**Последовательные измерения в квантовой термодинамике на примере зондовой термометрии двух кубитов.**

***Герасимов Н.М.***

*студент*

*МГУ им. М.В.Ломоносова,физический факультет, Москва, Россия*

*E–mail:* *gerasimov.nm20@physics.msu.ru*

Актуальным и популярным направлением исследований последних лет является изучение вопроса термометрии в квантовых системах. Большая чувствительность системы к внешнему вмешательству, в частности к измерению ее параметров, создает ряд проблем для современных исследований.

Данная работа посвящена изучению вопроса инвазивности процесса термометрии в квантовых системах. Описание температуры и возможность ее измерения в квантовом режиме открывает доступ к инструментам статистической физики в задачах квантовой механики. Изучением подобных вопросов занимается квантовая термодинамика. Данная область физики сформировалась достаточно недавно и опирается на теорию открытых квантовых систем. Квантовая термодинамика играет большую роль для развития квантовой теории информации [4].

 Целью настоящего исследования является определение оптимального способа измерения температуры. Большинство современных работ посвящены решению конкретной задачи, т.е. описанию определенной конфигурации системы и резервуара. В такой парадигме возникает потребность в поиске более общего подхода. Также, ориентированность данной теории на эксперимент делает особо важным вопрос оптимизации процесса измерения наблюдаемых.

 В основе термометрии лежит идея наблюдения за состоянием окружения через изменения в связанной с ней системой. Такой подход принято называть зондовой термометрией [2]. Исследуемый образец приводится в контакт с термометром, роль которого может выполнять кубит в заготовленном состоянии. Таким образом, образец становится окружением для открытой системы в виде кубита. Подобный подход приводит нас в теорию открытых квантовых систем [1]. Общий гамильтониан образца и термометра имеет следующий вид:

$\hat{H}\_{} = \hat{H\_{S}} + \hat{H}\_{E} + \hat{H}\_{I}$,

где $\hat{H}\_{S}$ – гамильтониан системы (зонда), $\hat{H}\_{E}$ – гамильтониан окружения (образца) и $\hat{H}\_{I}$ – гамильтониан взаимодействия системы и резервуара.

 Исследование изменения состояния зондового термометра позволяется получить информацию о параметрах образца, в том числе о температуре.
 Тем не менее вмешательство в исследуемый объект ведет к изменению его состояния, в частности, в процессе термометрии возникает поток тепла между зондом и образцом. Подобное воздействие может существенным образом повлиять на свойства исследуемого объекта. В связи с этим, вопрос инвазивности измерений в квантовой термодинамике привлек большое внимание исследователей и является одной из наиболее важных проблем в современной науке.

 Для повышения точности результатов исследования необходимо произвести достаточное количество измерений. В квантовых задачах в силу вышеописанных особенностей приходится заново изготавливать исследуемую систему для новых измерений, что значительно усложняет процесс исследования. Для решения этой проблемы можно оптимизировать процесс с помощью использования последовательных измерений на одном образце [3].

Рассмотрим два взаимодействующих кубита, с обратными температурами $β\_{c} и β\_{h}$, такие, что $β\_{c} < β\_{h}$. Будем исследовать один кубит с помощью другого. Оценить инвазивность одного измерения можно следующим образом [5]:

$Q = Tr[(ρ-ρ') H\_{c}] $

где $ρ - исходное состояние системы двух кубитов, ρ' = UρU^{✝}$ – состояние после унитарной эволюции, $H\_{c}$ – гамильтониан кубита с обратной температурой $β\_{c}$.

Учитывая изменения состояния объекта исследования, можно проводить повторные измерения на том же образце. Текущее исследование посвящено именно этому процессу. При повторном изменении исследуемый образец приводится в контакт с заново подготовленным зондом. Данный процесс повторяется до тех пор, пока суммарная теплота Q, переданная образцу в ходе измерений, не оказывает существенного влияния на него.
 Логичным продолжением развития данной области является рассмотрение теории для более сложных систем и поиск общего подхода к описанию термометрии и инвазивности.

**Литература**

1. Бройер Х. П., Петруччионе Ф. Теория открытых квантовых систем. — М.- Ижевск : НИЦ ”Регулярная и хаотическая динамика”, 2010. — 824 с.
2. Albarelli, F., Paris, M. G. A., Vacchini, B., & Smirne, A. Invasiveness of nonequilibrium pure-dephasing quantum thermometry. *Physical Review. A/Physical Review, A*, *108*(6), 2023.
3. De Pasquale, A., Yuasa, K., & Giovannetti, V. . Estimating temperature via sequential measurements. *Physical Review. A/Physical Review, A*, *96*(1)б, 2017.
4. Deffner, S. & Campbell, S., Quantum Thermodynamics. An introduction to the thermodynamics of quantum information. Morgan & Claypool Publishers.(2019)
5. Gherardini, S., & De Chiara, G. Quasiprobabilities in quantum thermodynamics and Many-Body systems. *PRX Quantum*, *5*(3), 2024.