第 58 卷 第 3 期 2009 年 3 月
1000-3290/2009/58(03)/1371-06

物 理 学 报
ACTA PHYSICA SINICA

Vol.58,No.3,March,2009

三粒子纠缠 W 态隐形传态的正交完备基展开与算符变换*

上官丽英[1)2)†]　孙洪祥[2)]　陈秀波[1)]　温巧燕[1)2)]　朱甫臣[3)]

1)(北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室,北京　100876)

2)(北京邮电大学理学院,北京　100876)

3)(现代通信国家重点实验室,成都　610041)

(2008 年 5 月 25 日收到;2008 年 8 月 7 日收到修改稿)

先是对利用单个两粒子及单个三粒子纠缠态作为量子信道实现三粒子纠缠 W 态的隐形传态方案进行讨论.然后由波函数的叠加原理与算符变换出发,将体系的总量子量按照 Bell 基展开实现量子隐形传态,给出了变换算符与实际操作算符之间的联系.进一步验证出变换算符可逆是成功实现三粒子纠缠 W 态隐形传态的必要条件的结论.

关键词:三粒子纠缠 W 态, Bell 基展开, 变换算符, 隐形传态

PACC:0365

1.引　　言

1993 年 Bennet 等[1],提出量子隐形传态的方案,自此,量子隐形传态成为量子信息领域最重要的研究对象之一.后来,Dit 等人[2]在研究三粒子纠缠时发现,可将任意的三粒子态转化为两种基本形式——纠缠 GHZ 态或纠缠 W 态,即

$$|\psi_{GHZ}\rangle=\frac{1}{\sqrt{2}}(|000\rangle+|111\rangle),$$

$$|\psi_{W}\rangle=\frac{1}{\sqrt{3}}(|001\rangle+|010\rangle+|100\rangle).$$

这个发现使得对三粒子纠缠态的研究转化为对纠缠 GHZ 态或纠缠 W 态的研究[3—12].

本文由量子力学波函数叠加原理以及算符变换出发[3,4],讨论了利用一个两粒子及一个三粒子纠缠态作为量子信道实现三粒子纠缠 W 态的 隐形传态的方案,可将总量子态表示为 Bell 基与变换算符的叠加展开.同时理论上验证了变换算符与实际操作算符之间的联系,如果变换算符可逆,则纠缠 W 态量子隐形传态成功实现,即变换算符可逆是成功实现三粒子纠缠 W 态隐形传态的必要条件.

2.用一个最大两粒子及一个最大三粒子纠缠态作为量子信道隐形传送任意三粒子 W 态

假设粒子 1,2,3 处于某个未知的三粒子 W 态上

$$|\psi\rangle_{123}=x|001\rangle_{123}+y|010\rangle_{123}+z|100\rangle_{123},$$

其中

$$|x|^2+|y|^2+|z|^2=1.$$

发送者 Alice 要把这个未知的三粒子 W 态传送给远处的接收者 Bob.粒子 1,2,3 要始终留在 Alice 这里.假设 Alice 与 Bob 之间建立量子信道为

$$|\psi\rangle_{456}=a|000\rangle_{456}+b|111\rangle_{456},$$

$$|\psi\rangle_{78}=c|00\rangle_{78}+d|11\rangle_{78},$$

其中

$$|a|^2+|b|^2=1,\ |c|^2+|d|^2=1,$$

$$|a|\geqslant|b|,\ |c|\geqslant|d|.$$

其中粒子 4,7 为 Alice 拥有,而粒子 5,6,8 属于 Bob.于是,Alice 拥有粒子 1,2,3,4,7,而 Bob 拥有粒子 5,

---

* 国家自然科学基金(批准号:60873191,60821001),高等学校博士学科点专项科研基金(批准号:200800131016),现代通信国家重点实验室基金(批准号:9140C1101010601),北京市自然科学基金(批准号:4072020)和 ISN 开放基金资助的课题.

† E-mail:shgliying@gmail.com

6,8.同时要传送的粒子1,2,3与这两个纠缠对所构成的量子体系的总量子态为

$$|\psi_T\rangle = |\psi\rangle_{123}|\psi\rangle_{456}|\psi\rangle_{78}.$$

Alice接着对粒子(1,4),(2,7)分别进行Bell基测量,经过这两次测量以后,Bob处所有可能的结果如下:

$$\begin{aligned}&\langle\phi^{\pm}|_{27}\langle\phi^{\pm}|_{14}\psi_T\rangle\\ &=\frac{1}{2}(acx|1000\rangle_{3568}\pm ady|0001\rangle_{3568}\\ &\quad\pm bcz|0110\rangle_{3568}),\\ &\langle\psi^{\pm}|_{27}\langle\phi^{\pm}|_{14}\psi_T\rangle\\ &=\frac{1}{2}(adx|1001\rangle_{3568}\pm acy|0000\rangle_{3568}\\ &\quad\pm bdz|0111\rangle_{3568}),\\ &\langle\phi^{\pm}|_{27}\langle\psi^{\pm}|_{14}\psi_T\rangle\\ &=\frac{1}{2}(bcx|1110\rangle_{3568}\pm bdy|0111\rangle_{3568}\\ &\quad\pm acz|0000\rangle_{3568}),\\ &\langle\psi^{\pm}|_{27}\langle\psi^{\pm}|_{14}\psi_T\rangle\\ &=\frac{1}{2}(bdx|1111\rangle_{3568}\pm bcy|0110\rangle_{3568}\\ &\quad\pm adz|0001\rangle_{3568}),\end{aligned}$$

式中$\langle\phi^{\pm}|_{ij}$和$\langle\psi^{\pm}|_{ij}$为粒子i和j构成的Bell基

$$|\phi^{\pm}\rangle_{ij}=\frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle_{ij}+|11\rangle_{ij}),$$

$$|\psi^{\pm}\rangle_{ij}=\frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle_{ij}+|10\rangle_{ij}).$$

然后Alice对粒子3进行H操作,接着对粒子3进行基为$|0\rangle$和$|1\rangle$的投影测量.在Bob处可能得到的结果(32种)为

$$\begin{aligned}&\frac{1}{2\sqrt{2}}(\pm acx|000\rangle_{568}\pm ady|001\rangle_{568}\\ &\quad\pm bcz|110\rangle_{568}),\\ &\frac{1}{2\sqrt{2}}(\pm adx|001\rangle_{568}\pm acy|000\rangle_{568}\\ &\quad\pm bdz|111\rangle_{568}),\\ &\frac{1}{2\sqrt{2}}(\pm bcx|110\rangle_{568}\pm bdy|111\rangle_{568}\\ &\quad\pm acz|000\rangle_{568}),\\ &\frac{1}{2\sqrt{2}}(\pm bdx|111\rangle_{568}\pm bcy|110\rangle_{568}\\ &\quad\pm adz|001\rangle_{568}).\end{aligned}$$

以上工作完成以后,Alice通过经典信道将测量结果通知Bob,但Bob不可能单纯通过幺正变换得到原来的纠缠态,这是因为非最大纠缠信道已经使得被传送的量子态发生畸变,而畸变中含有信道参数a,b,c,d.

为了解决使用非最大纠缠信道的纠缠W态的概率隐形传态问题.Bob对粒子5,6,8进行幺正操作U_1.例如,对于态

$$\frac{1}{2\sqrt{2}}(acx|000\rangle_{568}+ady|001\rangle_{568}+bcz|110\rangle_{568}),$$

进行幺正操作

$$(U_1)_{568}=(U_{\mathrm{SWAP}})_{56}(U_{\mathrm{SWAP}})_{58}(U_{\mathrm{CNOT}})_{85}(\sigma_x)_5,$$

使其转化为

$$\frac{1}{2\sqrt{2}}(acx|001\rangle_{568}+ady|010\rangle_{568}+bcz|100\rangle_{568}),$$

其中U_{SWAP}定义为

$$U_{\mathrm{SWAP}}|U_i\rangle_A\otimes|U_j\rangle_B=|U_j\rangle_A\otimes|U_i\rangle_B,$$

对粒子5,6,8相应的幺正操作见表1.

然后,Bob引进一个初态为$|0\rangle_A$的辅助粒子,并且以

$$\begin{aligned}\{&|000\rangle_{568}|0\rangle_A,|001\rangle_{568}|0\rangle_A,\\ &|010\rangle_{568}|0\rangle_A,|011\rangle_{568}|0\rangle_A,\\ &|100\rangle_{568}|0\rangle_A,|101\rangle_{568}|0\rangle_A,\\ &|110\rangle_{568}|0\rangle_A,|111\rangle_{568}|0\rangle_A,\\ &|000\rangle_{568}|1\rangle_A,|001\rangle_{568}|1\rangle_A,\\ &|010\rangle_{568}|1\rangle_A,|011\rangle_{568}|1\rangle_A,\\ &|100\rangle_{568}|1\rangle_A,|101\rangle_{568}|1\rangle_A,\\ &|110\rangle_{568}|1\rangle_A,|111\rangle_{568}|1\rangle_A\}\end{aligned}$$

为基构造一个16维联合测量幺正矩阵对粒子5,6,8,A进行幺正变换,幺正变换矩阵形式为

$$U_2=\begin{pmatrix}A_1 & A_2\\ A_2 & -A_1\end{pmatrix},$$

其中$A_i(i=1,2,)$是一个8阶矩阵,各自可以表示为

$$A_1=\mathrm{diag}(a_1,a_2,a_3,a_4,a_5,a_6,a_7,a_8),$$

$$A_2=\mathrm{diag}(\sqrt{1-a_1^2},\sqrt{1-a_2^2},\sqrt{1-a_3^2},\sqrt{1-a_4^2},\sqrt{1-a_5^2},\sqrt{1-a_6^2},\sqrt{1-a_7^2},\sqrt{1-a_8^2}).$$

其中$a_i(i=1,2,\cdots,8$,且$|a_i|\leqslant1)$取决于粒子5,6,8的态(见表2).例如,对于态

$$\frac{1}{2\sqrt{2}}(acx|001\rangle_{568}+ady|010\rangle_{568}+bcz|100\rangle_{568}),$$

取

$$A_1=\mathrm{diag}\left(\frac{bd}{ac},\frac{bd}{ac},\frac{b}{a},\frac{b}{a},\frac{d}{c},\frac{d}{c},1,1\right),$$

$$A_2=\mathrm{diag}\left(\sqrt{1-\left(\frac{bd}{ac}\right)^2},\sqrt{1-\left(\frac{bd}{ac}\right)^2},\sqrt{1-\left(\frac{b}{a}\right)^2},\sqrt{1-\left(\frac{b}{a}\right)^2},\sqrt{1-\left(\frac{d}{c}\right)^2},\sqrt{1-\left(\frac{d}{c}\right)^2},0,0\right).$$

这样幺正操作 U_2 使得态

$$\frac{1}{2\sqrt{2}}(acx|001\rangle_{568}+ady|010\rangle_{568}+bcz|100\rangle_{568})|0\rangle_A$$

转化为

$$\frac{1}{2\sqrt{2}}bd(x|001\rangle_{568}+y|010\rangle_{568}+z|100\rangle_{568})|0\rangle_A$$
$$+\frac{1}{2\sqrt{2}}(\sqrt{(ac)^2-(bd)^2}x|001\rangle_{568}+\sqrt{a^2-b^2}dy|010\rangle_{568}+\sqrt{c^2-d^2}bz|100\rangle_{568})|1\rangle_A.$$

然后 Bob 将对粒子 A 进行测量，若结果为 $|1\rangle_A$ 时，远程态制备失败，若结果为 $|0\rangle_A$ 则在 Bob 处可得到所要制备的态，成功的概率为 $\frac{|bd|^2}{8}$，其余 31 种态可以用同样的方法进行转换（见表 2），成功的概率均为 $\frac{|bd|^2}{8}$，所以成功总概率为 $\frac{|bd|^2}{8}\times 32=4|bd|^2$. 容易看出，当信道为最大纠缠态时，即当 $|a|=|b|=|c|=|d|=\frac{1}{\sqrt{2}}$ 时，隐形传态成功的概率为 $4|bd|^2=1$.

表 1　对应于粒子 5，6，8 的不同态 Bob 所进行的幺正操作 U_1

粒子 5，6，8 的量子表	幺正变换 U_1
$\frac{1}{2\sqrt{2}}(\pm acx\|000\rangle_{568}\pm ady\|001\rangle_{568}\pm bcz\|110\rangle_{568})$	$(U_{\mathrm{SWAP}})_{56}(U_{\mathrm{SWAP}})_{58}(U_{\mathrm{CNOT}})_{85}(\sigma_x)_5$
$\frac{1}{2\sqrt{2}}(\pm adx\|001\rangle_{568}\pm acy\|000\rangle_{568}\pm bdz\|111\rangle_{568})$	$(U_{\mathrm{SWAP}})_{56}(U_{\mathrm{SWAP}})_{58}(U_{\mathrm{CNOT}})_{85}(\sigma_x)_5(\sigma_x)_8$
$\frac{1}{2\sqrt{2}}(\pm bcx\|110\rangle_{568}\pm bdy\|111\rangle_{568}\pm acz\|000\rangle_{568})$	$(U_{\mathrm{SWAP}})_{56}(U_{\mathrm{SWAP}})_{58}(U_{\mathrm{CNOT}})_{85}(\sigma_x)_6$
$\frac{1}{2\sqrt{2}}(\pm bdx\|111\rangle_{568}\pm bcy\|110\rangle_{568}\pm adz\|001\rangle_{568})$	$(U_{\mathrm{SWAP}})_{56}(U_{\mathrm{SWAP}})_{58}(U_{\mathrm{CNOT}})_{85}(\sigma_x)_6(\sigma_x)_8$

表 2　对应于粒子 5，6，8 的不同态，幺正变换矩阵 U_2 中的 A_1

粒子 5，6，8 的量子表	A_1
$\frac{1}{2\sqrt{2}}(\pm acx\|000\rangle_{568}\pm ady\|001\rangle_{568}\pm bcz\|110\rangle_{568})$	$\mathrm{diag}\left\{\pm\frac{bd}{ac},\pm\frac{bd}{ac},\pm\frac{b}{a},\pm\frac{b}{a},\pm\frac{d}{c},\pm\frac{d}{c},\pm1,\pm1\right\}$
$\frac{1}{2\sqrt{2}}(\pm adx\|001\rangle_{568}\pm acy\|000\rangle_{568}\pm bdz\|111\rangle_{568})$	$\mathrm{diag}\left\{\pm\frac{b}{a},\pm\frac{b}{a},\pm\frac{bd}{ac},\pm\frac{bd}{ac},\pm1,\pm1,\pm\frac{d}{c},\pm\frac{d}{c}\right\}$
$\frac{1}{2\sqrt{2}}(\pm bcx\|110\rangle_{568}\pm bdy\|111\rangle_{568}\pm acz\|000\rangle_{568})$	$\mathrm{diag}\left\{\pm\frac{d}{c},\pm\frac{d}{c},\pm1,\pm1,\pm\frac{bd}{ac},\pm\frac{bd}{ac},\pm\frac{b}{a},\pm\frac{b}{a}\right\}$
$\frac{1}{2\sqrt{2}}(\pm bdx\|111\rangle_{568}\pm bcy\|110\rangle_{568}\pm adz\|001\rangle_{568})$	$\mathrm{diag}\left\{\pm1,\pm1,+\frac{d}{c},\pm\frac{d}{c},\pm\frac{b}{a},\pm\frac{b}{a},\pm\frac{bd}{ac},\pm\frac{bd}{ac}\right\}$

3. 任意三粒子 W 态量子隐形传送的正交完备基展开与算符变换

由波函数的叠加原理和变换算符[3,4]，上述方案中总量子态按 Bell 基展开可以表示为

$$|\psi_{\mathrm{T}}\rangle=|\psi\rangle_{123}|\psi\rangle_{456}|\psi\rangle_{78}=\frac{1}{8}\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{4}\sum_{k=1}^{2}\phi_{14}^{i}\phi_{27}^{j}H_3P^k\sigma_{568}^{ijk}|\psi\rangle_{568},$$

其中

$$|\psi\rangle_{568}=x|001\rangle_{568}+y|010\rangle_{568}+z|100\rangle_{568},$$

ϕ_{14}^{i} 对应粒子 1，4 的 4 个 Bell 态，ϕ_{27}^{j} 对应粒子 2，7 的 4 个 Bell 态，H_3 对应粒子 3 进行 H 操作，P^k 对应基为 $|0\rangle$ 和 $|1\rangle$ 的投影测量. 如

$$\phi_{14}^{1}=\frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle_{14}+|11\rangle_{14}),$$

$$\phi_{14}^{2}=\frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle_{14}-|11\rangle_{14}),$$

$$\phi_{14}^3=\frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle_{14}+|10\rangle_{14}),$$

$$\phi_{14}^4=\frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle_{14}-|10\rangle_{14}),$$

$$H_3|0\rangle=\frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle+|1\rangle),$$

$$H_3|1\rangle=\frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle-|1\rangle),$$

$$P^1=|0\rangle,$$

$$P^2=|1\rangle.$$

Alice 在两次 Bell 基测量，对粒子 3 进行 H 操作及基为 $|0\rangle$ 和 $|1\rangle$ 的投影测量以后，粒子 5，6，8 对应的塌陷态为 $\sigma_{568}^{ijk}|\psi\rangle_{568}$，$\sigma_{568}^{ijk}$ 称作变换算符[5]．理论上，若变换算符 σ_{568}^{ijk} 可逆，则 Bob 对粒子 5，6，8 进行相应的逆变换 $(\sigma_{568}^{ijk})^{-1}$ 即可获得粒子 1，2，3 的信息，即变换算符 σ_{568}^{ijk} 可逆成为成功实现量子隐形传态的必要条件．

例如，如果 Alice 在两次 Bell 基测量为 ϕ_{14}^1，ϕ_{27}^1，对粒子 3 的 H 操作，投影测量结果 P^1，则接收者 Bob 的粒子 5，6，8 将塌陷到态 $|\psi\rangle_{568}^{111}$，且 $|\psi\rangle_{568}^{111}=\frac{1}{8}\sigma_{568}^{111}|\psi\rangle_{568}$．

由算符运算[3,4]可以得出

$$\sigma_{568}^{ijk}=\sigma_5^i\otimes\sigma_6^j\otimes\sigma_8^k,$$
$$(i,j=1,2,3,4.\ k=1,2).$$

为了方便，设

$$\sigma_5^1=\sqrt{2}\begin{pmatrix}a&0\\0&b\end{pmatrix},\sigma_5^2=\sqrt{2}\begin{pmatrix}a&0\\0&-b\end{pmatrix},$$

$$\sigma_5^3=\sqrt{2}\begin{pmatrix}b&0\\0&a\end{pmatrix},\sigma_5^4=\sqrt{2}\begin{pmatrix}b&0\\0&-a\end{pmatrix},$$

$$\sigma_6^1=\sqrt{2}\begin{pmatrix}c&0\\0&d\end{pmatrix},\sigma_6^2=\sqrt{2}\begin{pmatrix}c&0\\0&-d\end{pmatrix},$$

$$\sigma_6^3=\sqrt{2}\begin{pmatrix}d&0\\0&c\end{pmatrix},\sigma_6^4=\sqrt{2}\begin{pmatrix}d&0\\0&-c\end{pmatrix},$$

$$\sigma_8^1=\sqrt{2}\begin{pmatrix}1&0\\0&1\end{pmatrix},\sigma_8^2=\sqrt{2}\begin{pmatrix}1&0\\0&-1\end{pmatrix}.$$

例如

$$\sigma_{568}^{111}=\sigma_5^1\otimes\sigma_6^1\otimes\sigma_8^1=(\sqrt{2})^3\times\begin{pmatrix}a&0\\0&b\end{pmatrix}\otimes\begin{pmatrix}c&0\\0&d\end{pmatrix}\otimes\begin{pmatrix}1&0\\0&1\end{pmatrix},$$

$$\sigma_{568}^{222}=\sigma_5^2\otimes\sigma_6^2\otimes\sigma_8^2=(\sqrt{2})^3\times\begin{pmatrix}a&0\\0&-b\end{pmatrix}\otimes\begin{pmatrix}c&0\\0&-d\end{pmatrix}\otimes\begin{pmatrix}1&0\\0&-1\end{pmatrix}.$$

同样可以写出其他变换算符．将

$$|\psi\rangle_{568}=x|001\rangle_{568}+y|010\rangle_{568}+z|100\rangle_{568},$$

和

$$\sigma_{568}^{111}=\sigma_5^1\otimes\sigma_6^1\otimes\sigma_8^1,$$

代入

$$|\psi\rangle_{568}^{111}=\frac{1}{8}\sigma_{568}^{111}|\psi\rangle_{568},$$

可得

$$|\psi\rangle_{568}^{111}=\frac{1}{8}\sigma_{568}^{111}|\psi\rangle_{568}=\frac{1}{2\sqrt{2}}(acx|001\rangle_{568}+ady|010\rangle_{568}+bcz|100\rangle_{568}).$$

与上述方案塌陷态结果完全相同．同理可得其他结论，与上述方案结论也完全相同．

4．讨 论

若变换算符 σ_{568}^{ijk} 可逆，则 Bob 对粒子 5，6，8 进行相应的逆变换 $(\sigma_{568}^{ijk})^{-1}$ 即可获得粒子 1，2，3 的信息．由于算符 σ_{568}^{ijk} 不一定是幺正算符，则 $(\sigma_{568}^{ijk})^{-1}$ 也不一定是幺正算符，但是，本文中，由

$$\sigma_{568}^{111}=\sigma_5^1\otimes\sigma_6^1\otimes\sigma_8^1=(\sqrt{2})^3\times\begin{pmatrix}a&0\\0&b\end{pmatrix}\otimes\begin{pmatrix}c&0\\0&d\end{pmatrix}\otimes\begin{pmatrix}1&0\\0&1\end{pmatrix},$$

$$\begin{aligned}(\sigma_{568}^{111})^{-1}&=\frac{1}{2\sqrt{2}abcd}\begin{pmatrix}b&0\\0&a\end{pmatrix}\otimes\begin{pmatrix}d&0\\0&c\end{pmatrix}\otimes\begin{pmatrix}1&0\\0&1\end{pmatrix}\\&=\frac{1}{2\sqrt{2}abcd}\times\mathrm{diag}(bd,bd,bc,bc,ad,ad,ac,ac)\\&=\frac{1}{2\sqrt{2}bd}\mathrm{diag}\left(\frac{bd}{ac},\frac{bd}{ac},\frac{b}{a},\frac{b}{a},\frac{d}{c},\frac{d}{c},1,1\right),\end{aligned}$$

若令

$$(\sigma_{568}^{111})^{-1}=\frac{1}{2\sqrt{2}bd}\hat{A}_1,$$

$$\hat{A}_1=\mathrm{diag}\left(\frac{bd}{ac},\frac{bd}{ac},\frac{b}{a},\frac{b}{a},\frac{d}{c},\frac{d}{c},1,1\right),$$

$\hat{A}_1$ 与本文所提方案中 A_1 完全相同．实际上，上述方案中 Bob 引进初态为 $|0\rangle_A$ 辅助粒子，对粒子 5，6，8，A 进行幺正变换，幺正变换矩阵为 16×16 的矩阵

$$U_2=\begin{pmatrix}A_1&A_2\\A_2&-A_1\end{pmatrix},$$

则有

$$U_2|\psi\rangle_{568}|0\rangle_A = A_1|\psi\rangle_{568}|0\rangle_A + A_2|\Psi\rangle_{568}|1\rangle_A.$$

显然 Bob 测量辅助粒子 A 的量子态，如果测量结果为 $|0\rangle_A$，则隐形传态成功．这是因为 $(\sigma_{568}^{111})^{-1} = \frac{1}{2\sqrt{2}bd}\hat{A}_1$，所以隐形传态成功．如果测量结果为 $|1\rangle_A$，则隐形传态失败．这是因为 $\hat{A}_2$ 与 $(\sigma_{568}^{111})^{-1}$ 不是相差一个常数倍数．

5．结　　论

从以上分析可知，如果 σ_{568}^{ijk} 的行列式为 0，即变换算符 σ_{568}^{ijk} 不可逆，则不能对粒子 5，6，8 进行操作变换实现三粒子纠缠 W 态的隐形传态．而且可以看出，变换算符与量子通道的纠缠特性有着直接的关系，验证出变换算符可逆是成功实现三粒子纠缠 W 态隐形传态的必要条件．

[1] Bennett C H, Brassard G, Crepeau C *et al* 1993 *Phys. Rev. Lett.* **70** 1895

[2] Dit W, Vidal Grand, Cirac J I *et al* 2000 *Phys. Rev.* A **62** 062314

[3] Zha X W 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 723 (in Chinese) [查新未 2002 物理学报 **51** 723]

[4] Zha X W, Zhang C M 2006 *J. Xi'an Jiaotong Univ.* **40** 243 (in Chinese) [查新未 张淳民 2006 西安交通大学学报 **40** 243]

[5] Zha X W 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 1875 (in Chinese) [查新未 2007 物理学报 **56** 1875]

[6] Zheng Y Z, Gu Y J, Guo G C 2002 *Chin. Phys.* **11** 537

[7] Sun L L, Fan Q B, Zhang S 2005 *Chin. Phys.* **14** 1313

[8] Lin X, Li H C 2005 *Chin. Phys.* **14** 1724

[9] Can H J, Guo Y Q, Soug H S 2006 *Chin. Phys.* **15** 915

[10] Zheng Y Z, Dai L Y, Guo G C 2003 *Acta Phys. Sin.* **52** 2678 (in Chinese) [郑亦庄、戴玲玉、郭光灿 2003 物理学报 **52** 2678]

[11] Xi Y J, Fang J X, Zhu S Q *et al* 2006 *Chin. J. Quantum Electron.* **23** 61 (in Chinese) [席拥军、方建兴、朱士群等 2006 量子电子学报 **23** 61]

[12] Huang Y C, Liu M 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 4517 (in Chinese) [黄永畅、刘　敏 2005 物理学报 **54** 4517]

The expansion of orthogonal complete set and transformation operator in the teleportation of a three-particle entangled W state*

Shangguan Li-Ying[1)2)†] Sun Hong-Xiang[2)] Chen Xiu-Bo[1)] Wen Qiao-Yan[1)2)] Zhu Fu-Chen[3)]

1)(*State key Laboratory of Networking and Switching Technology, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing* 100876, *China*)

2)(*School of Science, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing* 100876, *China*)

3)(*National Laboratory for Modern Communications, Chengdu* 610041, *China*)

(Received 25 May 2008; revised manuscript received 7 August 2008)

Abstract

Firstly, we discuss a scheme for teleportation of a three-particle entangled W state via a two-particle and a three-particle entangled state. Then, in accordance with the principle of superposition and transformation operators, the three-particle entangled W state is expanded by Bell bases and the teleportation can be realized. The relation of transformation operators with unitary operation is discussed. The necessary condition for realizing the teleportation is that the transformation operators have inverse operators.

Keywords: three-particle entangled W state, Bell bases expansion, transformation operators, teleportation

PACC: 0365

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 60873191, 60821001), the Specialized Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education (Grant No. 200800131016), the National Laboratory for Modern Communications Science Foundation of China (Grant No. 9140C1101010601), the Natural Science Foundation of Beijing (Grant No. 4072020) and ISN Open Foundation.

† E-mail: shgliying@gmail.com