«پژوهشگر گرامی»

صفحاتی را که مشاهده می‌فرمایید، گزیده‌ای محدود از یک سند پژوهشی طولانی است که شامل:

- صفحه روی جلد
- چکیده فارسی و انگلیسی
- صفحه اول مقدمه
- منابع
- فهرست مطالب
- پیشنهادات

جهت مطالعه دقیق جزئیات بیش‌تر سند به‌صورت چاپی به بخش پایان‌نامه‌ها در کتابخانه مرکزی و نیز برای مشاهده شکل دیجیتالی آن وارد پیوند ذیل شوید:

http://172.16.33.12/faces/search/digitalresources/digitalBriefView.jspx?_afPfm=mzlnj3xmi

در صورت به وجود آمدن هر گونه مشکل و پرسش در زمینه دسترسی، تهیه و استفاده از منابع الکترونیکی و دیجیتالی به مرکز اطلاع‌رسانی و بخش منابع دیجیتال کتابخانه مرکزی و مرکز اسناد دانشگاه مراجعه و یا تماس بگیرید!

شماره تماس: ۰۸۷-۳۳۶۲۴۰۰۶

دانشگاه کردستان
دانشکده علوم پایه
گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیک گرایش حالت جامد

عنوان

بررسی ساخت کیوبیت‌های کوانتومی با استفاده از اتصالات جوزفسون

پژوهشگر
میثم عزیزی کندوله

استاد راهنما
دکترشهریار سلیمی

شهریور ۱۳۹۸

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه کردستان

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیک گرایش حالت جامد

عنوان:

بررسی ساخت کیوبیت‌های کوانتومی با استفاده از اتصالات جوزفسون

پژوهشگر:

میثم عزیزی کندوله

استاد راهنما:

دکترشهریار سلیمی

شهریور ۱۳۹۸

دانشگاه کردستان

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیک گرایش حالت جامد

عنوان:

بررسی ساخت کیوبیت‌های کوانتومی با استفاده از اتصالات جوزفسون

پژوهشگر:

میثم عزیزی کندوله

در تاریخ ۱۳۹۸/۰۶/۲۷ توسط کمیته تخصصی وهیات داوران زیر مورد بررسی قرار گرفت و با نمره ..... و درجه ..... به تصویب رسید.

هیات داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضا
۱ـ استاد راهنما	دکتر شهریار سلیمی	استاد	
۳ـ استاد داور داخلی	دکتر فردین خیراندیش	استاد	
۴ـ استاد داور داخلی	دکتر آرش سروری	استادیار	

مهر و امضاء مدیر گروه
دکتر فردین خیراندیش

معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده
دکتر صابر ناصری

چکیده

در این پایان‌نامه به بررسی ساختار کیوبیت‌های ابررسانا با استفاده از اتصالات جوزفسون می‌پردازیم و یک کیوبیت ابررسانا به نام "ترانسمون" بررسی می‌کنیم که می‌توان آن را با طراحی ساده از مدار ابررسانایی ساخت. ابررسانا دارای ویژگی های منحصر به فردی است که توجه زیادی را در زمینه‌های مختلف تحقیقاتی به خود جلب کرده است. یکی از کاربردهای ابررسانایی اتصالات جوزفسون می باشد. علاوه بر این ترانسمون دارای مزایای متعدد مانند داشتن زمان واهمدوسی بسیار بالاتر نسبت به سایرکیوبیت‌های معرفی شده، کاهش نوفه بار و سایر مواردی که به آن‌ها در پایان‌نامه پرداخت شده است. توضیحات جامعی درباره اتصالات جوزفسون ابررسانایی و ساختار کیوبیت‌های ابررسانا ارائه می‌دهیم، سپس کیوبیت ابررسانای ترانسمون را از جنبه‌های مختلف مورد بررسی قرار می‌دهیم و با مقایسه این کیوبیت با سایر کیوبیت‌ها در مورد مزایای این کیوبیت نسبت به سایر کیوبیت‌ها بحث می‌کنیم.

کلمات کلیدی: اتصال جوزفسون، کیوبیت، ترانسمون، ابررسانایی ، مدارابررسانایی، زمان واهمدوسی

دانشگاه کردستان

فهرست مطالب

فصل اول ابررسانایی ۱

۱-۱ مقدمه ۱
۱-۲ تاریخچه ۲
۱-۳ مفهوم ابررسانایی ۴
۱-۳-۱ دمای گذار ۴
۱-۳-۲ مقاومت صفر ۴
۱-۴ انواع ابررسانا ۵
۱-۴-۱ ابررسانای نوع اول ۵
۱-۴-۲ ابر رسانای نوع دوم ۶
۱-۵ مفهوم عمق نفوذ ۶
۱-۶ کوانتش شار مغناطیسی ۸
۱-۷ اثر مایسنر ۱۱
۱-۷-۱ قانون القای فارادی ۱۱
۱-۷-۲ قانون لنز ۱۲
۱-۷-۳ اثر مایسنر ۱۲
۱-۸ نظریه BCS و جفت کوپر ۱۳
۱-۹ تونل زنی الکترون ۱۴

فصل دوم اتصال جوزفسون... ..... ۱۶

۲-۱ مقدمه ۱۶
۲-۲ اثر جوزفسون ۱۷
۲-۳ القاییدگی غیرخطی جوزفسون ۱۹
۲-۴ مدار مجتمع کوانتومی ۲۱
۲-۵ جعبه جفت کوپر ۲۴
۲-۶ تقسیم‌بندی کیوبیت‌ها ۲۸
۲-۶-۱ کیوبیت بار ۲۸
۲-۶-۲ کیوبیت فاز ۳۲

۲-۶-۲-۱ ناحیه پتانسیل ۳۸
۲-۶-۳ کیوبیت شار ۳۹

فصل سوم ترانسمون ۴۳

۳-۱ مقدمه ۴۳
۳-۲ ترانسمون ۴۴
۳-۳ پراکندگی بار ترانسمون ۴۸
۳-۴ انحرافی بودن ترانسمون ۵۴
۳-۵ مقایسه ترانسمون با کیوبیت فاز ۵۸
۳-۶ تقسیم ترانسمون: درجه آزادی شار با اتصال نامتقارن ۶۰
۳-۷ مدار QED برای ترانسمون ۶۱
۳-۸ قدرت اتصال ترانسمون ۶۳
۳-۹ کنترل و خواندن: محدودیت پراکندگی ۶۵
۳-۱۰ تخمینی برای زمان آرامش ترانسمون ۶۹
۳-۱۰-۱ آرامش توسط انتشار خود به خودی ۶۹
۳-۱۰-۲ اثر پورسل ۷۰
۳-۱۰-۳ تلفات دی‌الکتریک ۷۲
۳-۱۰-۴ آرامش به دلیل تونل زدن شبه ذرات ۷۲
۳-۱۰-۵ آرامش ناشی از اتصال شار ۷۴
۳-۱۱ اتصال به حالت‌های بدل، متعادل‌سازی و سایر منابع نوفه ۷۶
۳-۱۲ تخمینی برای مدت زمان وافازی ترانسمون (**T2**) ۷۷
۳-۱۳ نوفه بار ۸۰
۳-۱۴ نوفه شار ۸۲
۳-۱۵ نوفه جریان بحرانی ۸۳
۳-۱۶ وافازی به دلیل تونل‌زنی شبه ذرات ۸۳
۳-۱۷ نوفه E_C ۸۳
۳-۱۸ خلاصه و نتیجه‌گیری ۸۴

منابع..... ۸۶

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱ نمودار زمانی کشف ابر رسانا در دماهای بحرانی مختلف ۴

شکل ۱-۲ نمودار انواع ابررسانا ۶

شکل ۱-۳ نفوذ شار مغناطیسی به داخل سطح ابررسانا. ۸

شکل ۱-۴ تولید جریان ماندگار در حلقه‌ی ابررسانا ۱۲

شکل ۱-۵ اثر مایسنر: در $\boldsymbol{T \leq TC}$، ابررسانا میدان مغناطیسی را از خود طرد می‌کند ۱۳

شکل ۱-۶ آهنربای معلق روی یک ابررسانای سرد شده توسط نیتروژن مایع تحت تاثیر اثر مایسنر ۱۳

شکل ۲-۱ یک نمودار مختصری از اتصال جوزفسون ۱۸

شکل ۲-۲ یک مدار LC که در آن L نشان‌دهنده القاییدگی و C ظرفیت مدار است. ۲۳

شکل ۲-۳ یک طرح کلی از CPB ۲۶

شکل ۲-۴ نمودار انرژی CPB بر حسب N_G ۳۲

شکل ۲-۵ نمودار انرژی کیوبیت بار و طرحواره مدار معادل آن ۳۵

شکل ۲-۶ نمودار سطح انرژی CPB برای نسبت‌های بزرگ $\frac{E_j}{E_c}$ ۳۵

شکل ۲-۷ نمودار انرژی کیوبیت فاز و مدار معادل آن ۳۵

شکل ۲-۸ نمودار انرژی کیوبیت شار و مدار معادل آن. ۴۶

شکل ۲-۹ یک نمونه اولیه کیوبیت شار. ۴۷

شکل ۲-۱۰ شماتیک سطوح انرژی کیوبیت شار ۴۷

شکل ۳-۱ A) مدار ترانسمون B) شکل ساده‌ای از طراحی آن ۵۱

شکل ۳-۲ نمودار انرژی CPB برای نسبت‌های متفاوت $\frac{E_j}{E_c}$ ۵۳

شکل ۳-۳ A) یک روتور کوانتومی B) نمودار انرژی آن ۵۷

شکل ۳-۴ مقایسه عبارت عددی دقیق و تقریبی مربوط به پراکندگی بار و سطوح انرژی..... ۶۰

شکل۳-۵ انحراف ۱) نسبی ۲) مطلق در نقطه دژنره به عنوان تابعی از نسبت $\frac{E_j}{E_c}$ ۶۱

شکل۳-۶ حل‌هایی برای کیوبیت هامیلتونی (۳-۷) در صورت بایاس بار..... ۶۶

شکل ۳-۷ عناصر خارج از قطر اصلی ماتریس از تعداد جفت کوپر به‌عنوان تابعی از $N_g = (\frac{E_j}{E_c})$ **12**)..... ۷۰

شکل۳-۸ مقایسه مکانیکی نشان‌دهنده تفاوت اساسی بین پاسخ AC وDC است. ۷۲

شکل ۳-۹ نمودار بسامد پراکنده χ به‌عنوان یک تابع از جدا کردن Δ_0 ..... ۷۶

شکل۳-۱۰ تعداد شبه ذرات و سهم آن‌ها در زمان آرام‌سازی T_1 به علت تونل زنی شبه ذرات تغییرناپذیر به عنوان تابعی است از دما $\frac{E_j}{E_c} = 60$ ۸۱

شکل ۳-۱۱ مدل برای برآورد زمان آرامش ناشی از اتصال شار. ۸۲

دانشگاه کردستان

فهرست جدول‌ها

جدول ۳-۱ مقایسه زمان وافازی برای ترانسمون و کیوبیت‌های جعبه جفت کوپر. ۷۹

دانشگاه کردستان

فصل اول ابررسانایی

۱-۱ مقدمه

ابررسانایی پدیده‌ای است که در دماهای بسیار پایین برای برخی از مواد رخ می‌دهد. در حالت ابررسانایی مقاومت الکتریکی ماده دقیقاً صفر می‌شود و ماده خاصیت دیامغناطیس کامل پیدا می‌کند، یعنی میدان مغناطیسی را از درون خود طرد می‌کند. طرد میدان مغناطیسی تنها تفاوت اصلی ابررسانا با رسانای کامل است، زیرا در رسانای کامل انتظار می‌رود میدان مغناطیسی ثابت بماند، در حالی که در ابررسانا میدان مغناطیسی همواره صفر است [۱و۲].

مقاومت الکتریکی یک رسانای فلزی به تدریج با کاهش دما کم می‌شود. در رساناهای معمولی مثل مس و نقره، وجود ناخالصی و مشکلات دیگر این روند را کند می‌کند. به طوری‌که حتی در صفر مطلق هم نمونه‌های معمول مس همچنان مقاومت الکتریکی کمی دارند. در مقابل ابررساناها موادی هستند که اگر دمایشان از یک دمای بحرانی کمتر شود، ناگهان مقاومت الکتریکی خود را از دست می‌دهند. جریانی از الکتریسیته در یک حلقه ابررسانا می‌تواند برای مدت نامحدودی بدون وجود مولد جریان وجود داشته باشد. مانند پدیده فرومغناطیس و خطوط طیفی اتم‌ها، ابررسانایی نیز پدیده‌ای کوانتومی است. هر چند یک تئوری جهان شمول برای ابررسانایی وجود ندارد و نمی‌توان آن را با فیزیک کلاسیک به مانند یک رسانای مطلوب توصیف کرد.

پدیده ابررسانایی برای طیف وسیعی از مواد مانند قلع و آلومینیوم وجود دارد. همچنین برخی آلیاژها و نیمه‌رساناها نیز ابررسانا هستند، ولی فلزاتی مثل طلا و نقره این پدیده را از خود نشان نمی‌دهند، همچنین پدیده ابررسانایی در فلزات فرومغناطیس هم روی نمی‌دهد. در سال ۱۹۸۶میلادی ابررسانایی دمای بالا کشف شد. دمای بحرانی این ابررساناها بیش از ۹۰ کلوین است [۳]. نظریه‌های کنونی ابررسانایی نمی‌توانند ابررسانایی دمای بالا را، که به ابررسانایی نوع

دوم معروف است، توضیح دهند. از نظر عملی ابررساناهای دمای بالا کاربردهای بسیار بیشتری دارند، زیرا در دماهایی ابررسانا می‌شوند که راحت‌تر قابل ایجاد هستند.

۱-۲ تاریخچه

ابررسانایی در سال ۱۹۱۱ میلادی توسط هایک کمرلینگ اونس[1] کشف شد. او مقاومت الکتریکی جیوه‌ی جامد را در دماهای پایین بررسی نمود و از هلیوم مایع (که تازه کشف شده بود) به عنوان سردکننده استفاده کرد. او هنگام کار در آزمایشگاه متوجه شد که مقاومت الکتریکی جیوه در دمای ۴/۲ درجه کلوین به شدت محو می‌شود، به عبارت دیگر، جریان الکتریسیته می‌تواند بدون هیچ اتلافی در فلز جیوه جریان پیدا کند. به خاطر این کشف جایزه‌ی نوبل در سال ۱۹۱۳ میلادی به او اهدا شد [۴].

پدیده‌ی ابررسانایی از همان آغاز توجه دانشمندان را به خود جلب کرد. در دهه‌های بعد از کشف مشخصه‌های ابررسانایی در موارد دیگری نیز دیده شد. گام مهم بعدی در فهم ابررسانایی درسال۱۹۳۳ میلادی توسط والتر مایسنر[2] و رابرت اوخنفلد[3] اتفاق افتاد آن‌ها دریافتند که، ابررساناها میدان مغناطیسی خارجی را طرد می‌کنند، که این پدیده به اثر مایسنر[4] معروف شد [۵].

در سال ۱۹۵۰ میلادی تئوری لاندائو-گینزبرگ[5] که ترکیبی از تئوری مرتبه‌ی دوم لاندائو با معادله شرودینگر می‌باشد، توسط لو لاندائو و گینزبرگ مطرح شد، این تئوری دارای توضیح خوبی درباره‌ی مشخصه و خواص ابررساناها است [۶]. گام مهم دیگر در ابررسانایی در سال ۱۹۵۰ میلادی بدست آمد، وقتی ماکسول و رینولدز[6] کشف کرد که دمای بحرانی ابررساناها به جرم ایزوتوپی جزء اصلی عنصر بستگی دارد. این کشف مهم به اثر متقابل الکترون و فونون و در نتیجه مکانیزم میکروسکوپی برای ابررسانایی اشاره دارد [۷و۸]. تئوری کامل میکروسکوپی در سال ۱۹۵۷ میلادی توسط باردین، کوپر و شریفر ارائه شد. تئوری BCS [7] که این عنوان برگرفته از حروف اسم آن‌هاست، جریان ابررساناها را به عنوان ماده‌ای با هدایت فوق‌العاده زیاد با زوج‌های کوپر توضیح می‌دهد. این سه نفر در سال ۱۹۷۲ میلادی موفق به دریافت جایزه‌ی نوبل شده‌اند [۹و۱۰]. برایان جوزفسون[8] در سال۱۹۶۲ میلادی پیش‌بینی کرد که: یک جریان می‌تواند از بین دو قطعه ابررسانا که توسط یک لایه عایق نازک از هم جدا شده‌اند، جاری شود. این پدیده اثر

1. Heike Kamerlingh Onnes
2. Walter Meisner
3. Robert Ochsenfeld
4. Misner Effect
5. Landau-Ginsburg theory
6. Reynolds
7. Bardeen, Cooper, Schriffer
8. Brian Josephson

جوزفسون نام گرفت. دستگاه‌هایی مثل اسکوئید[1] که دقیق‌ترین دستگاه اندازه‌گیری شار مغناطیسی کوانتومی هستند از این تئوری استخراج شده است. جوزفسون در سال۱۹۷۳ میلادی برنده‌ی جایزه‌ی نوبل گردید [۱۱].

تا سال ۱۹۸۶میلادی فیزیکدانان بر این باور بودند که تئوری BCS ابررسانایی را در دماهای بالاتر از ۳۰ کلوین نفی می‌کند. در همین سال الکس مولر[2] و جورج بدنورز[3] ابررسانایی را در ترکیب سرامیک شکننده‌ی Ba-La-O-Cu در دمای ۳۵ کلوین کشف کردند و در سال ۱۹۸۷ میلادی جایزه‌ی نوبل را به خود اختصاص دادند [۱۲].

در مدت کوتاهی کشف شد که جایگزین کردن لانتان[4] با ایتریم[5] و ساختن YBCO دمای بحرانی را تا ۹۰ کلوین بالا می‌برد که پدیده‌ی بسیار مهمی است. چون برای سرد کردن ابررسانا می‌توان از نیتروژن مایع[6] استفاده کرد. این امر از نظر تجاری بسیار مهم است، زیرا تولید نیترون مایع ارزان‌تر و در همان محل با مواد اولیه قابل تولید است [۱۳].

ابررساناهای نوع اول امروزه در ساخت آهنربای ویژه طیف‌سنج‌های تشدید مغناطیسی هسته، تشدید مغناطیسی برای مقاصد تشخیص طبی، شتاب‌دهنده‌های ذره‌ها و انواع ابزارهای رسانای الکتریکی به کار می‌روند. از دیگر کاربردهای آن‌ها می‌توان به دستگاه‌های عکس‌برداری تشدید مغناطیسی نیز اشاره کرد.

مسلماً برای اینکه ابر رساناهای نوع دوم در کاربردهای مغناطیسی در دماهای بالا رقابت کنند، هنوز زمان لازم است. اگر چه در حال حاضر ابررساناهای نوع دوم رونق کمی دارند، اما گمان می‌رود که در خلال دو دهه‌ی آینده کاربردهای آن‌ها فراگیر و پررونق شود. نمودار تکامل دمای بحرانی(T_C) بر حسب زمان مربوط به کشف مواد ابررسانای مختلف در شکل نشان داده شده است.

دانشگاه کردستان

1. Squid
2. Alex muller
3. Gorge Bednorz
4. lanthanum
5. yttrium
6. liquid Nitrogen

منابع

[1] J. R. Schrieffer, “Theory of superconductivity”. CRC Press (2018).

[2] K. Barad, “Meeting the universe halfway: Quantum physics and the entanglement of matter and meaning”, duke university Press (2007).

[3] J. G. Bednorz, & K. A. Müller, “Possible highT c superconductivity in the Ba− La− Cu− O system”, Zeitschrift für Physik B Condensed Matter, 64, 189-193 (1986).

[4] H. K. Onnes, Koninklijke Nederlandse Akademie van Weteschappen Proceedings Series B Physical Sciences, 14, 1911-1912 (1911).

[5] W. Meissner and R. Ochsenfeld, Natur. 21, 787-788 (1933).

[6] V. L. Ginzburg, & L. D. Landau, “On the theory of superconductivity. In On Superconductivity and Superfluidity (pp. 113-137) ”, Springer, Berlin, Heidelberg (2009).

[7] E. Maxwell, “Isotope effect in the superconductivity of mercury”, Physical Review, 78, 477 (1950).

[8] C. A. Reynolds, B. Serin, W. H. Wright, & L. B. Nesbitt, “Superconductivity of isotopes of mercury”, Phys. Rev. 78, 487. (1950).

[9] J. Bardeen, L. N. Cooper, & J. R. Schrieffer, “Microscopic theory of superconductivity”, Phys. Rev. 106, 162 (1957).

[10] J. Bardeen, L. N. Cooper, & J. R. Schrieffer, “Theory of superconductivity”, Phys. Rev. 108, 1175 (1957).

[11] B. D. Josephson, “Possible new effects in superconductive tunnelling”, Phys. Let. 1, 251-253 (1962).

[12] J. G. Bednorz, & K. A. Müller, “Possible highT c superconductivity in the Ba− La− Cu− O system”, Zeitschrift für Physik B Condensed Matter, 64, 189-193 (1986).

[13] M. K. Wu, J. R. Ashburn, C. Torng, P. H. Hor, R. L. Meng, L. Gao, , ... & A. Chu, “Superconductivity at 93 K in a new mixed-phase Y-Ba-Cu-O compound system at ambient pressure”, Phys. Rev. let. 58, 908 (1987).

[14] J. C. Gallop, “SQUIDs, the Josephson effects and superconducting electronics” , Routledge (2017).

[15] I. Bozovic, On Ginzburg, “Nobel, and atomic-layer engineering of room-temperature superconductors” ,

[16] A. A. Abrikosov, Alexei Alexeyevich Abrikosov. Age (1928).

[17] F. London, & H. London, “The electromagnetic equations of the supraconductor. Proceedings of the Royal Society of London”, Series A-Mathematical and Physical Sciences, 149, 71-88 (1935).

[18] C. Kittel, “Introduction to solid state physics (Vol. 8)”, New York: Wiley (1976).

[19] C. Byrne, “A Brief History of Electromagnetism”, Lowell: University of Massachusetts (2015).

[20] E. Lenz, “Ueber die Bestimmung der Richtung der durch elektrodynamische Vertheilung erregten galvanischen Ströme”, Annalen der Physik, 107, 483-494 (1834).

[21] L. N. Cooper, “Bound electron pairs in a degenerate Fermi gas”, Phys. Rev. 104, 1189 (1956).

[22] N. Gisin, G. Ribordy, W. Tittel, & H. Zbinden, “Quantum cryptography”, Rev. mod. Phys. 74, 145 (2002).

[23] P. W. Shor, “Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer”, SIAM review, 41, 303-332 (1999).

[24] Y. Makhlin, G. Schön, & A. Shnirman, “Quantum-state engineering with Josephson-junction devices”, Rev. mod. Phys. 73, 357 (2001).

[25] V. Bouchiat, D. Vion, P. Joyez, D. Esteve, & M. H. Devoret, “Quantum coherence with a single Cooper pair”, Physica Scripta, 1998(T76), 165 (1998).

[26] J. R. Friedman, V. Patel, W. Chen, S. K. Tolpygo, & J. E. Lukens, “Quantum superposition of distinct macroscopic states”, Nature. 406, 43 (2000).

[27] J. M. Martinis, S. Nam, J. Aumentado, & C. Urbina, “Rabi oscillations in a large Josephson-junction qubit”, Phys. Rev. let. 89, 117901 (2002).

[28] J. M. Martinis, K. B. Cooper, R. McDermott, M. Steffen, M. Ansmann, K. D. Osborn, ... & C. Y. Clare, "Decoherence in Josephson qubits from dielectric loss", Phys. Rev. let. 95, 210503 (2005).

[29] F. London, & H. London, "The electromagnetic equations of the supraconductor. Proceedings of the Royal Society of London", Series A-Mathematical and Physical Sciences, 149, 71-88. (1935).

[30] M. H. Devoret, & J. M. Martinis, "Implementing qubits with superconducting integrated circuits", In Experimental aspects of quantum computing (pp. 163-203). Springer, Boston, MA (2005).

[31] D. Vion, "Josephson quantum bits based on a cooper pair box", Quantum entanglement and information processing, session LXXIX (Proceedings of the Les Houches Summer School) (2003).

[32] M. H. Devoret, & R. J. Schoelkopf, "Superconducting circuits for quantum information: an outlook", Science. 339, 1169-1174 (2013).

[33] Y. Nakamura, Y. A. Pashkin, , & J. S. Tsai, "Coherent control of macroscopic quantum states in a single-Cooper-pair box", Nature. 398, 786 (1999).

[34] C. H. Van Der Wal, A. C. J. Ter Haar, F. K. Wilhelm, R. N. Schouten, C. J. P. M. Harmans, T. P. Orlando, ... & J. E. Mooij, "Quantum superposition of macroscopic persistent-current states", Science. 290, 773-777 (2000).

[35] A. Cottet, "Implementation of a quantum bit in a superconducting circuit (Doctoral dissertation", PhD Thesis, Université Paris 6) (2002).

[36] G. Ithier, E. Collin, P. Joyez, P. J. Meeson, D. Vion, D. Esteve, ... & G. Schön, "Decoherence in a superconducting quantum bit circuit", Phys. Rev. B. 72, 134519 (2005).

[37] M. Steffen, M. Ansmann, R. C. Bialczak, N. Katz, E. Lucero, R. McDermott, ... & J. M. Martinis, "Measurement of the entanglement of two superconducting qubits via state tomography", Science. 313, 1423-1425(2006).

[38] J. Koch, M. Y. Terri, J. Gambetta, A. A. Houck, D. I. Schuster, J. Majer, ... & R. J. Schoelkopf, "Charge-insensitive qubit design derived from the Cooper pair box", Phys. Rev. A. 76, 042319 (2007).

[39] A. Blais, R. S. Huang, A. Wallraff, S. M. Girvin, & R. J. Schoelkopf, "Cavity quantum electrodynamics for superconducting electrical circuits: An architecture for quantum computation", Phys. Rev. A. 69, 062320 (2004).

[40] J. A. Schreier, A. A. Houck, J. Koch, D. I. Schuster, B. R. Johnson, J. M. Chow, ... & S. M. Girvin, "Suppressing charge noise decoherence in superconducting charge qubits", Phys. Rev. B. 77, 180502 (2008).

[41] A. A. Houck, J. A. Schreier, B. R. Johnson, J. M. Chow, J. Koch, J. M. Gambetta, ... & R. J. Schoelkopf, "Controlling the spontaneous emission of a superconducting transmon qubit", Phys. Rev. lett. 101, 080502 (2008).

[42] S. Goldstein, "XVII.—On the Asymptotic Expansion of the Characteristic Numbers of the Mathieu Equation", Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, 49, 210-223 (1930).

[43] M. Abramowitz, & I. A. Stegun, "Handbook of mathematical functions: with formulas, graphs, and mathematical tables (Vol. 55) ", Courier Corporation (1965).

[44] J. N. L. Connor, T. Uzer, R. A. Marcus, & A. D. Smith, "Eigenvalues of the Schrödinger equation for a periodic potential with nonperiodic boundary conditions: A uniform semiclassical analysis", The Journal of chemical physics, 80, 5095-5106 (1984).

[45] T. Duty, D. Gunnarsson, K. Bladh, & P. Delsing, "Coherent dynamics of a Josephson charge qubit", Phys. Rev. B. 69, 140503 (2004).

[46] T. Duty, G. Johansson, K. Bladh, D. Gunnarsson, C. Wilson, & P. Delsing, "Observation of quantum capacitance in the Cooper-pair transistor", Phys. Rev. lett. 95, 206807 (2005).

[47] A. Blais, J. Gambetta, A. Wallraff, D. I. Schuster, S. M. Girvin, M. H. Devoret, & R. J. Schoelkopf, "Quantum-information processing with circuit quantum electrodynamics", Phys. Rev. A. 75, 032329 (2007).

[48] W. Janke, & H. Kleinert, "Convergent strong-coupling expansions from divergent weak-coupling perturbation theory", Phys. Rev. lett. 75, 2787 (1995).

[49] A. Wallraff, , D. I. Schuster, A. Blais, L. Frunzio, R. S. Huang, J. Majer, ... & R. J. Schoelkopf, Strong coupling of a single photon to a superconducting qubit using circuit quantum electrodynamics", Nature, 431, 162 (2004).

[50] M. Steffen, J. M. Martinis, & I. L. Chuang, "Accurate control of Josephson phase qubits", Phys. Rev. B. 68, 224518 (2003).

[51] C. Gerry, P. Knight, & P. L. Knight, "Introductory quantum optics", Cambridge university press (2005).

[52] M. Tinkham, "Introduction to superconductivity", Courier Corporation (2004).

[53] J. Koch, M. Y. Terri, J. Gambetta, A. A. Houck, D. I. Schuster, J. Majer, ... & R. J. Schoelkopf, "Charge-insensitive qubit design derived from the Cooper pair box", Phys. Rev. A. 76, 042319 (2007).

[54] M. D. Reed, B. R. Johnson, A. A. Houck, L. DiCarlo, J. M. Chow, D. I. Schuster, ... & R. J. Schoelkopf, "Fast reset and suppressing spontaneous emission of a superconducting qubit", App. Phys. Lett. 96(20, 203110 (2010).

[55] J. D. Jackson, "Classical electrodynamics" (1999).

[56] Z. Jacob, I. I. Smolyaninov, & E. E. Narimanov, "Broadband Purcell effect: Radiative decay engineering with metamaterials", App. Phy. Lett. 100, 181105 (2012).

[57] P. Goy, J. M. Raimond, M. Gross, & S. Haroche, "Observation of cavity-enhanced single-atom spontaneous emission", Phys. Rev. lett. 50, 1903 (1983).

[58] J. M. Martinis, K. B. Cooper, R. McDermott, M. Steffen, M. Ansmann, K. D. Osborn, ... & C. Y. Clare, "Decoherence in Josephson qubits from dielectric loss", Phys. Rev. lett. 95, 210503 (2005).

[59] R. M. Lutchyn, L. I. Glazman, & A. I. Larkin, "Kinetics of the superconducting charge qubit in the presence of a quasiparticle", Phys. Rev. B. 74, 064515 (2006).

[60] D. H. Hurley, & K. L. Telschow, "Picosecond surface acoustic waves using a suboptical wavelength absorption grating", Phys. Rev. B. 66, 153301 (2002).

[61] F. Yoshihara, K. Harrabi, A. O. Niskanen, Y. Nakamura, & J. S. Tsai, "Decoherence of flux qubits due to 1/f flux noise", Phys. Rev. lett. 97, 16 (2006).

[62] G. Ithier, E. Collin, P. Joyez, P. J. Meeson, D. Vion, D. Esteve, , ... & G. Schön, "Decoherence in a superconducting quantum bit circuit", Phys. Rev. B. 72, 134519 (2005).

[63] Y. Nakamura, Y. A. Pashkin, & J. S. Tsai, "Coherent control of macroscopic quantum states in a single-Cooper-pair box", Nature. 398, 786 (1999).

[64] R. J. Mural, M. D. Adams, E. W. Myers, H. O. Smith, G. L. G. Miklos, R. Wides, ... & S. L. Salzberg, "A comparison of whole-genome shotgun-derived mouse chromosome 16 and the human genome", Science. 296, 1661-1671 (2002).

[65] A. B. Zorin, F. J. Ahlers, J. Niemeyer, T. Weimann, H. Wolf, V. A. Krupenin, & S. V. Lotkhov, "Background charge noise in metallic single-electron tunneling devices", Phys. Rev. B. 53,13682 (1996).

[66] D. Vion, A. Aassime, A. Cottet, P. Joyez, H. Pothier, C. Urbina, ... & M. H. Devoret, "Manipulating the quantum state of an electrical circuit", Science. 296,886-889 (2002).

[67] F. C. Wellstood, C. Urbina, & J. Clarke, "Low-frequency noise in dc superconducting quantum interference devices below 1 K", App. Phys. Lett. 50, 772-774 (1987).

[68] D. J. Van Harlingen, T. L. Robertson, B. L. T. Plourde, P. A. Reichardt, T. A. Crane, & J. Clarke, "Decoherence in Josephson-junction qubits due to critical-current fluctuations", Phys. Rev. B. 70, 064517 (2004).

[69] D. P. DiVincenzo, "The physical implementation of quantum computation", Fortschritte der Physik: Progress of Physics. 48, 771-783 (2000).

دانشگاه کردستان

Abstract:

This study aims to investigate the structure of superconductor Qubits using Josephson junction and “Transmon” superconductor Qubit will be introduced which can be built with a simple design of superconductor circuit. Superconductor has special individual features which has attracted various research interest in different fields. One of the results of superconductors is Josephson junction. Furthermore Transmon has various advantages such as: having a much higher coherent states time than any of the other Qubits introduced, noise load reduction, among other things that have been mentioned in the study. We provide a comprehensive explanation of the Josephson junction superconductivity and the structure of the superconducting qubits, then examine the Transmon superconducting qubits from various aspects and discuss the advantages of this qubit compared to the other qubits.

Keywords: Josephson junction, Qubit, superconductor, superconductor circuit, coherent state.

University of Kurdistan
Faculty of Sciences
Department of Physics

A Thesis A Thesis
Submitted to the Postgraduate Studies Office in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of **M.Sc.** in **Solid State Physics**

Title:

Investigation of fabrication of quantum qubits by using the Josephson junctions

By
Meysam Azizi kandoleh

Supervisor:

Dr. Shahriar Salimi

September 18,2019

University of Kurdistan
Faculty of Sciences
Department of Physics

A Thesis A Thesis Submitted to the Postgraduate Studies Office in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of M.Sc. in Solid State Physics

Title:
Investigation of fabrication of quantum qubits by using the Josephson junctions

By
Meysam Azizi kandoleh

Supervisor
Dr. Shahriar Salimi

September 2019