

Южно-Уральский государственный университет

Национальный исследовательский университет





Квантовые протоколы на базе НП состояний определенной чётности

Д.А. Куц, М.С. Подошведов, С.А. Подошведов, С.П. Кулик

Южно-Уральский государственный университет лаборатория квантовой обработки информации и квантовых вычислений, лаборатория «Квантовая инженерия света»

Содержание

- 1) Создание квантовых НП состояний (Quantum Engineering)
- 2) Квантовая метрология с использованием НП состояний

3) Квантовые вычисления на НП состояниях

Состояния дискретной и непрерывной переменной

Состояние дискретной переменной

DV state

discrete-variable (пример: |H>, |V>)

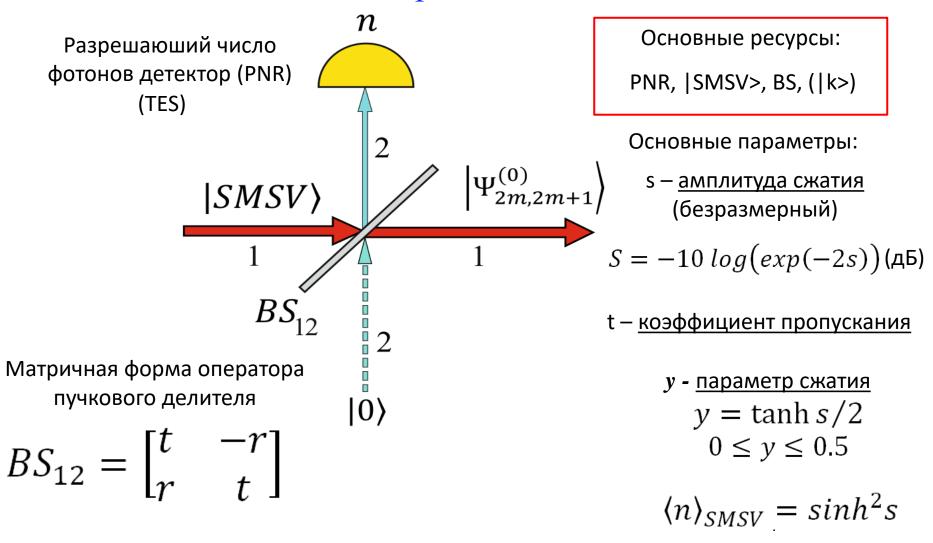
Гильбертово пространство конечной размерности

Состояние непрерывной переменной

CV state

continuous-variable states (пример: |α> - когерентное состояние)

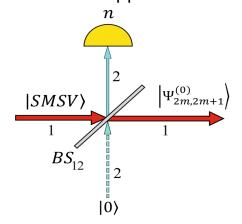
Гильбертово пространство бесконечной размерности



Состояние одномодового сжатого вакуума

$$|SMSV\rangle = \frac{1}{\sqrt{\cosh s}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{y^n}{\sqrt{(2n)!}} \frac{(2n)!}{n!} |2n\rangle$$

Измерительно-индуцированная генерация состояний определенной четности реализуется посредством детектирования определенного числа фотонов $|n\rangle$ во второй измерительной моде BS.



Новое семейство НП состояний

$$|\Psi_{2m}^{(0)}(y_1)\rangle = \frac{1}{\sqrt{Z^{(2m)}(y_1)}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{y_1^n}{\sqrt{(2n)!}} \frac{(2(n+m))!}{(n+m)!} |2n\rangle,$$

$$|\Psi_{2m+1}^{(0)}(y_1)\rangle = \sqrt{\frac{y_1}{Z^{(2m+1)}(y_1)}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{y_1^n}{\sqrt{(2n+1)!}} \frac{(2(n+m+1))!}{(n+m+1)!} |2n+1\rangle$$

$$Z(y_1) = 1/\sqrt{1-4y_1^2}$$

 $Z^{(n)}(y_1) = dZ^n/dy_1^n$

Основные параметры:

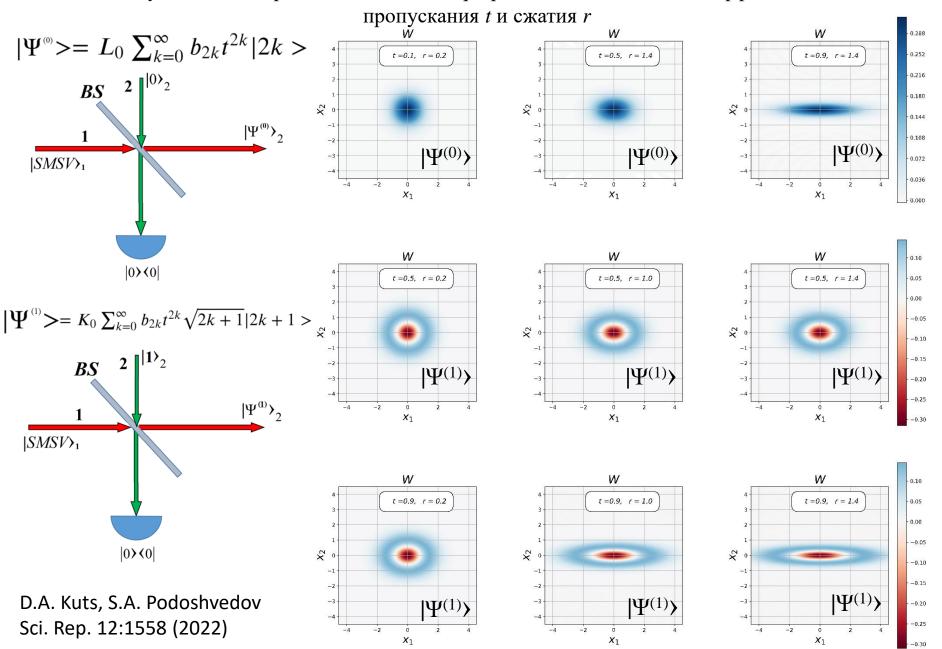
s – <u>амплитуда сжатия</u> (безразмерный)

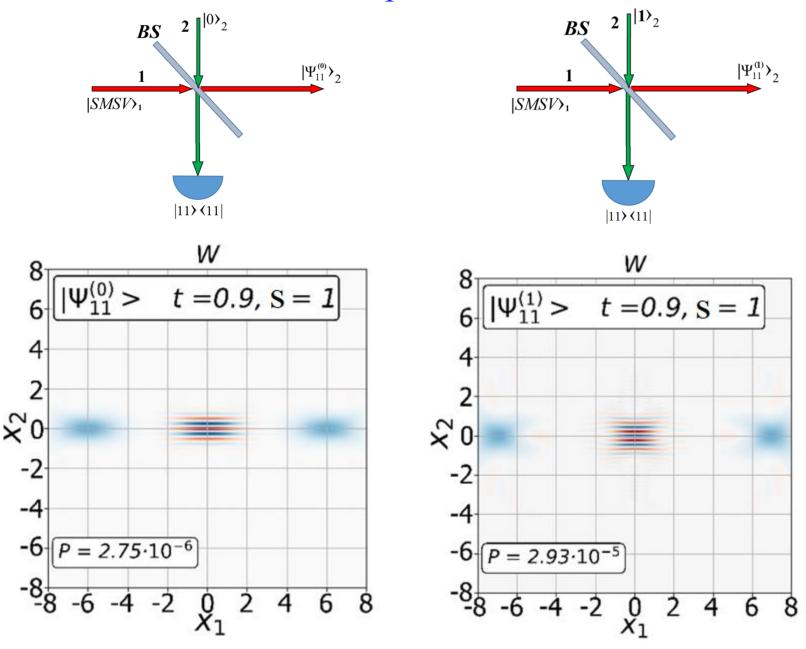
$$S = -10 \log(\exp(-2s))$$
(дБ)

t – коэффициент пропускания

$$y$$
 - параметр сжатия $y = \tanh s/2$ $0 \le y \le 0.5$ $y_1 = t^2 y$

Функция Вигнера состояний света при различных значениях коэффициента

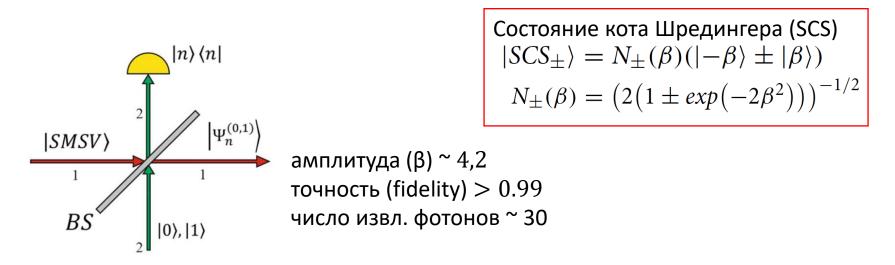




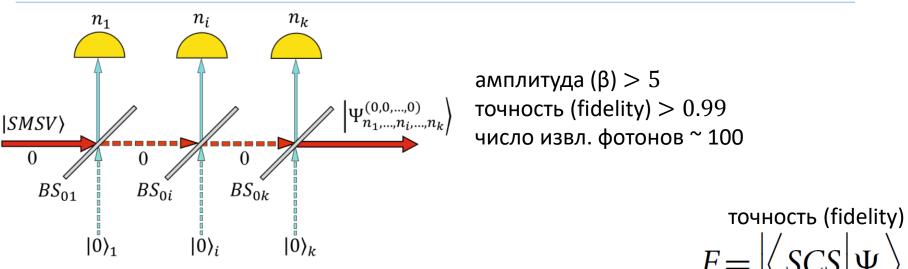
D.A. Kuts, S.A. Podoshvedov Sci. Rep. 12:1558 (2022)

1. Квантовая инженерия оптических состояний (аппроксимирование состояний котов Шредингера)

Измерительно-индуцированная генерация состояний определенной четности.

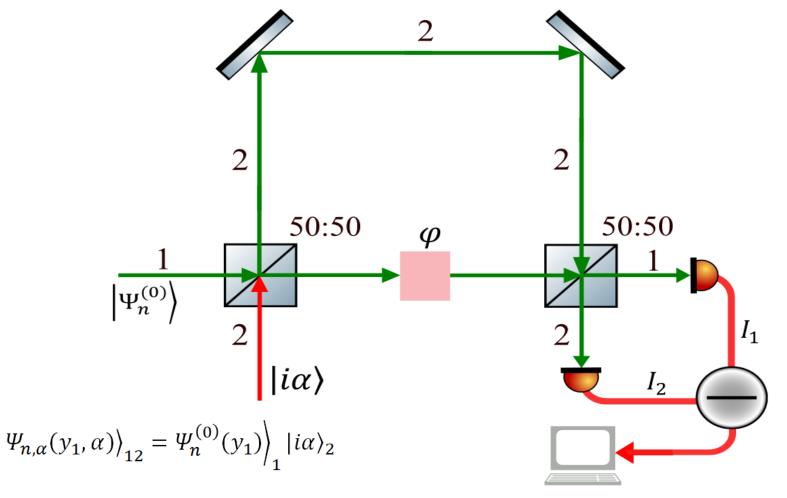


D.A. Kuts, S.A. Podoshvedov Sci. Rep. 12:1558 (2022)



M.S. Podoshvedov, S.A. Podoshvedov, S.P. Kulik Sci. Rep. 13:3965 (2023)

2. Квантовая метрология с исп. НП состояний (оценка набега фазы в интерферометре Маха-Цендера)



Максимальная чувствительность при оценке фазы

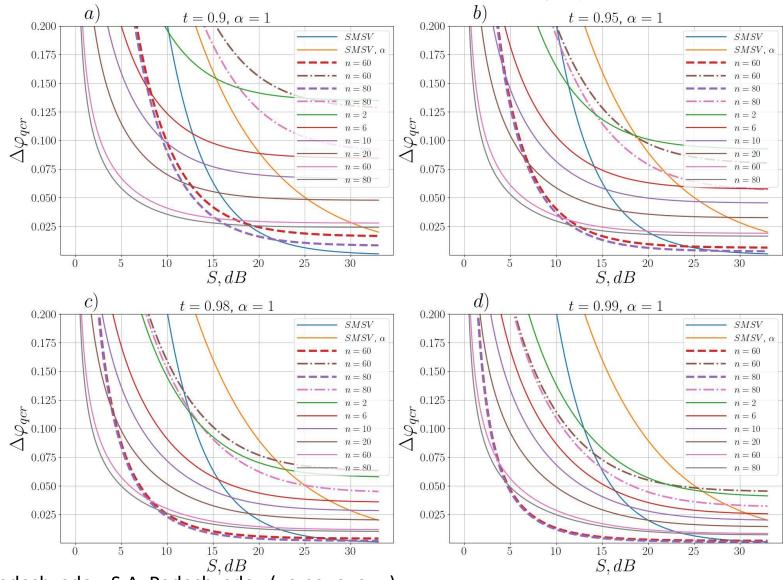
$$\Delta \varphi_{n,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{F_{n,\alpha}(s,\alpha)}}$$

$$F_{n,\alpha}(s,\alpha) = 2(1+2y_1)\langle n \rangle |\alpha|^2 + (1+4y_1(n+1))|\alpha|^2 + \langle n \rangle$$

2. Квантовая метрология с исп. НП состояний (оценка набега фазы в интерферометре Маха-Цендера)

Максимальная чувствительность при оценке фазы

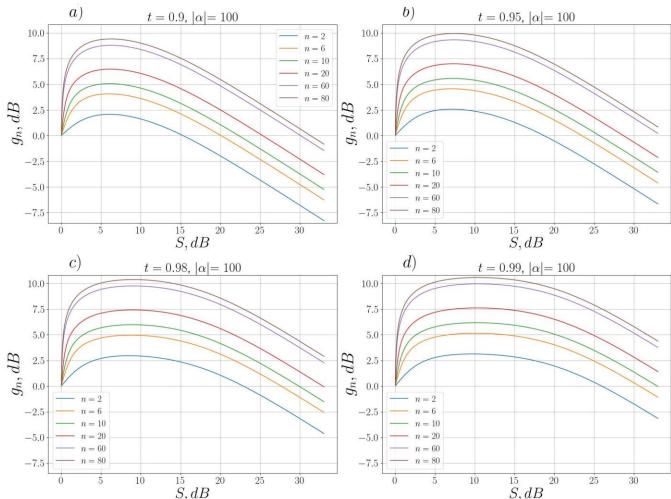
$$\Delta \varphi_{n,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{F_{n,\alpha}(s,\alpha)}}$$



M.S. Podoshvedov, S.A. Podoshvedov (на рецензии)

2. Квантовая метрология с исп. НП состояний (оценка набега фазы в интерферометре Маха-Цендера)

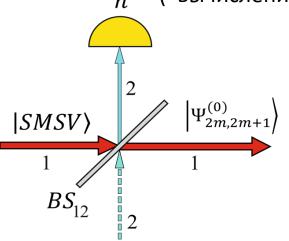
$$g_n = -10 \log(\Delta \varphi_{n,\alpha}/\Delta \varphi_{SMSV,\alpha}) (dB)$$



Есть режимы работы системы (при сжатии порядка 6 dB), когда схема с входным состоянием $\Psi_n^{(0)}(y_1)\Big|_1|i\alpha\rangle_2$ даёт чувствительность более на 10 dB по сравнению с $SMSV\rangle_1|i\alpha\rangle_2$

3. Квантовые вычисления с исп. НП состояний

вычисление аналитических функций: производные arcsin(x))



 $|0\rangle$

Вероятность распределения фотонов в измерительной моде можно использовать для расчета аналитических функций

Случай идеального PNR ($\eta = 1$)

$$P_n^{(0)}(y_1,B) = \frac{(y_1B)^n}{\cosh s \ n!} Z^{(n)}(y_1) = f_n^{(0)}(y_1,B) Z^{(n)}(y_1)$$
 (распределение Подошведова С.А.)

Вычисление производных:

$$Z^{(n)}(y_1) = \frac{P_n^{(0)}(y_1,B)}{f_n^{(0)}(y_1,B)}$$

$$Z(y_1) = 1/\sqrt{1 - 4y_1^2}$$

$$Z^{(n)}(y_1) = dZ^n/dy_1^n$$

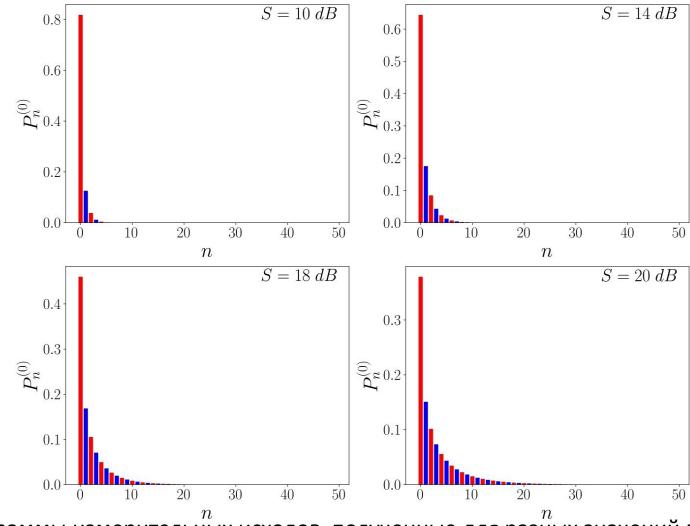
$$y_1 = t^2y_1$$

$$B = (1 - t^2)/t^2$$

3. Квантовые вычисления с исп. НП состояний

1

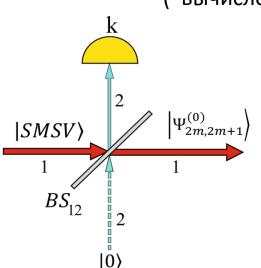
Случай идеального PNR



Гистограммы измерительных исходов, полученные для разных значений входного сжатия S для случая B=0.14989 (t=0.9325)

Для |SMSV> с степенью сжатия S в диапазоне от 10 Дб до 15 Дб можно ожидать вычисление производных функции $Z(y_1)$ для m в диапазоне от m=0 до m=10.

3. Квантовые вычисления с исп. НП состояний (вычисление аналитических функций: производные arcsin(x))



Вероятность распределения фотонов в измерительной моде можно использовать для расчета аналитических функций

Случай неидеального PNR ($\eta < 1$)

В первом приближении по малому параметру $(1 - \eta)$:

$$P_k^{(0)}(\eta) = \eta^k f_k^{(0)}(y_1, B) \left(Z^{(k)}(y_1) + (1 - \eta) y_1 Z^{(k+1)}(y_1) \right)$$

Вычисление линейных комбинаций производных:

$$Z^{(k)}(y_1) + (1 - \eta)y_1 Z^{(k+1)}(y_1) = \frac{P_k^{(0)}(\eta)}{\eta^k f_k^{(0)}(y_1, B)}$$

Возможность вычислять значения аналитических функций даже в случае неидеального детектора

$$Z(y_1) = 1/\sqrt{1 - 4y_1^2}$$

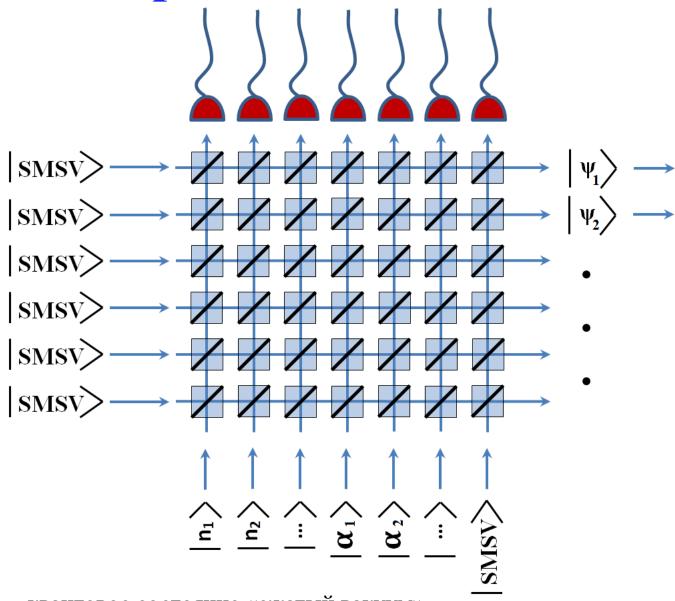
$$Z^{(n)}(y_1) = dZ^n/dy_1^n$$

$$y_1 = t^2y$$

$$B = (1 - t^2)/t^2$$

M.S. Podoshvedov, S.A. Podoshvedov arXiv:2303.12885

Расширение возможностей



Спасибо за внимание

