Декогеренция в ОТО
2012.12903

Драчов Ярослав
Факультет общей и прикладной физики МФТИ

17 мая 2021 г.

Декогеренция описывает тенденцию квантовых подсистем динамически терять свой квантовый характер. Это происходит, когда интересующая квантовая подсистема взаимодействует и запутывается с отслеживаемой средой.

Пусть чистые состояния $|\psi_\alpha\rangle$ приготовлены с вероятностью p_α. Среднее наблюдаемой величины Q:

$$\overline{Q} = \sum_\alpha p_\alpha \langle\psi_\alpha| Q |\psi_\alpha\rangle .$$

Определение. *Матрицей плотности* называется оператор

$$\rho = \sum_\alpha p_\alpha |\psi_\alpha\rangle \langle\psi_j| .$$

Основное свойство:

$$\overline{Q} = \mathrm{Tr}\,(\rho Q) .$$

Обозначим различные наблюдаемые состояния тёмной материи $|\mathrm{TM}_1\rangle$ и $|\mathrm{TM}_2\rangle$. Пусть начальное состояние

$$|\mathrm{TM}\rangle = |\mathrm{TM}_1\rangle + |\mathrm{TM}_2\rangle .$$

Состояние окружения (пробной частицы) до взаимодействия $|\psi\rangle$. Тогда для системы из ТМ и частицы начальное ($|\Psi_{\text{нач}}|$) и конечное ($|\Psi_{\text{кон}}|$) состояния:

$$|\Psi_{\text{нач}}\rangle = (|\mathrm{TM}_1\rangle + |\mathrm{TM}_2\rangle) |\psi\rangle , \quad |\Psi_{\text{кон}}\rangle = |\mathrm{TM}_1\rangle |\psi_1\rangle + |\mathrm{TM}_2\rangle |\psi_2\rangle ,$$

где $|\psi_1\rangle$ — состояние окружения после взаимодействия с $|\mathrm{TM}_1\rangle$, $|\psi_2\rangle$ — с $|\mathrm{TM}_2\rangle$.

Для рассматриваемого случая

$$\rho \equiv |\Psi\rangle \langle\Psi| .$$

После взаимодействия ТМ с окружением их общая матрица плотности

$$\rho = (|\mathrm{TM}_1\rangle |\psi_1\rangle + |\mathrm{TM}_2\rangle |\psi_2\rangle) (\langle\mathrm{TM}_1| \langle\psi_1| + \langle\mathrm{TM}_2| \langle\psi_2|) .$$

Если свернуть степени свободы связанные с окружением, получим(**?**)

$$\rho_{\text{red}} = \mathrm{Tr}_{|\psi\rangle}(\rho) = |\mathrm{TM}_1\rangle \langle\mathrm{TM}_1| + \langle\psi_2 |\psi_1\rangle |\mathrm{TM}_1\rangle \langle\mathrm{TM}_2| + \\ + \langle\psi_1|\psi_2\rangle |\mathrm{TM}_2\rangle \langle\mathrm{TM}_1| + |\mathrm{TM}_2\rangle \langle\mathrm{TM}_2| .$$

Наличие элементов смешивающих $|\mathrm{TM}_1\rangle$ и $|\mathrm{TM}_2\rangle$ обеспечивает «квантовость» системы, если же они исчезнут, то мы будем наблюдать классическое распределение вероятностей состояний системы.

Итак, далее мерилом оставшейся «квантовости» системы будут недиагональные компоненты, которые обозначим

$$\mathcal{Q} \equiv \langle \psi_1 | \psi_2 \rangle \,.$$

Начальное состояние свободной пробной частицы $|u\rangle$. Двигаясь около области избыточной плотности оно подвергается возмущению

$$|\psi\rangle = |u\rangle + |s\rangle \,,$$

где $|s\rangle$ — возмущение, вызванное рассеянием. Далее, раскладывая $|s\rangle$ по степеням возмущения до второго порядка, получаем

$$|\, \langle \psi_1 | \psi_2 \rangle \,| \approx 1 - \Delta,$$

где $\Delta \ll 1$ — функция лишь от поправок первого порядка $s_1^{(1)}$, $s_2^{(1)}$.

После N независимых взаимодействий получаем

$$\mathcal{Q} = \prod_{n=1}^{N} |\langle \psi_1 | \psi_2 \rangle|_n \,.$$

По порядку величины

$$\mathcal{Q} = \prod_{n=1}^{N} (1 - \Delta_b) \sim \exp\left(- \sum_{n=1}^{N} \Delta_b \right).$$

Быстрота декогеренции

$$\Gamma_{\text{дек}} = -\frac{d}{dt} \ln \mathcal{Q} \approx \frac{d}{dt} \sum_{n=1}^{N} \Delta_b.$$

Переходя к непрерывному пределу

$$\Gamma_{\text{дек}} = nv \int d^b \Delta_b,$$

где n и v — концентрация и скорость частиц соответственно. Характерное время декогеренции

$$\int_0^{t_{\text{дек}}} dt' \Gamma_{\text{дек}}(t') = 1.$$