量子计算实验报告

何金铭 PB21020660

实验目的，实验原理，实验内容已于预习报告中给出，此处不再赘述。

1 实验结果与分析

1.1 连续波实验

当波源功率为 3dBm 时，测得的连续波谱如下：

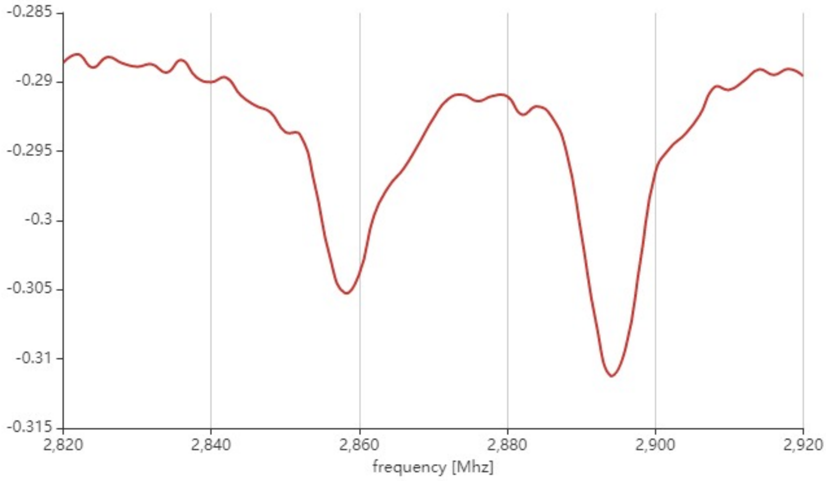

图 1: 波源功率为 3dBm 时的连续波谱

两个吸收峰分别为 2894MHz 和 2858MHz。
当波源功率为-6dBm 时，测得的连续波谱如下：

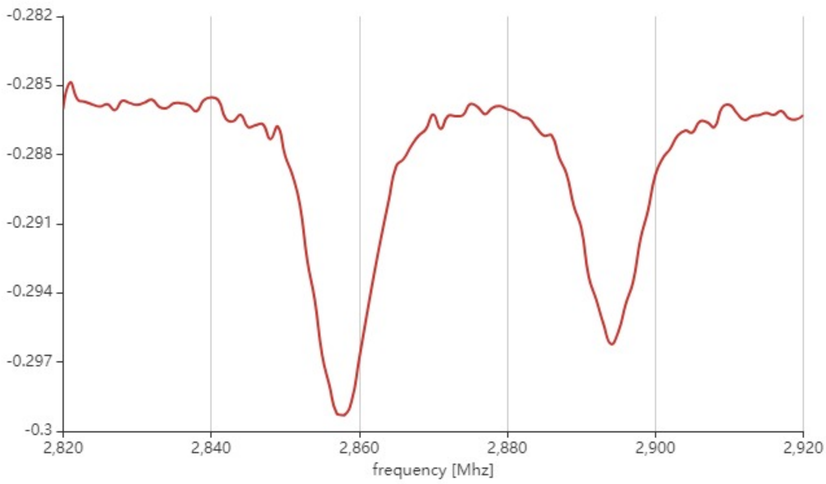

图 2: 波源功率为-6dBm 时的连续波谱

两个吸收峰分别为 2894MHz 和 2858MHz，之前一致。

可知 $|0\rangle$ 与 $|-1\rangle$ 间的能级差为 2858MHz，$|0\rangle$ 与 $|1\rangle$ 间的能级差为 2894MHz。

1.2 Rabi 震荡实验

1.2.1 微波频率为 2894MHz，波源功率为 3dBm

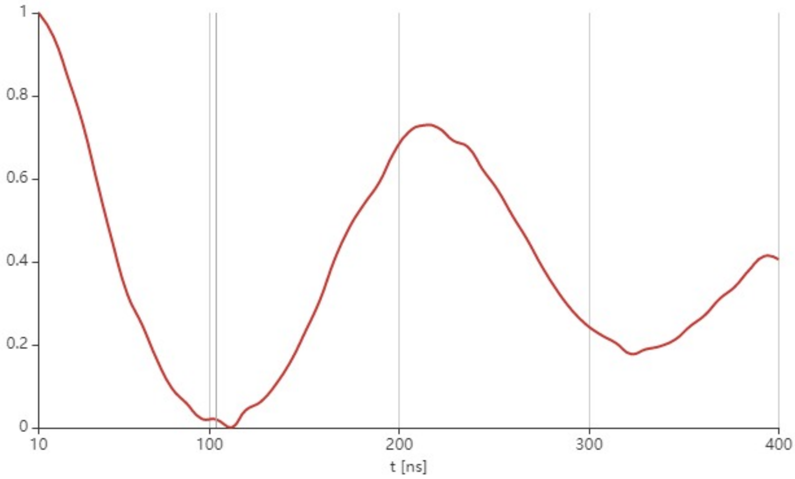

图 3: 微波频率为 2894MHz，波源功率为 3dBm 时的拉比震荡

测得 $t_{\frac{\pi}{2}} = 45ns, t_{\pi} = 105ns, t_{2\pi} = 210ns$

1.2.2 微波频率为 2858MHz，波源功率为 3dBm

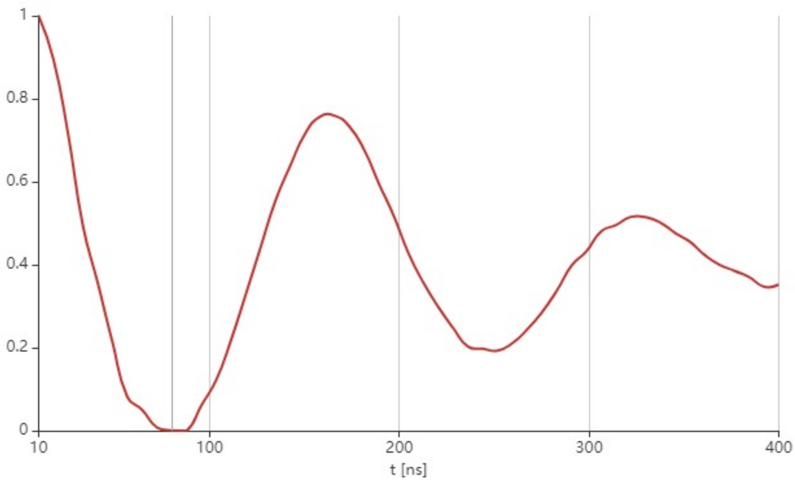

图 4: 微波频率为 2858MHz，波源功率为 3dBm 时的拉比震荡

$t_{\frac{\pi}{2}} = 41.2ns, t_{\pi} = 80ns, t_{2\pi} = 160ns$

1.2.3 微波频率为 2858MHz，波源功率为 6dBm

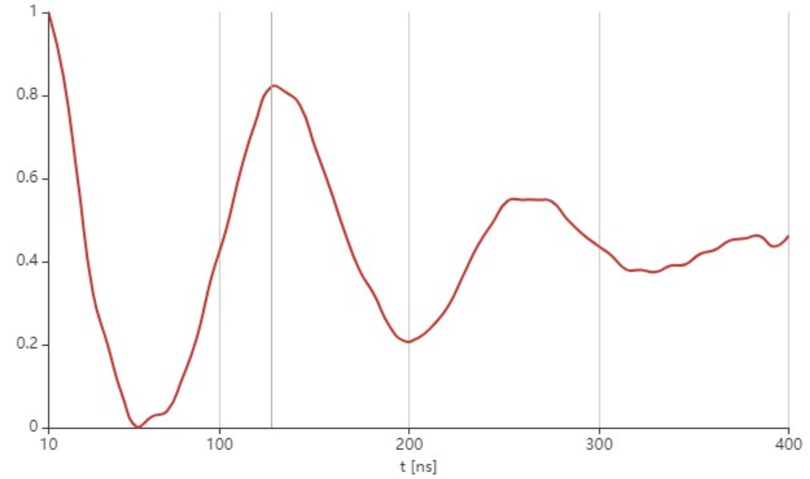

图 5: 微波频率为 2858MHz，波源功率为 6dBm 时的拉比震荡

$t_{\frac{\pi}{2}} = 30ns, t_{\pi} = 60ns, t_{2\pi} = 127ns$

1.3 回波实验

表 1: 回波实验参数设置表

微波频率 MHz	微波功率 dBm	pi 脉冲宽度 ns	pi/2 脉冲宽度 ns
2894	3	105	45

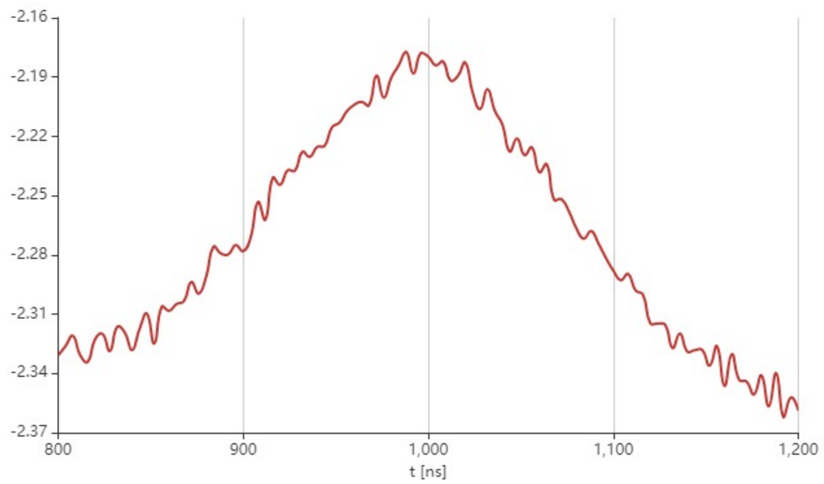

图 6: 微波频率为 2894MHz，波源功率为 3dBm 时的回波实验

可以观察到一个明显左右对称的回波信号，回波信号大致为 1000ns 长。

1.4 T_2 实验

表 2: T_2 实验参数设置表

微波频率 MHz	微波功率 dBm	pi 脉冲宽度 ns	pi/2 脉冲宽度 ns
2894	3	105	45

实验测得的结果为:

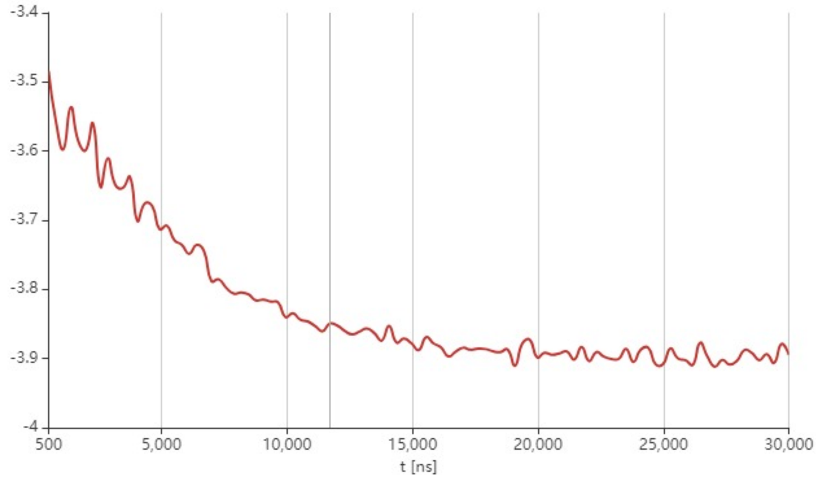

图 7: 微波频率为 2894MHz，波源功率为 3dBm 时的 T_2 实验

带入拟合函数 $f = A \cdot \exp(-(t/T_2)^a) + B$ 拟合得:

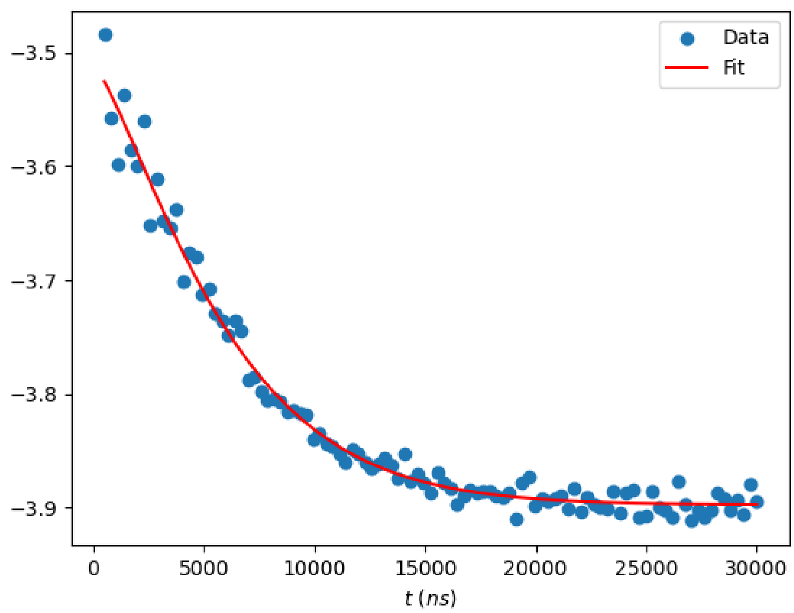

图 8: 微波频率为 2894MHz，波源功率为 3dBm 时的 T_2 实验拟合结果

并计算得拟合参数为：$A = 0.387, T_2 = 6412.16ns, a = 1.283, B = -3.898$
在实验中的时间参数均小于 T_2，在相干时间内，故可以实现量子计算。

1.5 D-J 算法实验

其他参数的设置与之前的结果设置，下面强调几点需要关注的参数：

1. DJ1, DJ2 参数的设置中微波 1 和微波 2 的波源功率均为 3dBm；而 DJ3, DJ4 的参数设置中微波 1 的波源功率均为 3dBm，微波 2 的波源功率为 6dBm。这是因为微波 2 的转换效率小于微波 1，而 DJ3, DJ4 的回波信号主要来自于微波 2，故需要增加功率。

2. DJ2, DJ4 参数的设置中微波 1 的回波信号时间应设置为 1210ns, 这是由于在 DJ2, DJ4 算法的回波时间中又设置了一个 2π 脉冲信号，故为 $1210ns$；而 DJ1, DJ3 中只有一个回波信号，回波时间设置为 $1000ns$

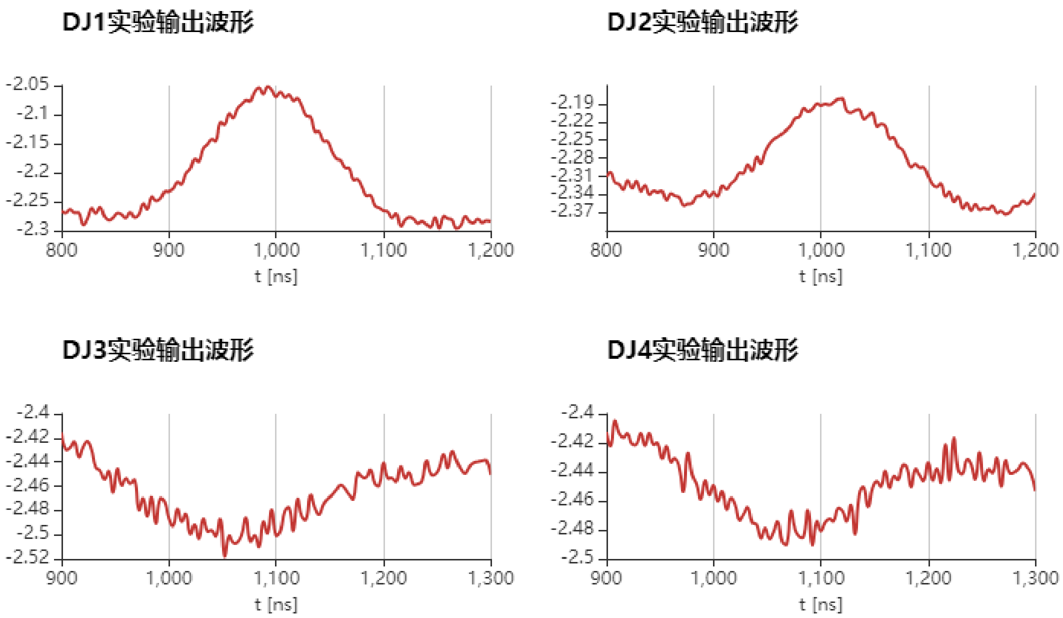

图 9: DJ 算法实验

常函数的回波信号向上，而平衡函数的回波信号向下，故 DJ1,DJ2 的结果为常函数，DJ3,DJ4 的结果为平衡函数。

2 实验结论

1. 可知 $|0\rangle$ 与 $|-1\rangle$ 间的能级差为 2858MHz，$|0\rangle$ 与 $|1\rangle$ 间的能级差为 2894MHz

2. 微波频率为 2894MHz，波源功率为 3dBm 时的拉比震荡，测得 $t_{\frac{\pi}{2}} = 45ns, t_\pi = 105ns, t_{2\pi} = 210ns$; 微波频率为 2858MHz, 波源功率为 3dBm 时的拉比震荡, $t_{\frac{\pi}{2}} = 41.2ns, t_\pi = 80ns, t_{2\pi} = 160ns$ 微波频率为 2858MHz，波源功率为 6dBm 时的拉比震荡，$t_{\frac{\pi}{2}} = 30ns, t_\pi = 60ns, t_{2\pi} = 127ns$

3. 测得微波 1,2894MHz,3dBm 的回波信号时间约为 $1000ns$

4. 测得微波 1,2894MHz,3dBm 的 T_2 信号时间为 $T_2 = 6412.16ns$，在实验中的时间参数均小于 $T_2 = 6412.16ns$，在相干时间内，故可以实现量子计算。

5. DJ 算法测试得：DJ1,DJ2 的结果为常函数，DJ3,DJ4 的结果为平衡函数。

3 思考题

3.1 请利用布洛赫球表示以下量子态：

$$(1)|\psi\rangle = \frac{|0\rangle + |1\rangle}{\sqrt{2}} = \cos 45^\circ |0\rangle + \sin 45^\circ |1\rangle \sim (\theta = 90^\circ, \phi = 0) \tag{1}$$

$$(2)|\psi\rangle = \frac{|0\rangle - |1\rangle}{\sqrt{2}} = \cos 45^\circ |0\rangle - \sin 45^\circ |1\rangle \sim (\theta = 90^\circ, \phi = \pi) \tag{2}$$

$$(3)|\psi\rangle = \frac{|0\rangle + i|1\rangle}{\sqrt{2}} = \cos 45^\circ |0\rangle + i\sin 45^\circ |1\rangle \sim (\theta = 90^\circ, \phi = \frac{1}{2}\pi) \tag{3}$$

$$(4)|\psi\rangle = \frac{|0\rangle - i|1\rangle}{\sqrt{2}} = \cos 45^\circ |0\rangle - i\sin 45^\circ |1\rangle \sim (\theta = 90^\circ, \phi = \frac{3}{2}\pi) \tag{4}$$

3.2 如果实验中施加的微波频率 f 与共振频率 f_0 有偏差，即 $f = f_0 + \delta f$，拉比振荡的频率会如何变化？

拉比震荡的频率为:

$$\Omega = \sqrt{f_1^2 + (f - f_0)^2} = \sqrt{f_1^2 + \delta f^2} \tag{5}$$

可知偏差越大震荡频率越大, 但与此同时振幅也在减小. 最后振幅小于一定值或者频率大于一定值时就无法分辨.

3.3 拉比振荡频率与微波功率的关系是什么？

由本实验中的 Rabi 震荡实验可得, 当微波功率增大时, 拉比振荡频率也会增大. 如图 3, 图 5 所示

一般情况下, 微波功率的增加可以影响拉比振荡的频率，通常表现为以下两种情况:

1. 线性关系：在一定范围内，拉比振荡频率与微波功率呈线性关系。当微波功率增加时，拉比振荡频率也相应增加。这种关系通常在微波功率较低的情况下成立，即微波功率尚未达到饱和效应（saturation）

2. 饱和效应：当微波功率进一步增加时，拉比振荡频率将逐渐趋于饱和，即增加微波功率不再显著增加拉比振荡频率。这是因为在高功率下，系统的能级分布和激发态的寿命等因素会导致饱和效应的出现。此时，拉比振荡频率将趋于一个饱和值，不再随微波功率的增加而线性增加。

本实验中大致属于线性关系.

3.4 参照 $n=1$ 的特殊情况，即图 1.5 所示的量子线路图，画出一般情况的 D-J 算法量子线路图，并解释算法原理。

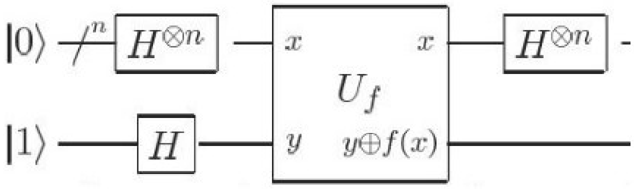

图 10: 一般情况的 DJ 算法

已知 U_f 的 $f(x)$ 只有两种可能，一种对 $\forall x$ 为常数，一种对 $\forall x$ 得到 0、1 的数目相同.
输入 $|0\rangle^n|1\rangle$

计算得输出 $\sum_z\sum_x \frac{(-1)^{f(x)+x\cdot z}|z\rangle}{2^n}\frac{|0\rangle-|1\rangle}{\sqrt{2}} = \begin{cases} |0\rangle^n\frac{|0\rangle-|1\rangle}{\sqrt{2}} & \text{,f(x) 为常数} \\ \sum_{z\neq[0]}\sum_x\frac{(-1)^{f(x)+x\cdot z}|z|}{2^n}\frac{|0\rangle-|1\rangle}{\sqrt{2}} & \text{,f(x) 为平衡} \end{cases}$.

测量前 n 个比特，若全部为 0 则 f(x) 为常数，若存在 1 则 f(x) 为平衡