

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P4-85-772

Н.Н.Боголюбов (мл.), Чан Куанг*, А.С.Шумовский

УСИЛЕНИЕ СЖАТИЯ СВЕТА
В ОПТИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЕ

* Московский государственный университет

1985

В последнее время большое внимание уделяется проблеме создания сжатых или двухфотонных когерентных состояний ^{/1-3/}. Такие состояния имеют меньшие шумы, чем когерентные состояния в одном фазовом компоненте и обладают некоторыми особыми квантовыми характеристиками. Такой свет имеет перспективные применения в оптической информационной системе ^{/4/} и детекторе гравитационной волны ^{/5/}.

Ряд оптических нелинейных систем, пригодных для создания сжатых состояний, был analyzed теоретически. Среди таких систем рассматривались вырожденные параметрические осцилляторы ^{/6/}, резонансная флуоресценция ^{/8/}, вырожденное смещение четырех волн ^{/7/}, оптическая бистабильность ^{/9/}, лазер на свободных электронах ^{/11/} и модель Джайнса - Каммингса ^{/10/}.

В этой работе мы обсудим усиление сжатия света в нелинейной оптической системе. Рассмотрим одну моду электромагнитного поля, и пусть a и a^* будут операторами уничтожения и рождения поля $[a, a^*] = 1$. Сжатое состояние было введено Столером ^{/1/} в виде

$$|\alpha, \xi\rangle = D(\alpha) S(\xi) |0\rangle, \quad (1)$$

где $D(\alpha)$ и $S(\xi)$ являются унитарными операторами, и $|0\rangle$ - вакуумом поля:

$$D(\alpha) = \exp\left[-\frac{1}{2}|\alpha|^2\right] \cdot \exp[\alpha a^*] \exp[-\alpha^* a],$$

$$S(\xi) = \exp\left[\frac{1}{2}\xi^* a^2 - \frac{1}{2}\xi a^{*2}\right],$$

$$\alpha = |\alpha| e^{i\phi}, \quad \xi = \lambda e^{i\theta}.$$

Здесь операторы $D(\alpha)$ и $S(\xi)$ имеют свойства ^{/2/}

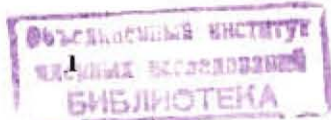
$$D^*(\alpha) a D(\alpha) = a + \alpha,$$

$$D^*(\alpha) a^* D(\alpha) = a^* + \alpha^*, \quad (2)$$

$$S^*(\xi) a S(\xi) = a \cosh \lambda - a^* e^{i\theta} \sinh \lambda,$$

$$S^*(\xi) a^* S(\xi) = a^* \cosh \lambda - a e^{-i\theta} \sinh \lambda. \quad (3)$$

Эрмитовы амплитудные операторы a_1 и a_2 определяются (в представлении взаимодействия) как: $a = a_1 + i a_2$.



Если поле находится в скатом состоянии (I) с фазами $\phi = 0$ и $\theta = 0$, можно найти

$$\begin{aligned} (\Delta a_1)^2 &= \langle (a_1 - \langle a_1 \rangle)^2 \rangle = \frac{1}{4} e^{-2\lambda}, \\ (\Delta a_2)^2 &= \langle (a_2 - \langle a_2 \rangle)^2 \rangle = \frac{1}{4} e^{2\lambda}, \\ (\Delta a_1)(\Delta a_2) &= \frac{1}{4}. \end{aligned} \quad (4)$$

Когда $\lambda > 0$, неопределенность $\Delta a_1 < \frac{1}{2}$, а в случае, когда $\lambda < 0$, неопределенность $\Delta a_2 < \frac{1}{2}$.

Нелинейные взаимодействия, как, например, в параметрическом осцилляторе [6], смещение четырех волн [7] или двухфотонный процесс [2, 12] приводят к оператору

$$a(t) = u(t)a + v(t)a^\dagger \quad (5)$$

с условием нормировки

$$(u(t)^2 - v(t)^2) = 1, \quad (6)$$

так что $[a(t), a^\dagger(t)] = 1$.

Здесь, для простоты, величины $u(t)$ и $v(t)$ предполагаются реальными. Для случая, когда поле в начальный момент времени находится в скатом состоянии (I) с фазами $\phi = 0$ и $\theta = 0$, можно найти с помощью соотношений (2-3, 5):

$$\begin{aligned} (\Delta a_1(t))^2 &= \frac{1}{4} (u(t) + v(t))^2 e^{-2\lambda}, \\ (\Delta a_2(t))^2 &= \frac{1}{4} (u(t) - v(t))^2 e^{2\lambda}. \end{aligned} \quad (7)$$

В случае $\lambda = 0$ (поле находится в начальный момент времени в когерентном состоянии) соотношение (7) совпадает с результатами работы [2].

Используя условие нормировки (6), можно написать

$$\begin{aligned} (u(t) + v(t))^2 &= e^{-2P(t)}, \\ (u(t) - v(t))^2 &= e^{2P(t)}, \end{aligned} \quad (8)$$

где $P(t)$ является реальной функцией.

Тогда можно переписать соотношение (7) в виде

$$\begin{aligned} (\Delta a_1(t))^2 &= \frac{1}{4} e^{-2(\lambda + P(t))}, \\ (\Delta a_2(t))^2 &= \frac{1}{4} e^{2(\lambda + P(t))}. \end{aligned} \quad (9)$$

Из выражений (9) легко видеть, что в случае

$$|\lambda + P(t)| > |\lambda|$$

происходит усиление скатия света за счет нелинейного оптического взаимодействия, то есть

$$(\Delta a_i(t))^2 < (\Delta a_i)^2; \quad i = 1 \text{ или } 2.$$

Несмотря на это, неопределенность $\Delta a_i(t)$ имеет минимальное значение только в случае, когда λ и $P(t)$ имеют одинаковые знаки

$$|\lambda + P(t)| = |\lambda| + |P(t)|. \quad (10)$$

Условие (10) можно рассмотреть как синфазное условие усиления скатия света.

В заключение мы хотим отметить, что, используя большое число синфазных усилителей скатия света, можно получить поле с нужным скатием для применения в различных системах, в том числе и для регистрации гравитационных волн.

Авторы благодарят Фам Ле Кхена за полезное обсуждение.

Литература

1. Stoler J.D. Phys. Rev., 1970, D1, p. 3217.
2. Yuen H.P. Phys. Rev., 1976, A13, p. 2226.
3. Walls D.F. Nature (London), 1983, 306, p. 141.
4. Yuen H.P. and Shapiro J.H. IEEE Trans. Inf. Theory IT-24, 1978, p. 657.
5. Caves C.M. Phys. Rev., 1981, D23, p. 1693.

6. Milburn G.J. and Walls D.F. Opt. Commun., 1981, 39, p. 401. Phys. Rev., 1983, A27, p. 392.
Lugiato L.A. and Strini G. Opt. Commun., 1982, 41, p. 67.
Yurke B. Phys. Rev., 1984, A29, p. 408.
Collet M.J. and Cardiner C.W. Phys. Rev., 1984, A30, p. 1386.
Cardiner C.W. and Savage C.M. Opt. Commun., 1985, 50, p. 173.
Lane A., Tombesi P., Carmichael H.J. and Walls D.F. Opt. Commun., 1983, 48, p. 155.
7. Yuen H.P. and Shapiro J.H. Opt. Lett., 1979, 4, p. 334.
Bondurant R.S., Kumar P., Shapiro J.H. and Maeda M., Phys. Rev., 1984, A30, p. 343.
Reid M.D., Walls D.F. Phys. Rev., 1985, A31, p. 1622.
8. Walls D.F. and Zollner P. Phys. Rev. Lett., 1981, 47, p. 709.
London R. Opt. Commun., 1984, 49, p. 24; 1984, 49, p. 67.
9. Lugiato L.A. and Strini G. Opt. Commun., 1982, 41, p. 374, 1982, 41, p. 447.
Reid M.D. and Walls D.F. Phys. Rev., 1983, A28, p. 332.
10. Meystre P., Zubairy M.S. Phys. Lett., 1982, A89, p. 390.
11. Becker W., Scally M.O. and Zubairy M.S. Phys. Rev. Lett., 1982, 48, p. 475.
12. Bogolubov N.N. (Jr), Shumovsky A.S., Tran Quang, JINR, E4-85-621, Dubna, 1985.
M.Schubert, W.Vogel, Opt.Comm., 1981, 36, p.164.
R.London, Opt.Comm., 1984, 49, p.67.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 октября 1985 года.

Боголюбов Н.Н. /мл./, Чан Куанг, P4-85-772
Шумовский А.С.

Усиление сжатия света в оптической нелинейной системе

Обсуждено усиление сжатия света при посредстве нелинейного оптического взаимодействия. Найдено условие синфазного усиления света в нелинейной среде.

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод авторов

Bogolubov N.N., Jr., Tran Quang, P4-85-772
Shumovsky A.S.

Amplification of Squeezing in Nonlinear Optical Systems

The amplification of squeezing via the nonlinear interaction processes is discussed. The phase-synchronous condition for amplification of squeezing is defined.

The investigation has been performed at the Laboratory of Theoretical Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985