یعنی ذراتی با اسپین $\frac{1}{2}$ می‌باشند، بیان خصوصیات گرمایی و الکتریکی مواد جامد با درنظر گرفتن الکترون‌ها امکان پذیر می‌باشد. تشکیل کوتوله‌های سفید که در اثر رمبیدن ستاره و متوقف شدن این پدیده در اثر فشار حاصل از الکترونها روی می‌دهد بدین دلیل می‌باشد که الکترون‌ها نمی‌توانند یک حالت یکسان را اشغال کنند. هزاران پدیده دیگری که در طبیعت اتفاق می‌افتد از این اصل به ظاهر ساده نشات می‌گیرند. در واقع می‌توانیم بگوییم اصل طرد پائولی به عنوان یکی از مهمترین اصول برای موفقیت مکانیک کوانتومی می‌باشد هرچند که خود پائولی همچنان نارضایتی خودش را هنگام دریافت جایزه نوبل در سال 1946 به دلیل اینکه نتوانسته بود این اصل را به عنوان یک نتیجه قابل درک از یک فرضیه عام‌تری استخراج کند، اعلام کرده بود [۲].

[1]. Wolfgang Pauli

یکی دیگر از اصول موضوعه مکانیک کوانتوم اصل تقارن می‌باشد که از پدیده کاملاً کوانتومی تمیز پذیری و تمیز ناپذیری ذرات ناشی می‌شود. طبق این اصل حالتهای ممکن برای سیستمی که دارای ذرات تمیزناپذیر و غیرقابل تشخیص می‌باشند آن حالتهایی هستند که نسبت به جایگشت برچسب‌هایی که برای ذرات در نظر گرفته‌ایم :

۱- یا کاملاً متقارن باشند، در این صورت ذرات را بوزرن[1] می‌نامند.

۲- یا نامتقارن باشند، در این صورت ذرات را فرمیون[2] می‌نامند.

ذرات با اسپین نیمه صحیح را فرمیون و ذرات با اسپین صحیح را بوزون می‌نامند که اثبات این تئوری در سال ۱۹۴۰ توسط پائولی منتشر شد [۳].

پدیده‌های زیادی در اطراف ما اتفاق می‌افتند که در چارچوب کلاسیک و قوانین حاکم بر آن قابل تفسیر و بیان نمی‌باشند و احتیاج به یک تئوری کاملتر و بنیادی‌تری دارند، این قوانین ظاهراً ساده و در عین حال بسیار زیبا که نمی‌توانیم آنها را اثبات کنیم برای موفقیت مکانیک مکانیک بعنوان یک تئوری جامع که طبیعت و دنیای اطراف ما را توصیف می‌کند بسیار قطعی و مهم می‌باشند.

در سال ۱۹۳۵ انیشتین، پودولسکی و روزن[3] [۴] مقاله‌ای مبنی بر کامل نبودن مکانیک کوانتومی منتشر کردند و بر این اعتقاد بودند که توصیف واقعیت‌گرایی که یکی از اصول کلاسیک می‌باشد توسط مکانیک کوانتوم کامل نیست و با بیان پارادوکس EPR که در واقع طراحی یک آزمایش فکری بود در جهت تضعیف تئوری مکانیک کوانتومی گام برداشتند. بر خلاف انتظار در آن اثر یک همبستگی قوی میان زیرسیستمهای غیربرهم‌کنشی یک سیستم فیزیکی مشاهده شد و این همبستگی زمانی روی می‌دهد که زیرسیستمها در حالت درهمتنیده قرار گرفته باشند. درهم‌تنیدگی[4] یک خصوصیت کوانتوم مکانیکی می‌باشد که سالها قبل توسط شرودینگر[5] مطرح شد و او آن را ویژگی مشخصه سیستم‌های کوانتومی نامید [۵] هر چند همواره توسط انیشتین مورد تمسخر قرار می‌گرفت و او آنرا چیزی بیشتر از خطا در محاسبات نمی‌دانست. درهم‌تنیدگی از آن پس در هاله‌ای از ابهام باقی ماند و با نظریات مختلفی چه از

---

[1]. Boson
[2]. Fermion
[3]. Einstein Podolsky Rosen
[4]. Entanglement
[5]. Schrödinger

دیدگاه فلسفی و چه از دیدگاه نظریه پردازان فیزیک مواجه می‌شد و سپس با انجام یک‌سری آزمایشات که در سال ۱۹۷۲ آغاز شد صحت وجود آن مورد تصدیق قرار گرفت. در سال ۱۹۸۲ آلین اسپکت[1] مقاله‌ای را منتشر کرد [6] که در آن نتایج آزمایشی که توسط فوتونها و پلارویدها انجام شده بود توافق خوبی با پیش‌بینی‌های کوانتوم مکانیکی را نشان می‌داد و بر طبق آن برهمکنشهای غیرموضعی اتفاق می‌افتد. با یافتن درهمتنیدگی که کمیت محض کوانتوم مکانیکی می‌باشد و هیچ مشابه کلاسیکی برای آن وجود ندارد و مشاهده اثرات این پدیده در آزمایشهای عملی بسیاری از محققان فیزیک را به منظور فهم بهتر از دنیای کوانتوم به تکاپو و تحقیق واداشت. این علاقه به تحقیقات نه تنها در پژوهشگران علم فیزیک بلکه سایر رشته‌های علوم مختلف از جمله پژوهشگران در حیطه ارتباطات، علوم کامپیوتر، فلسفه و... بسیار دیده می‌شود و محققین در تمامی این رشته‌ها چه از دیدگاه نظری و چه از دیدگاه کاربردی به تحقیق در خصوص درهمتنیدگی ترغیب شده‌اند و هر کدام در جهت پیشبرد اهداف خویش از نظرات، پیشنهادات و نتایج تحقیقات یکدیگر استفاده می‌کنند و با نقد و بررسی آنها در جهت کشف عمیق‌تر دنیای کوانتوم گام برمی‌دارند.

در ادامه بهتر است به بررسی برخی از کاربردهای درهمتنیدگی بپردازیم. یکی از کاربردهای درهمتنیدگی کوانتومی رمز نگاری کوانتومی می‌باشد. همانطور که می دانیم یکی از روش های ارسال پیام تبدیل آن ها به کد می‌باشد که توسط ورنم[2] در سال ۱۹۲۶ پیشنهاد شد[7]. در این روش حروف را مترادف با اعداد در نظر می‌گیرند و اعداد به صورت باینری کدگذاری می‌شوند و به صورت رشته‌ای از اعداد صفر و یک درمی‌آیند سپس قوانین خاصی را برای خواندن این ارقام در نظر می‌گیرند و یک کلید مشترک میان فرستنده پیام و گیرنده پیام وجود دارد که بر طبق آن پیام را رمز نگاری و رمز گشایی می‌کنند. با توجه به محدود بودن کلاسیک مشکلات زیادی در این روش وجود دارد مثلاً ساختن کلیدهای مختلف برای پیغام‌های مختلف، چگونگی ارسال کلید رمز گشایی و دسترسی جاسوسان به این کلید که یکی از مهم‌ترین مشکلات آن می‌باشد. هم اکنون روش های زیادی جهت رمز گشایی کوانتومی وجود دارد که این روش ها را پروتکل می نامند. یکی از این پروتکل‌ها، پروتکل BBM92

[1]. Alain Aspect
[2]. Vernam

می‌باشد که بر اساس درهمتنیدگی EPR تعریف می‌شود. در این روش با استفاده از حالت EPR برای دو فوتون و با استفاده از قطبش های خطی، عمودی و یا قطبش‌های متعامد با زوایای دلخواه کلید رمز گشایی برای فرستنده و گیرنده پیام تولید می‌شود و احتمال لورفتن و استراق سمع توسط جاسوسان به حداقل می‌رسد [10 - 8].

از جمله دیگر کاربردهای درهمتنیدگی، ذخیره اطلاعات کوانتومی و مخابره کوانتومی[1] است و می‌توان در مراجع [12, 11] با آن آشنا شد.

دنیای پیرامون ما با سرعت بسیار زیاد در حال پیشرفت و تغییر و تحول است و این پیشرفت سریع و روز افزون آن، بیش از آنکه به تولید اطلاعات وابسته باشد به انتقال و پردازش سریعتر این اطلاعات نسبت به گذشته مرتبط می‌شود. همانطور که می‌دانیم پایه و اساس این نقل و انتقالات بر اساس محاسبات و پردازش اطلاعات موجود در سیستم مورد نظر می‌باشد. اطلاعات موجود در سیستم‌هایی که با آنها کار می کنیم اطلاعات کلاسیکی هستند و این اطلاعات از طریق محاسبات کلاسیکی پردازش و انتقال داده می‌شوند و به خوبی برای ما قابل درک هستند.

پردازش اطلاعات و محاسبات کوانتومی بسیاری از پژوهشگران علوم کامپیوتر را بر آن داشته است تا در خصوص ساخت کامپیوترهای کوانتومی تحقیقات گسترده‌ای را انجام دهند که قطعاً دارای فواید بیشتری از جمله سرعت پردازش اطلاعات، حجم بالای ذخیره اطلاعات و نتیجتاً ابعاد کوچکتری خواهند بود. در بسیاری از موارد حتی الگوریتم‌هایی کوانتومی[2] برای محاسبات کوانتومی نیز نوشته شده است که درهمتنیدگی مهمترین نقش در آنها را بر عهده دارد [15 - 13]. در فرایند پردازش اطلاعات از مدارهای کوانتومی استفاده می‌شود که این مدارهای کوانتومی شامل سیمهای کوانتومی و گیت‌های کوانتومی[3] می‌باشند. سیمها در واقع کانال‌هایی هستند که برای انتشار بدون تغییر در حالت سیستم کوانتومی در نظر گرفته شده‌اند و گیت‌های کوانتومی عمل تبدیلات یکانی سیستم‌های کوانتومی را بر عهده دارند. در این راستا گیت‌های منطقی‌ای همانندCNOT ،SWAP، CCNOTو... وجود دارند که با استفاده از آن ها فرایندهای محاسباتی را می‌توانیم انجام دهیم.

---

[1]. Quantum teleportation
[2]. Quantum algorithm
[3]. Quantum gate