ETH zürich

ETH Library

Geometric phases and noise in circuit QED

Doctoral Thesis

Author(s):
Berger, Simon Jacques

Publication date:
2015

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-010460932

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

DISS. ETH NO. 22524

GEOMETRIC PHASES AND NOISE IN CIRCUIT QED

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH

(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

Simon Jacques Berger

MSc ETH Physics, ETH Zurich

born on 05.10.1985

citizen of Fahrni BE

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Andreas Wallraff

Prof. Dr. Jukka Pekola

2015

ABSTRACT

This work presents experiments carried out in a framework called circuit quantum electrodynamics, which could serve to implement a viable quantum computer or quantum simulator. The quantum bits (qubits for short) which make up such a system are realized as superconducting circuits called transmons. The transmon is connected to a coplanar transmission line resonator (or a three-dimensional cavity) for manipulation and readout.

Controlling a qubit is tantamount to manipulating its wave function, in particular the phase. In addition to the familiar dynamic phase, which is the time-integral of the energy of the qubit, there is also the so-called geometric phase, which depends neither on the energy of the qubit nor on total evolution time, but only on the sequence of quantum states the qubit traverses.

This thesis experimentally explores various novel aspects of the adiabatic and cyclic geometric phase, termed Berry phase, where the control parameters of the Hamiltonian governing qubit evolution are changed cyclically and slowly in time. Using a coherent microwave drive (which serves as control field), the qubit is brought to acquire a determined amount of phase. It is found that due to the weakly anharmonic energy level structure of the transmon, the energy levels outside the computational subspace sizeably contribute to the geometric phase acquired by the qubit. These findings apply to any weakly anharmonic quantum system.

Then, the influence of noise in the control field of the qubit is examined. We find that the geometric phase is resilient to noise as long as it preserves the adiabaticity of the qubit evolution. A direct comparison with the dynamic phase shows that the dynamic phase is more affected by decoherence than the adiabatic geometric phase when exposed to the same kind of noise.

Finally, by applying different types of correlated noise, we explicitly show that the geometric dephasing of a qubit depends on the direction in which the control field traces out a path, making the geometric nature of geometric dephasing manifest. This somewhat tautological finding has profound implications for the state of the qubit: the geometric operation can either induce decoherence or restore coherence.

CONDENSÉ

Cette thèse présente des expériences réalisées dans un système appelé électrodynamique quantique en circuit. Ce système est fondé sur des circuits supraconducteurs et pourrait servir à réaliser un ordinateur quantique ou un simulateur quantique. Les deux niveaux énergétiques les plus bas d'un atome artificiel nommé transmon servent de bit quantique (en abrégé : qubit). Pour le manipuler et pour le mesurer, le qubit est relié à un résonateur à ligne de transmission planaire ou à une cavité à trois dimensions.

Contrôler un qubit revient à manipuler sa fonction d'ondes, notamment la phase. Or, une fonction d'onde peut acquérir deux genres de phase, la phase dynamique et la phase géométrique. Tandis que la phase dynamique est simplement l'intégrale sur le temps de l'énergie du système, la phase géométrique est indépendante de l'énergie et du temps total. Elle dépend seulement de la séquence des états que parcourt le qubit.

La présente thèse explore plusieurs aspects nouveaux de la phase géométrique cyclique et adiabatique, appelée phase de Berry. Dans ce cas-ci, les paramètres de contrôle de l'hamiltonien qui décrit l'évolution du qubit sont changés lentement au fil du temps. Ici, un signal micro-onde sert de champ de contrôle et est utilisé pour manipuler le qubit de sorte qu'il acquière une phase déterminée. On trouve que la structure des niveaux d'énergie peu anharmonique du transmon fait que la phase géométrique accumulée par le qubit comporte une partie de taille qui relève des niveaux d'énergie supérieurs inusités. Ce modèle s'applique a tout système peu anharmonique.

Ensuite, l'influence de bruit dans les paramètres du champ de contrôle du qubit est étudiée. On trouve que la phase géométrique du qubit est résistante au bruit tant que l'évolution du qubit demeure adiabatique. Une comparaison directe avec la phase dynamique montre que celle-ci est davantage touchée par la décohérence que la phase géométrique adiabatique exposée au même bruit.

Finalement, une série de bruits corrélés différemment sert à démontrer que le déphasage géométrique du qubit dépend de la direction dans laquelle le champ de contrôle traverse un trajet. Cette expérience corrobore la nature géometrique de ce gerne de déphasage et a de profondes conséquences pour l'état du qubit : une opération géometrique peut soit induire de la décoherence, soit restaurer de la cohérence.