固体激光器实验

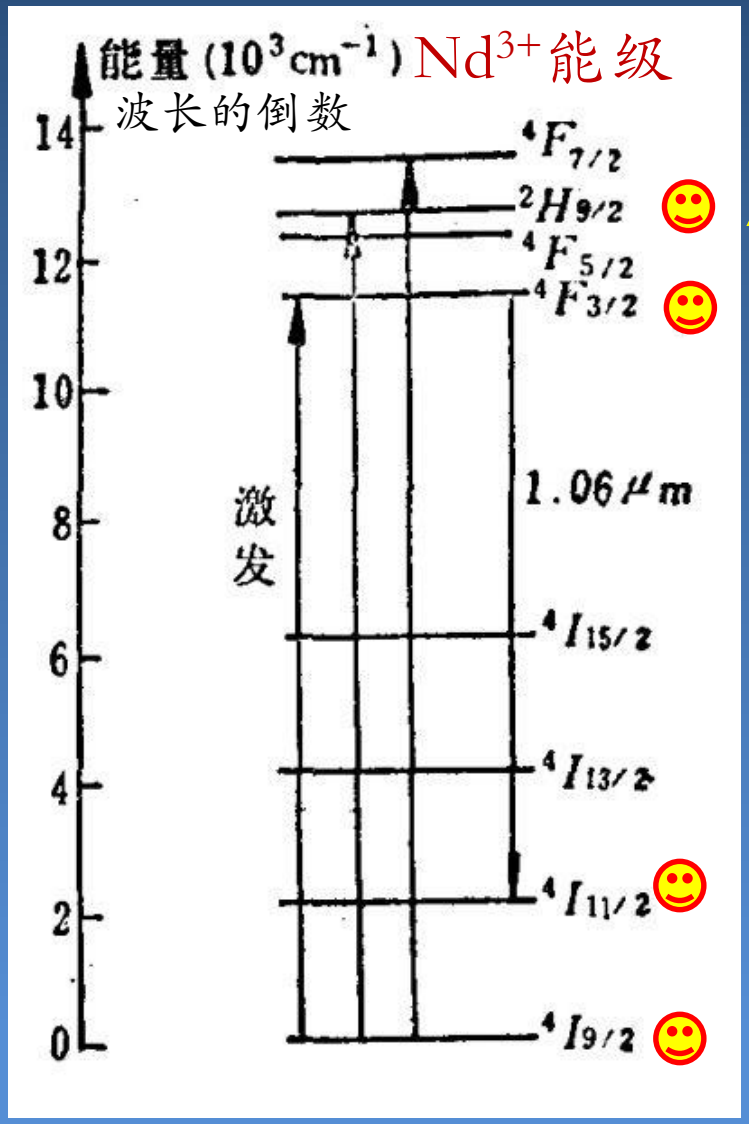
李雪阳　　合作者：林汉冰
12307130102

近代物理实验I

实验原理

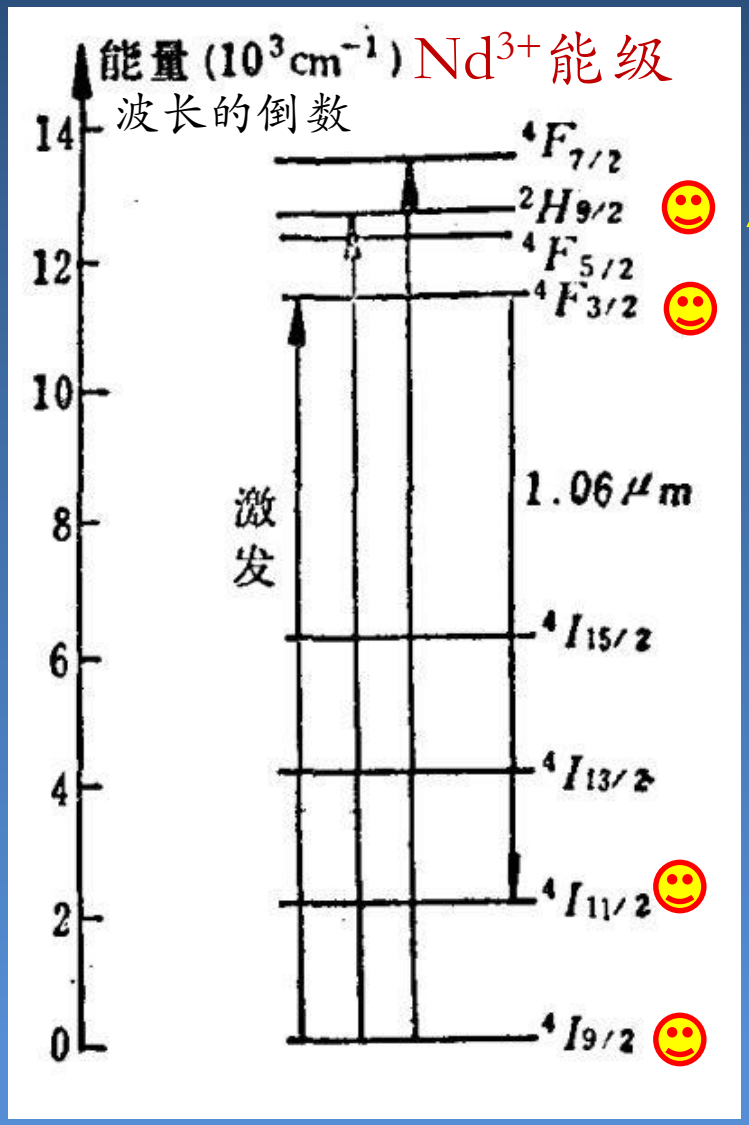
- 激光器的三个主要组成部分
- 1.工作物质（激活介质）
- 本实验“自己组装”的激光器所用激活介质为Nd：YAG（掺钕钇铝石榴石）。
- Nd：YAG是以Nd^{3+}离子部分取代$Y_3Al_5O_{12}$晶体Nd^{3+}离子所得。

- 1. 工作物质（激活介质）
- Nd：YAG是一个典型的四能级系统。

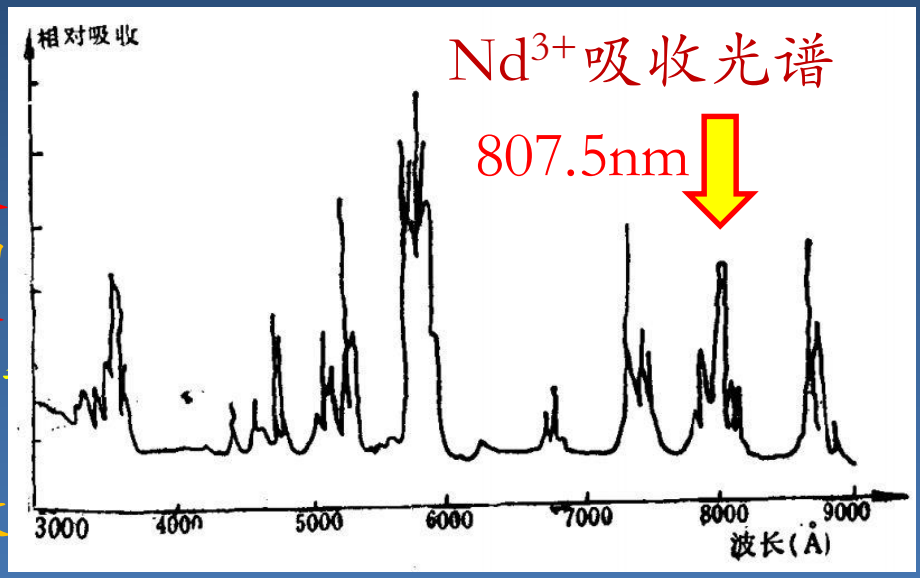


高能级
↓ 无辐射跃迁
上能级
粒子数反转！！
受激辐射
1064nm
下能级
基态

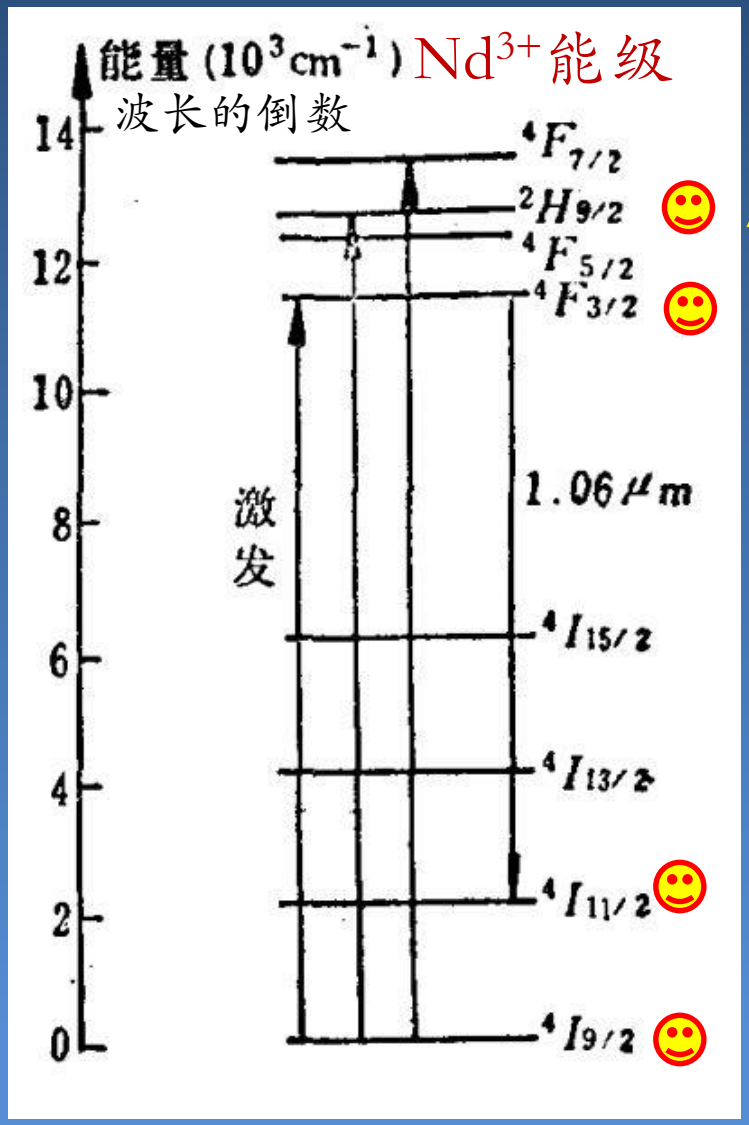
- 1. 工作物质（激活介质）
- Nd：YAG是一个典型的四能级系统。



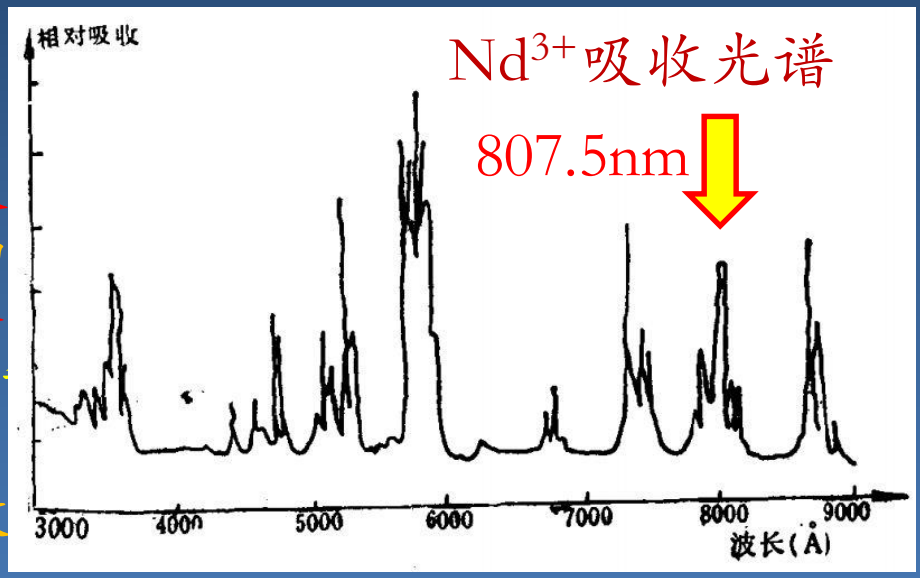
高能级
↓ 无辐
上能级
粒子
受激
1064nm
下能级
基态

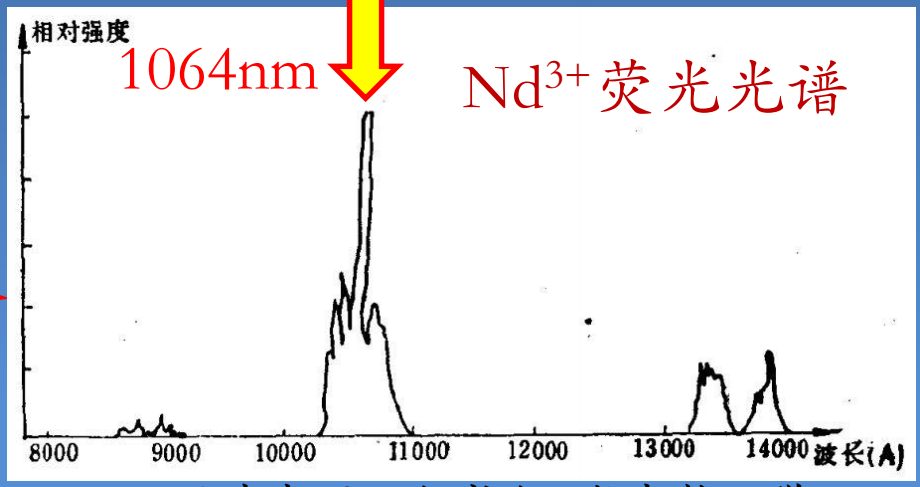


- 1. 工作物质（激活介质）
- Nd：YAG是一个典型的四能级系统。



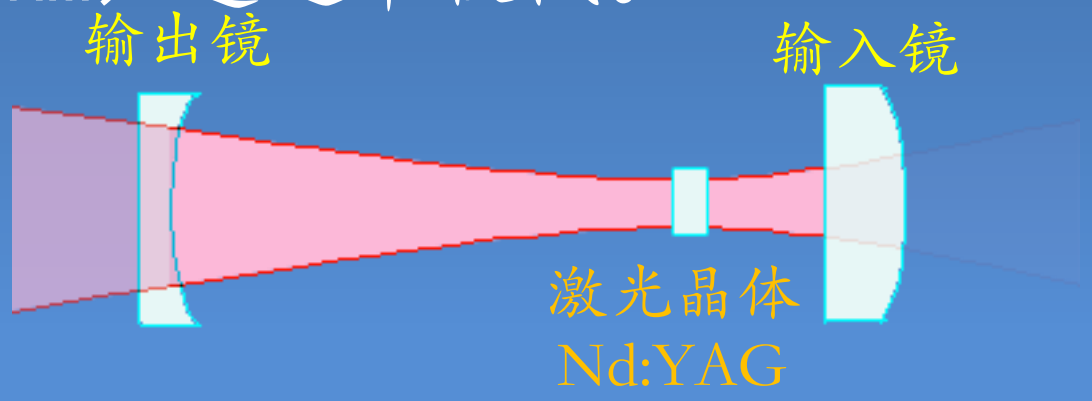
高能级
↓ 无辐
上能级
粒子
受激
1064nm
下能级
基态



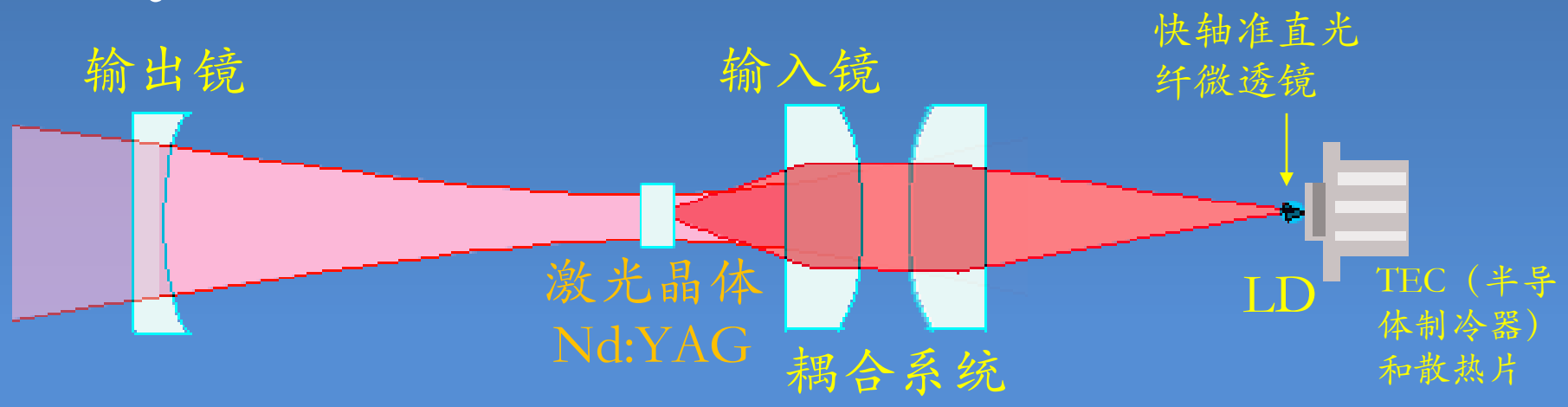


图片来源：伍长征. 激光物理学

- 2. 光学谐振腔
- 　　两个“反射镜”。近似看作一个凹面镜（左）和一个平面镜（右）。
- 　　输入镜同时也是凸透镜，输出镜同时也是凹透镜。但它们对输出激光（1064nm）透过率比较低。
- 　　输入镜可通过适当镀膜，使其对输入激光（807.5nm）透过率较高，同时对输出激光（1064nm）透过率较低。

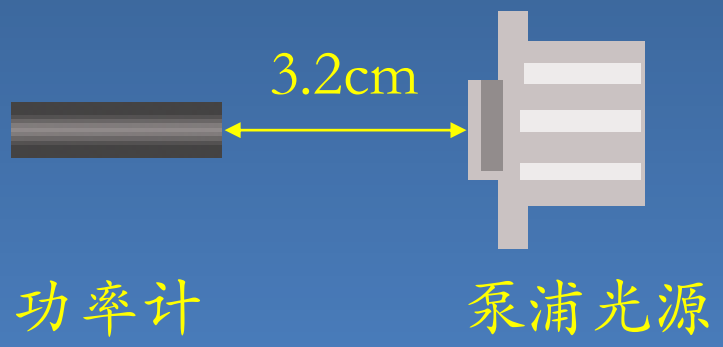


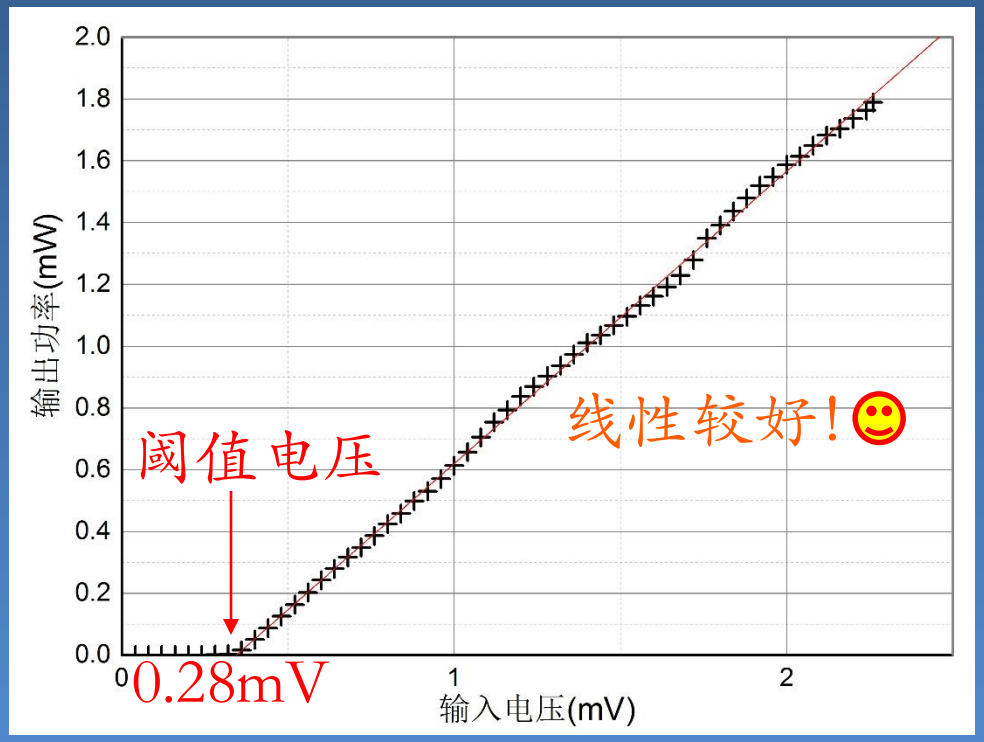
- 3. 激励能源（激励源）
- 激励方式：光激励。
- 采用半导体泵浦源。以激光二极管(LD)（代替闪光灯）泵浦固体激光介质。波长在807.5nm附近，与Nd^{3+}吸收峰匹配。
- LD的光束发散角较大，须对泵浦光束进行光束变换（耦合），使其聚焦在激光晶体上。



实验内容

- 一：808nm半导体泵浦光源的U-P曲线测量
- 调准直，使功率计示数最大，改变泵浦光源电源输入电压，测功率变化。

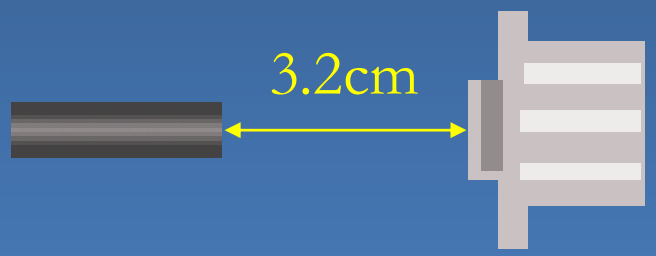




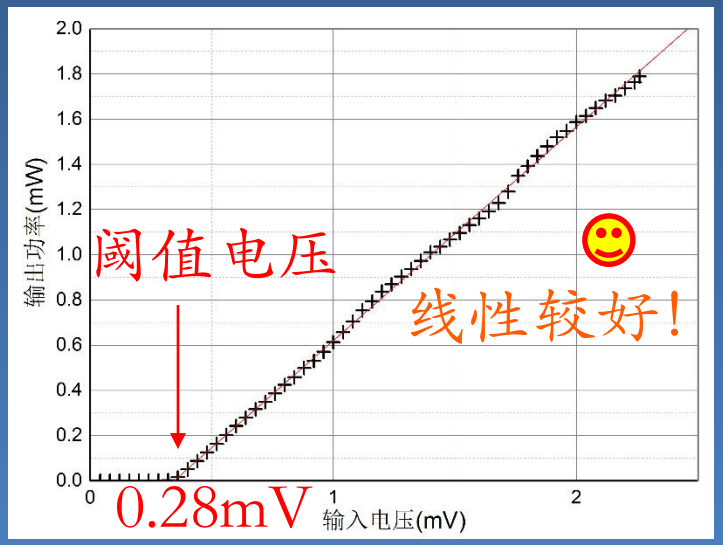
- 注：由于这里有用的只是功率的相对变化趋势，而不是绝对数值，所以准直条件与相对距离的选择影响不大。只要保持固定即可。

实验内容

- 一：808nm半导体泵浦光源的U-P曲线测量
- 调准直，使功率计示数最大，改变泵浦光源电源输入电压，测功率变化。



功率计　　泵浦光源



直线拟合结果$y = (0.946 \pm 0.004)x + (-0.326 \pm 0.006)$

实际恰好开始有读数时的电压（阈值电压）为0.28mV，

直线拟合所得阈值电压为（0.345±0.007）mV。

说明信号很小时线性程度较差。即斜率在阈值电压处不是突变的。

实验内容

- 二：光路准直调节（重难点！！）
- 调节方法总结：
- 1. 调泵浦光源角度

光屏上的光斑图案（远）

- 光屏远近平移前后，光斑中心在光屏上的位置基本不变。

实验内容

- 二：光路准直调节（重难点！！）
- 调节方法总结：
- 2. 调准直激光器平移、角度

准直激光器（远处调角度）　　准直激光器（近处调平移）

- 准直激光器在远近处发出的激光都刚好到达泵浦光源出光口中心。反复调节至少两次。

实验内容

- 二：光路准直调节（重难点！！）

- 调节方法总结：
- 3. 调耦合镜组平移、角度

- 调平移：泵浦光源经耦合镜组聚焦的光斑与准直激光器光斑重合（放置纸片观察）。
- 调角度：准直激光器光束经耦合镜组反射的光束回到准直激光器出光孔（放置纸片观察或直接观察出光孔周围光斑）。

实验内容

- 二：光路准直调节（重难点！！）

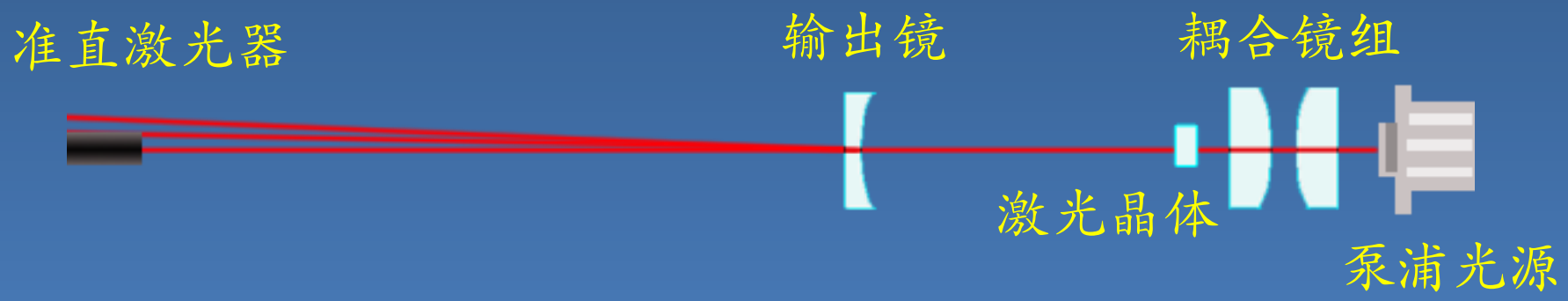
- 调节方法总结：
- 4. 调激光晶体（Nd:YAG）平移、角度

- 调前后位置：用纸片观察确定泵浦光源经耦合镜组聚焦位置，以此作为激光晶体的位置。
- 调平移：先目测（放置纸片观察光斑）使准直激光束照射到激光晶体中心；再细调使晶体反射的光斑为完整圆形（无明显缺失）。
- 调角度：准直激光器光束经激光晶体反射后光束回出光孔。

实验内容

- 二：光路准直调节（重难点！！）

- 调节方法总结：
- 5. 调输出镜平移、角度

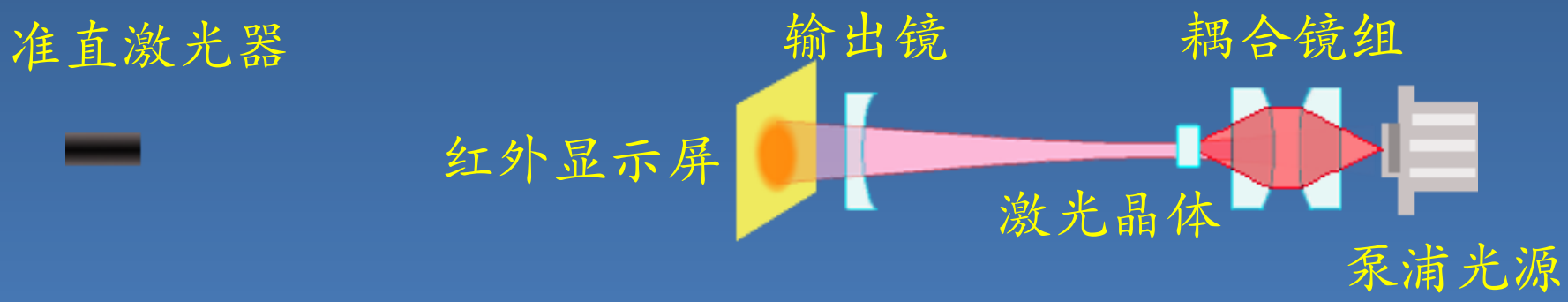


- 调平移：使准直激光器经输出镜前后两镜面分别反射形成的两个光束（光斑）重合。
- 调角度：准直激光器光束经输出镜反射后光束回出光孔。
- 注意：为了形成稳定腔，输出镜和耦合镜组的距离不能太远。

实验内容

- 二：光路准直调节（重难点！！）

- 调节方法总结：
- 6. 开泵浦光源，碰！运！气！



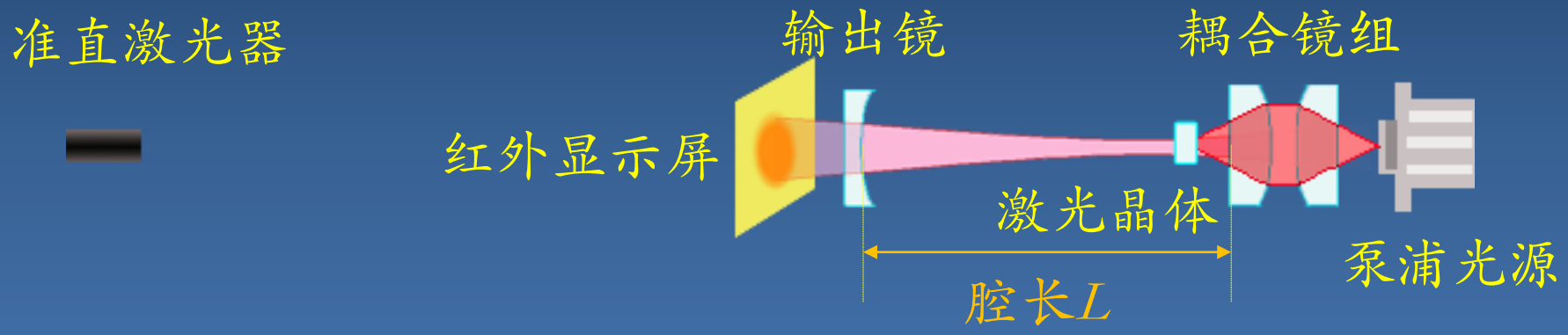
- 首先保护好左边的准直激光器，遮住出光孔！
- 打开右边的泵浦光源，输出镜左侧放置红外显示屏。运气好的话，会出现橙红色光斑，说明光路调好了！！光斑越亮说明调节得越好！！
- 运气不好的话，什么也看不到，那就只好逐个修正各元件的准直；几分钟内还出不来橙红色光斑，那就从头开始吧。。

实验内容

- 二：光路准直调节（重难点！！）
- 调节方法总结：
- 7. 谐振腔内加其他晶体时
- 与加入激光晶体时类似，调节平移和角度即可。
- 若出射镜已调节好，可以碰运气，先不拆下出射镜，直接调节新加入的晶体，看能不能输出相应的激光。
- 若光路中有出射镜时不易调好准直，可以先拆下出射镜，调节好新加入的晶体（倍频晶体或调Q晶体），然后再装上出射镜，调节出射镜的准直。
- 8. 准直的进一步微调
- 需要的话，可以在红外显示屏能观察到光斑的位置处放置功率计。以功率计监测示数最大为目标，依次微调输出镜角度，激光晶体平移、角度，耦合镜组平移、角度，激光晶体沿导轨方向位置（移动后再调平移、角度）。

实验内容

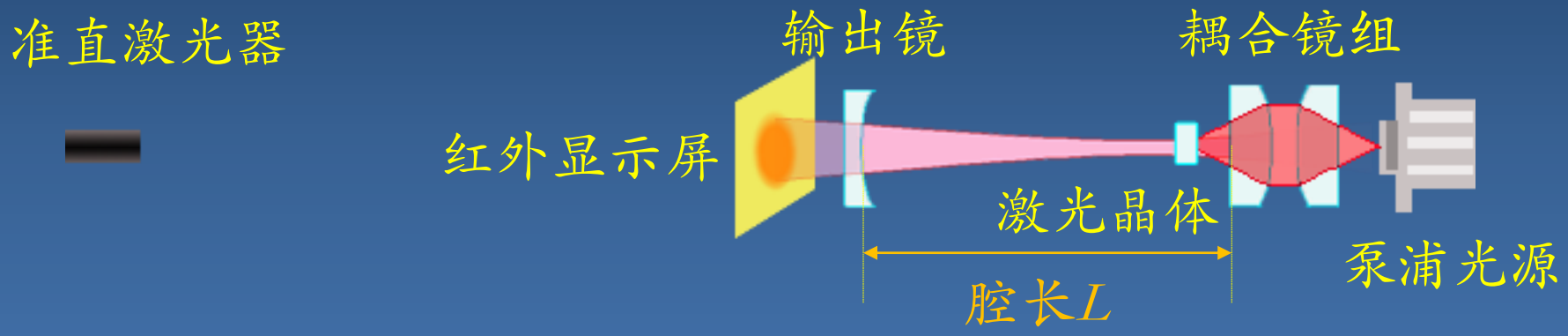
- 三：观察1064nm固体激光横模类型



- 调节到最佳时，只有一个圆形光斑，此为TEM_{00}模，即径向、角向节线数均为零。理论上，TEM_{00}模光场的角向分布为均匀分布，径向为高斯分布。对应的光束称为高斯光束。
- 实际上可能不仅仅存在TEM_{00}模，只是因为其他模式较弱，而不易观察到；或因各种横模混合在一起而无法分辨。
- 单独改变腔长L，对横模无明显影响。
- 改变输出镜角度，可以看到输出光束分裂成两个，偶尔可看到分裂成4个等等，分别对应为TEM_{01}和TEM_{02}模。

实验内容

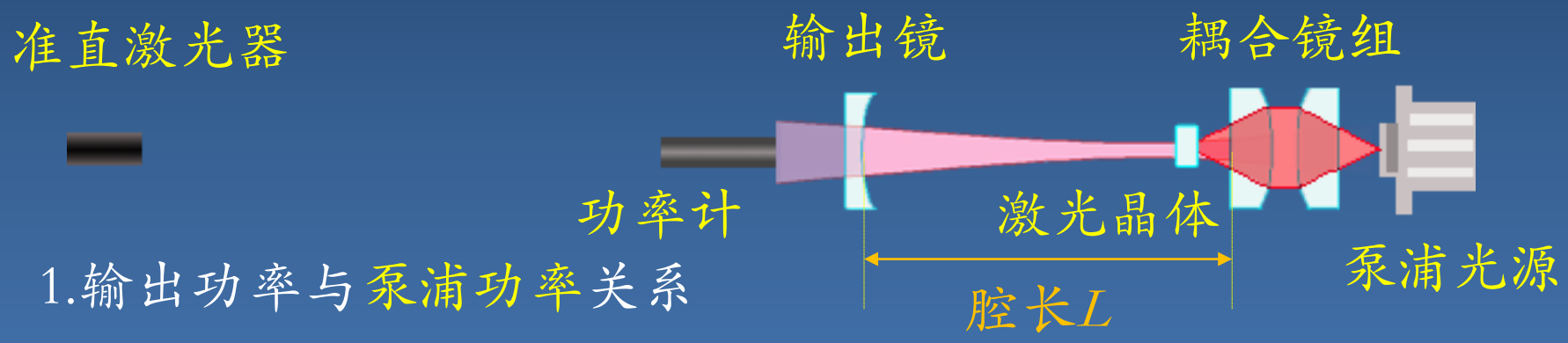
- 三：观察1064nm固体激光横模类型



- 改变输出镜角度，可以看到输出光束分裂成两个，偶尔可看到分裂成4个等等，分别对应为TEM_{01}和TEM_{02}模。
- 注意这里所说的横模已经仅仅表示节线数，实际上横向光场分布一般没有解析的形式。根据激光物理所学内容，一般共轴球面腔可以唯一地等价于某个对称共焦腔，从而横向光场分布为拉盖尔-高斯分布。
- 但是我们这里改变了输出镜角度，使得两个反射镜不再共轴，没有解析形式的严格解。所以有时也会出现无法命名的横模形式，比如只有三个光斑（角向三条不完整节线）。

实验内容

- 四：1064nm固体激光输出功率测量



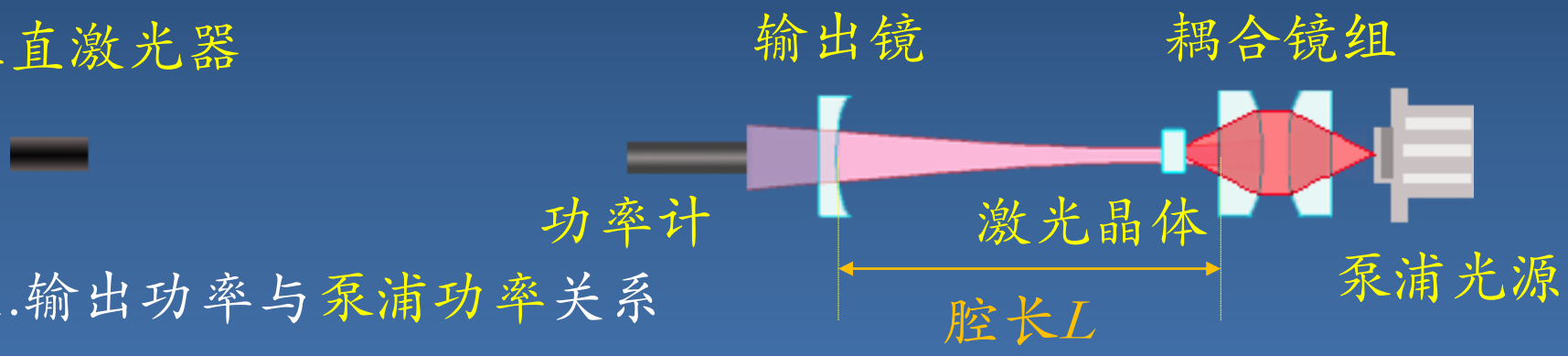
1.输出功率与泵浦功率关系

- 腔长分别固定为16.4cm和11.1cm。
- 功率计与输出镜距离固定为5.6cm。
- 改变泵浦光源的输入电压（由实验一已知泵浦光源的输出功率与输入电压大致呈线性关系），分别记录功率计示数。

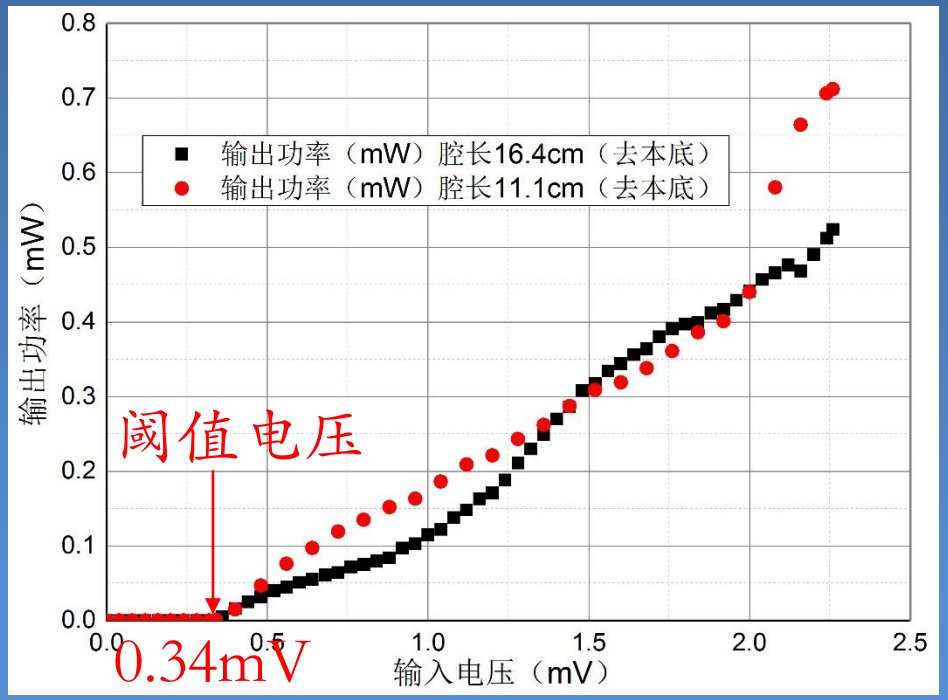
- 注意：功率计与输出镜距离不能太近。因为透过输出镜的光除了正常的1064nm固体激光（发散角较小）外，还有部分807.5nm半导体泵浦光源的激光（发散角较大）。

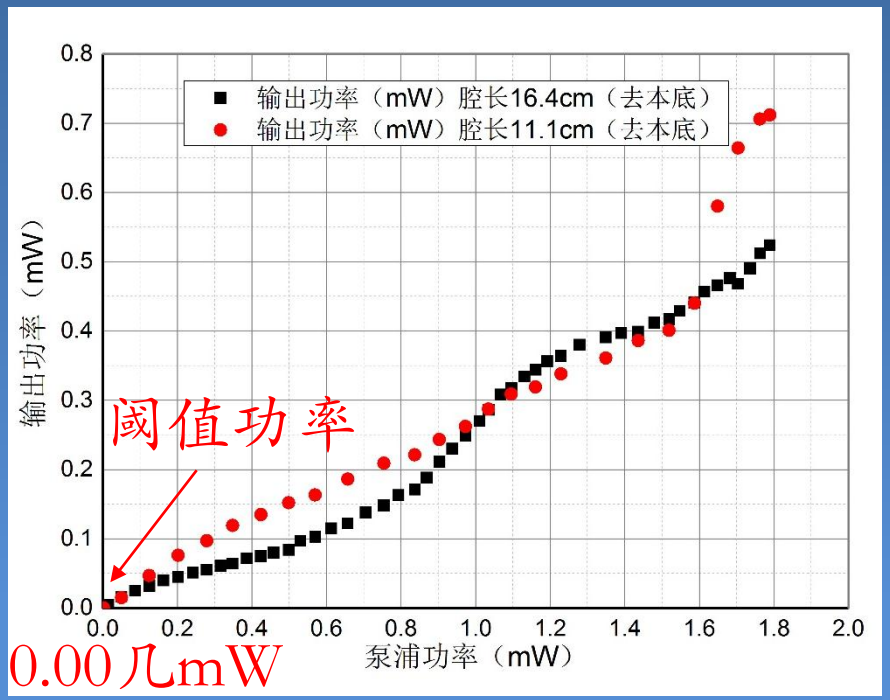
实验内容

- 四：1064nm固体激光输出功率测量



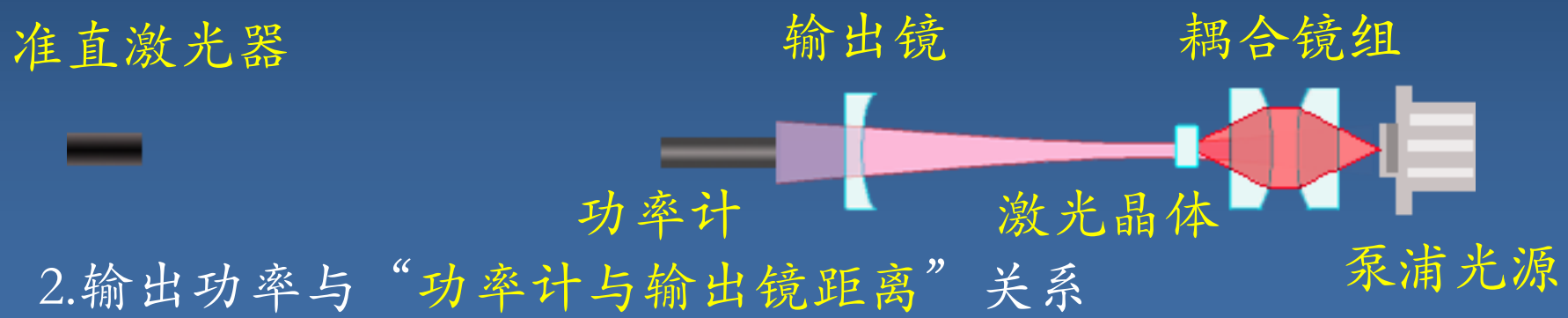
1.输出功率与泵浦功率关系





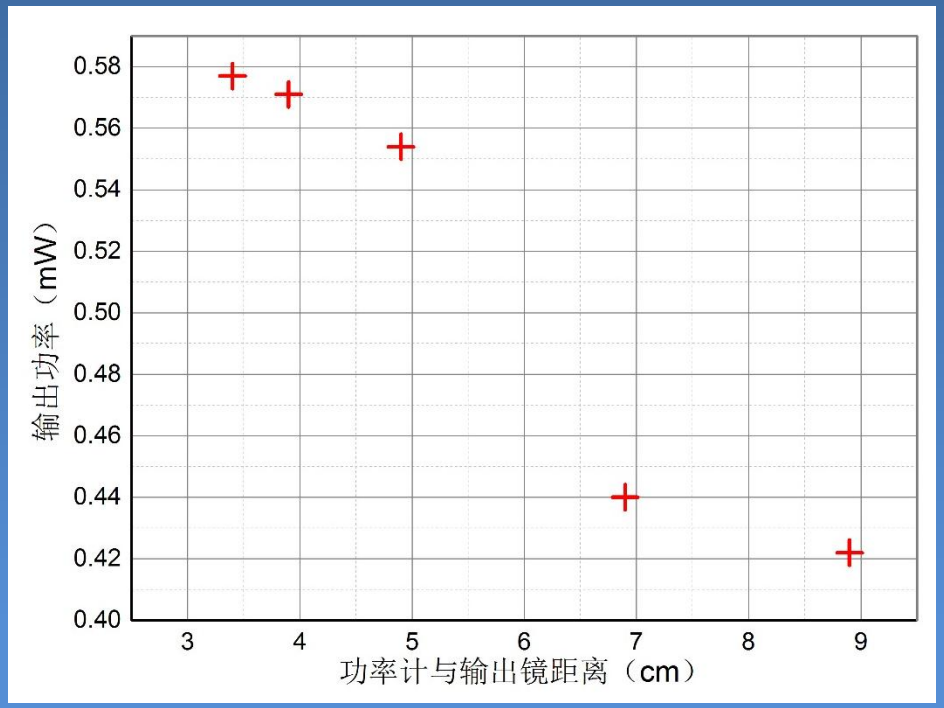
实验内容

- 四：1064nm固体激光输出功率测量



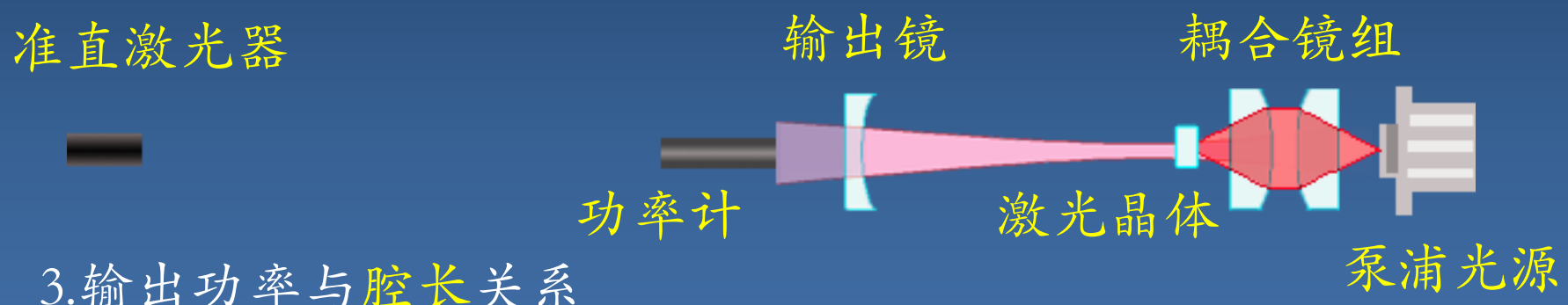
2.输出功率与“功率计与输出镜距离”关系

- 固定输入电压2.00mV。
- 固定腔长11.1cm。
- 现象：距离越远示数越小（原因显然）；但因为每次测量都要重新调节功率计角度，误差相对比较大。
- 总的来说，变化较平缓。（因为发散角较小）



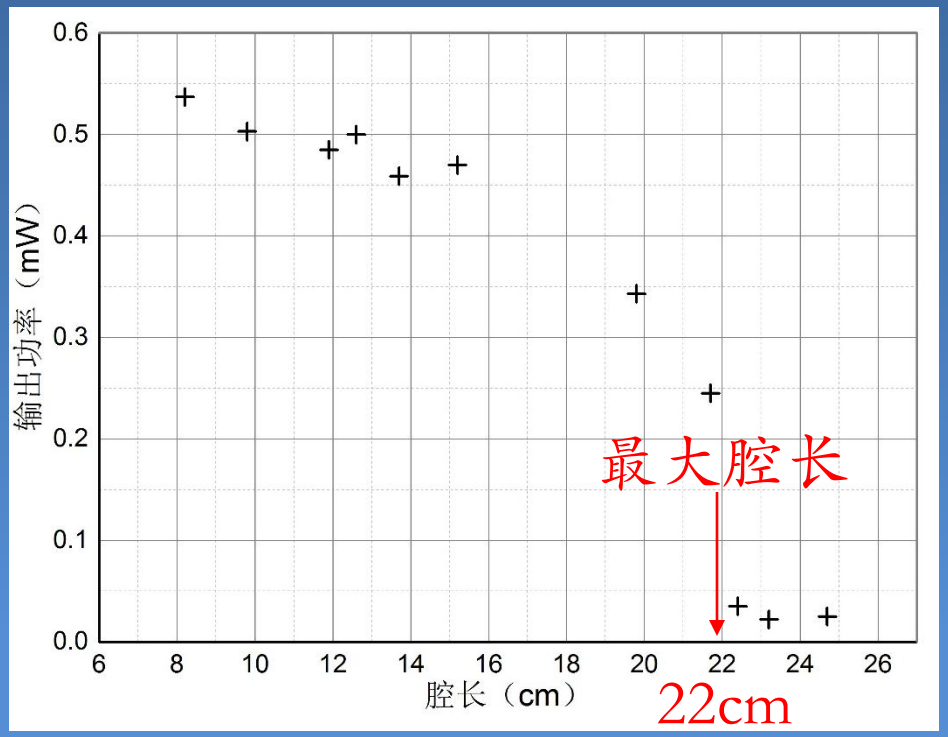
实验内容

- 四：1064nm固体激光输出功率测量



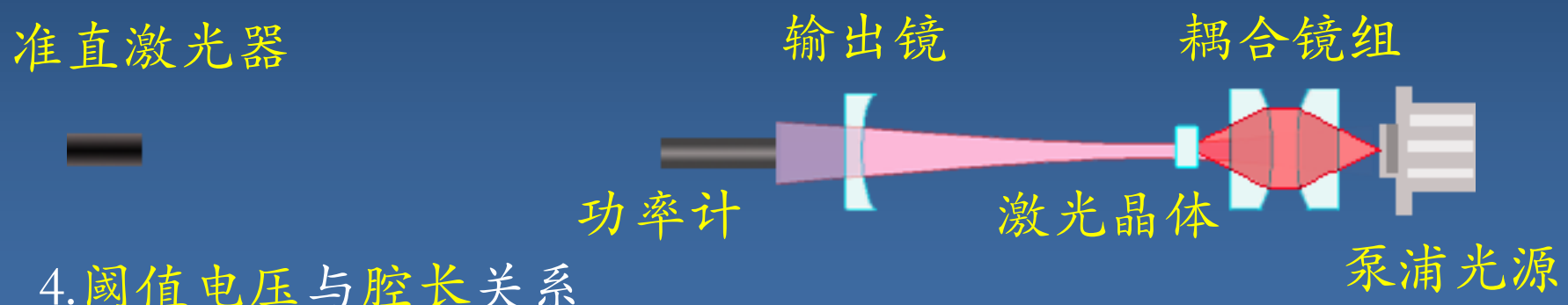
3.输出功率与腔长关系

- 固定输入电压2.00mV。
- 功率计与输出镜距离固定为5.6cm。
- 现象：腔长越大输出功率越小；但因为每次测量都要重新调节准直，误差相对比较大。保证输出功率较大的最大腔长约为22cm。



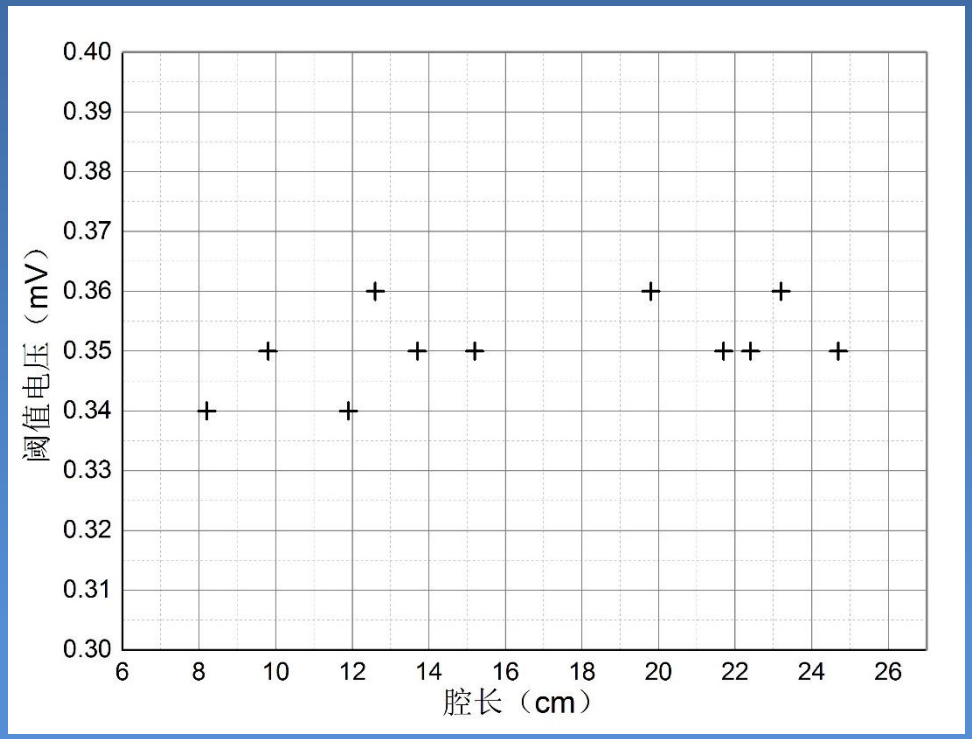
实验内容

- 四：1064nm固体激光输出功率测量



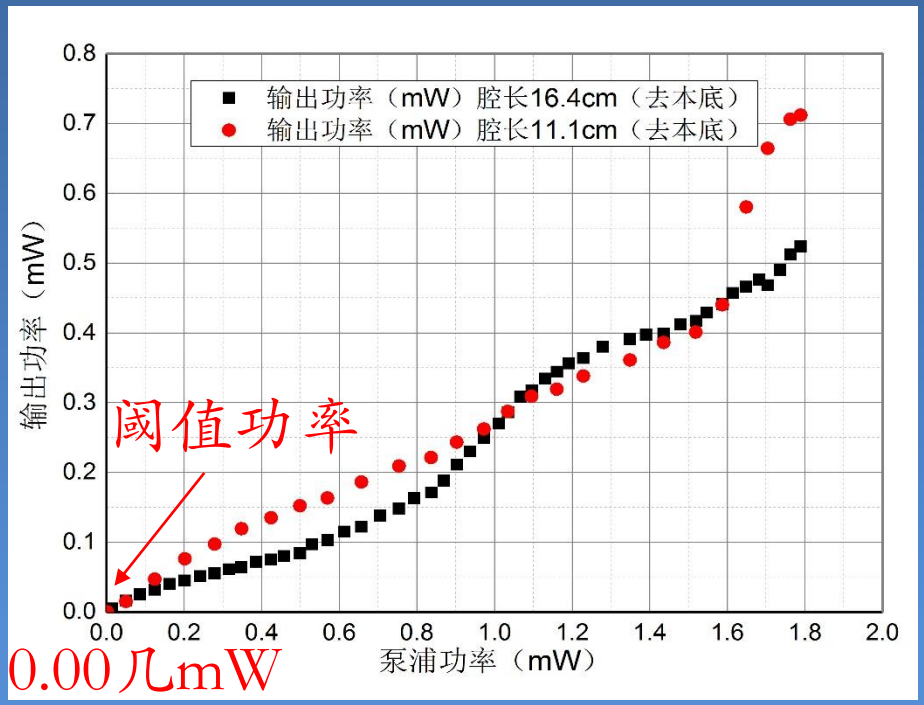
4.阈值电压与腔长关系

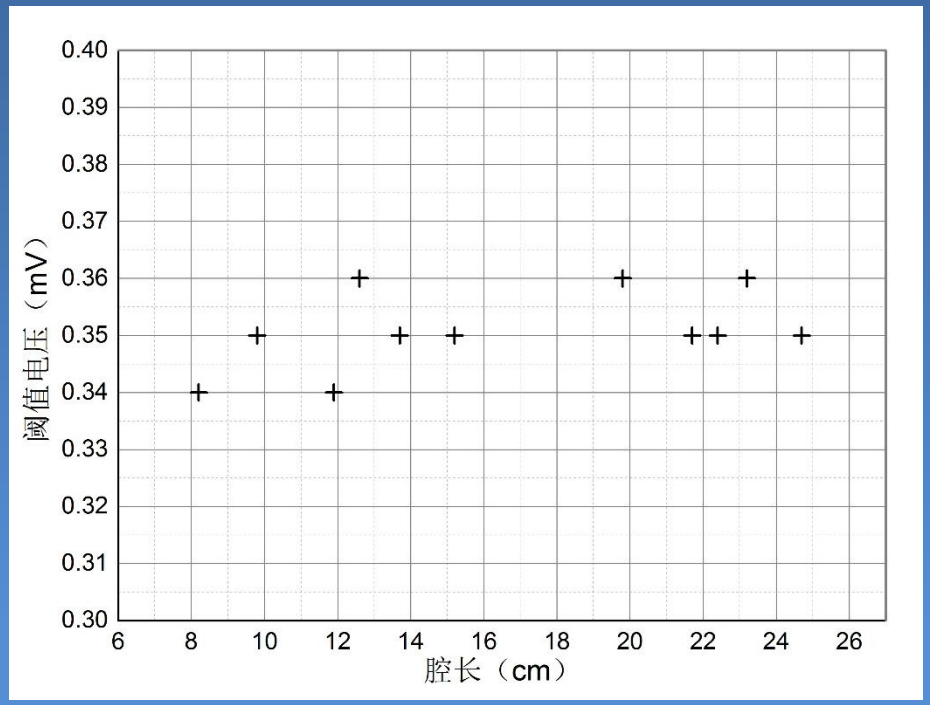
- 固定输入电压2.00mV。
- 功率计与输出镜距离固定为5.6cm。
- 现象：随腔长增大，阈值电压基本不变。



实验内容

- 四：1064nm固体激光输出功率测量
- 以上实验现象的原因分析：
- 1. 为什么阈值功率很小？
- 首先因为Nd:YAG是四能级系统，容易实现上下能级间的粒子数反转。（四能级系统容易实现粒子数反转→为什么？）





实验内容

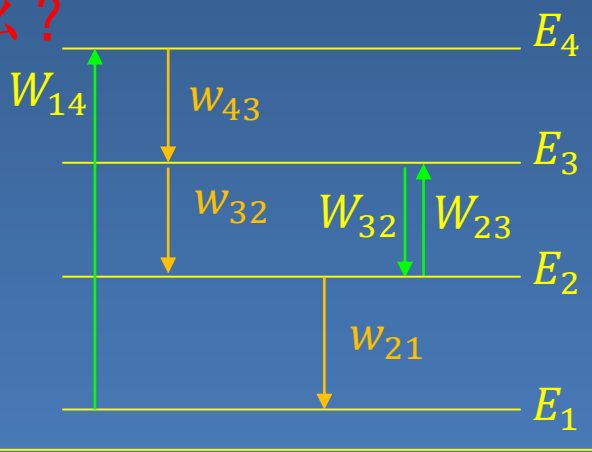
- 四：1064nm固体激光输出功率测量

- 以上实验现象的原因分析：
- 1. 为什么阈值功率很小？
- 四能级系统容易实现粒子数反转→为什么？
- 冗长的理论分析由此开始：

记弛豫几率$w=\frac{1}{\tau}$，τ为相应弛豫时间。

用W表示受激跃迁几率。

列出速率方程：



$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}N_4}{\mathrm{d}t}=W_{14}N_1-w_{43}N_4\,, \\ \dfrac{\mathrm{d}N_3}{\mathrm{d}t}=w_{43}N_4-w_{32}N_3-W_{32}N_3+W_{23}N_2=w_{43}N_4-w_{32}N_3-W_{32}\Delta N, \\ \dfrac{\mathrm{d}N_2}{\mathrm{d}t}=w_{32}N_3-w_{21}N_2+W_{32}N_3-W_{23}N_2=w_{32}N_3-w_{21}N_2+W_{32}\Delta N, \\ N_1+N_2+N_3+N_4=N_{总}\,. \end{cases}$$

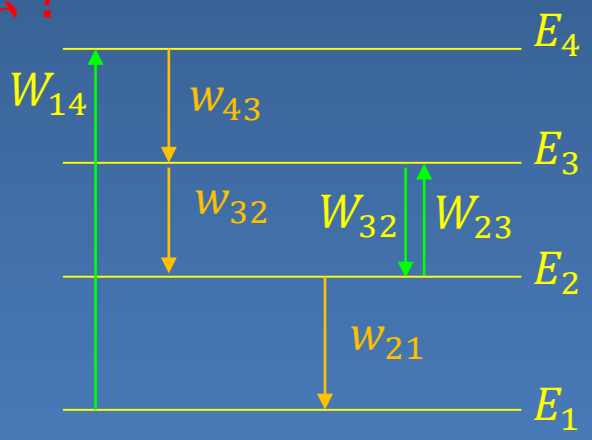
反转粒子数密度$\Delta N=N_3-N_2\frac{g_3}{g_2}$

实验内容

- 四：1064nm固体激光输出功率测量

- 以上实验现象的原因分析：
- 1. 为什么阈值功率很小？
- 四能级系统容易实现粒子数反转→为什么？

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}N_4}{\mathrm{d}t} = W_{14}N_1 - w_{43}N_4\,, \\ \dfrac{\mathrm{d}N_3}{\mathrm{d}t} = w_{43}N_4 - w_{32}N_3 - W_{32}\Delta N, \\ \dfrac{\mathrm{d}N_2}{\mathrm{d}t} = w_{32}N_3 - w_{21}N_2 + W_{32}\Delta N, \\ N_1 + N_2 + N_3 + N_4 = N_{总}\,. \end{cases}$$



平衡条件：$\dfrac{\mathrm{d}N_4}{\mathrm{d}t} = \dfrac{\mathrm{d}N_3}{\mathrm{d}t} = \dfrac{\mathrm{d}N_2}{\mathrm{d}t} = 0,$

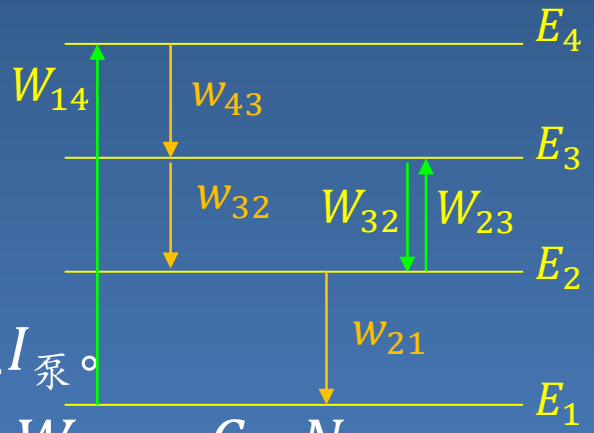
易解得平衡时$\Delta N = \dfrac{W_{14}N_1(\tau_{32} - \tau_{21}\frac{g_3}{g_2})}{1+W_{32}\tau_{32}} = \dfrac{W_{14}N_1\tau'_{32}}{1+W_{32}\tau_{32}} > 0$. 易实现反转。

由于E_3能级为亚稳态，$\tau_{32} \gg \tau_{21}$，故$\tau'_{32} \approx \tau_{32}$。

实验内容

- 四：1064nm固体激光输出功率测量

- 以上实验现象的原因分析：
- 1. 为什么阈值功率很小？
- 为什么仍然存在阈值功率？



平衡时$\Delta N = \dfrac{W_{14}N_1(\tau_{32}-\tau_{21}\frac{g_3}{g_2})}{1+W_{32}\tau_{32}} = \dfrac{W_{14}N_1\tau'_{32}}{1+W_{32}\tau_{32}} > 0.$

显然W_{14}正比于807.5nm泵浦功率，$W_{14} = C_{14}I_{泵}$。

显然W_{32}正比于腔内1064nm激光光子数密度，$W_{32} = C_{32}N_p$。

光子数密度变化率$\dfrac{\mathrm{d}N_p}{\mathrm{d}t} = \cancel{w_{32}N_3} + W_{32}\Delta N - \dfrac{N_p}{\tau_p}$，

删去第一项是因为弛豫过程产生的光为非相干光。

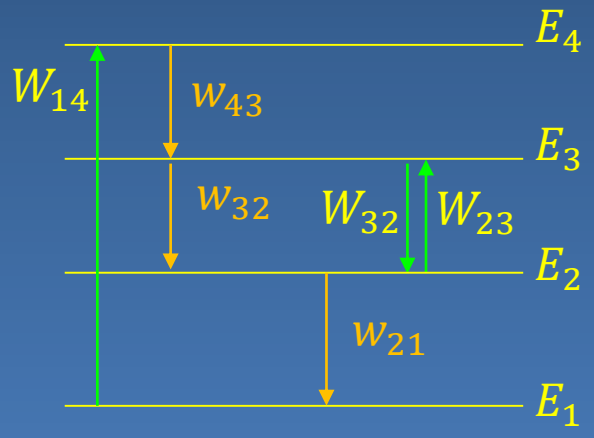
第三项中τ_p为腔内各种损耗对应的时间常数。

平衡时$\dfrac{\mathrm{d}N_p}{\mathrm{d}t} = N_p\left(C_{32}\Delta N - \dfrac{1}{\tau_p}\right) = 0$。

实验内容

- 四：1064nm固体激光输出功率测量

- 以上实验现象的原因分析：
- 1. 为什么阈值功率很小？
- 为什么仍然存在阈值功率？



平衡时$\Delta N = \dfrac{W_{14}N_1(\tau_{32}-\tau_{21}\frac{g_3}{g_2})}{1+W_{32}\tau_{32}} = \dfrac{W_{14}N_1\tau'_{32}}{1+W_{32}\tau_{32}} > 0.$

代入$\dfrac{\mathrm{d}N_p}{\mathrm{d}t} = N_p\left(C_{32}\Delta N - \dfrac{1}{\tau_p}\right) = 0$中。

并利用$W_{14} = C_{14}I_{泵}$，$W_{32} = C_{32}N_p$，

可得平衡时$N_p > 0$的等价条件为：$I_{泵} > \dfrac{1}{\tau_p N_1 C_{32} C_{14}\tau'_{32}}$（阈值功率）

此时输出光强功率正比于$N_p = \left(I_{泵} - \dfrac{1}{\tau_p N_1 C_{32} C_{14}\tau'_{32}}\right)\dfrac{\tau_p N_1 C_{14}\tau'_{32}}{\tau_{32}}$，

小于阈值功率时，输出光强功率正比于N_p =0.

实验内容

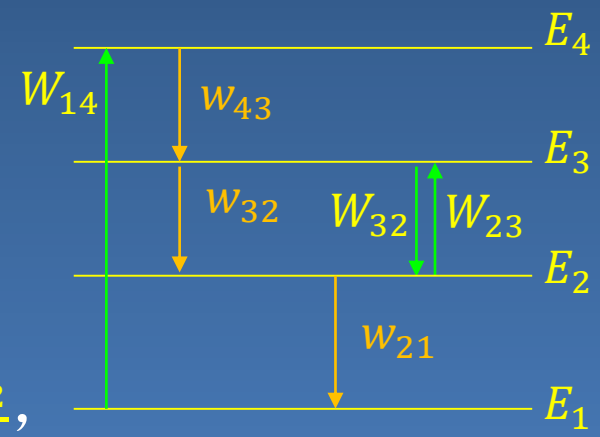
- 四：1064nm固体激光输出功率测量

- 以上实验现象的原因分析：
- 1. 为什么阈值功率很小？
- 为什么仍然存在阈值功率？

注意泵浦功率大于阈值功率时，

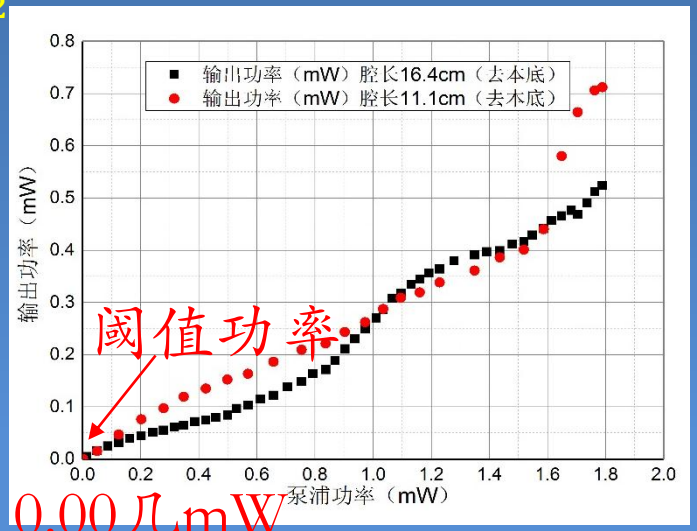
输出光强功率$I_{输出}$正比于N_p：

$$I_{输出} = CN_p = C\left(I_{泵} - \frac{1}{\tau_p N_1 C_{32} C_{14} \tau'_{32}}\right)\frac{\tau_p N_1 C_{14} \tau'_{32}}{\tau_{32}},$$



由此即得右图的理论公式，即应为线性关系，横截距（阈值功率）反比于$\tau_p N_1$，斜率正比于$\tau_p N_1$。

腔长增大时，一般损耗增大，τ_p减小，故应斜率减小，横截距增大。



实验内容

- 四：1064nm固体激光输出功率测量

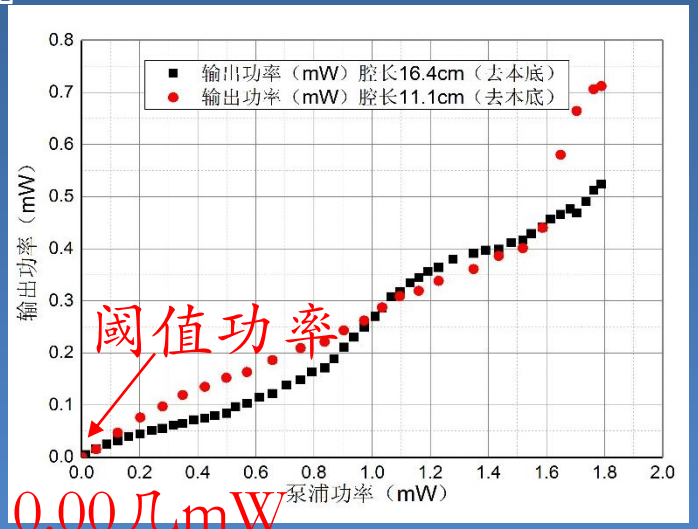
- 以上实验现象的原因分析：
- 1. 为什么阈值功率很小？

$$I_{输出} = CN_p = C\left(I_{泵} - \frac{1}{\tau_p N_1 C_{32} C_{14} \tau'_{32}}\right)\frac{\tau_p N_1 C_{14} \tau'_{32}}{\tau_{32}},$$

横截距（阈值功率）反比于$\tau_p N_1$，斜率正比于$\tau_p N_1$。

腔长增大时，一般损耗增大，τ_p减小，故应斜率减小，横截距增大。

之所以实验中看不出横截距的明显变化，是因为在功率很小时精度不够高。同时数据点的线性程度也不够高，甚至难以将阈值功率的结果精确到第一位有效数字。



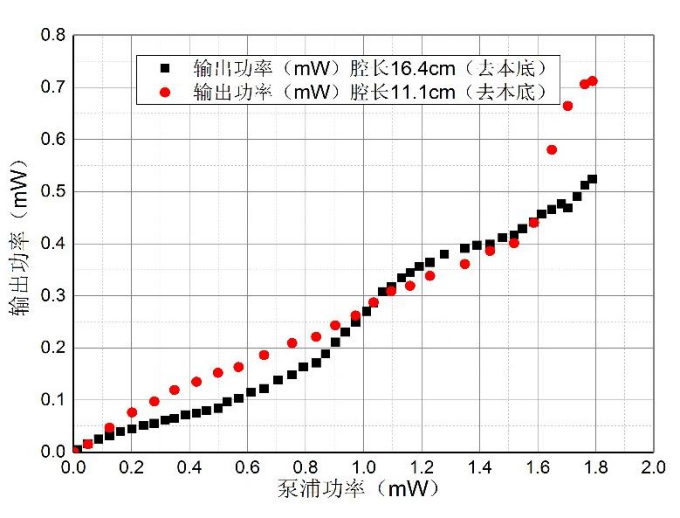
实验内容

- 四：1064nm固体激光输出功率测量

- 以上实验现象的原因分析：
- 2. 为什么图象线性程度不好，且出现交叉？

尚未找到很合理的解释。

首先从实验现象上看，功率计示数比较大时，波动范围也明显比较大。例如0.167mW的数据，可在其上下0.010mW的范围内波动，相对误差约6%。因为较长时间内数据不能稳定下来，只能取其波动的平均值。由此可见，理论上的严格稳定状态是很难达到的，体系一直处于动态变化中，波动较大。

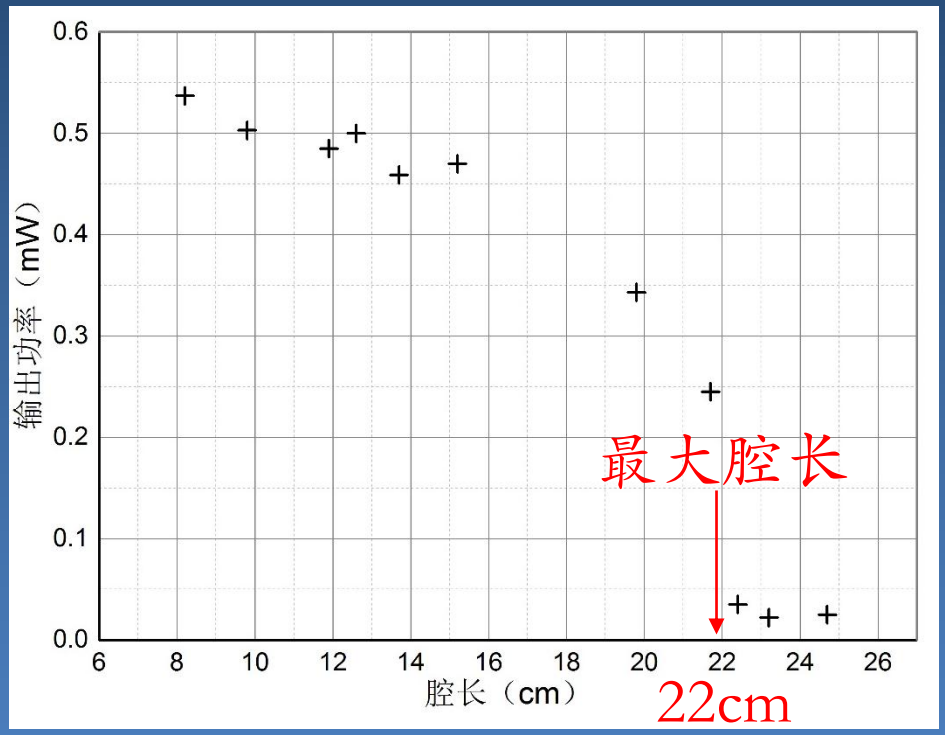


另外，可以发现数据的可重复性比较差。返回测量前面的数据时，有时两次结果相差也可达6%左右。且误差往往具有连续性，即偏大时则连续多个数据偏大，偏小时也如此。

实验内容

- 四：1064nm固体激光输出功率测量

- 以上实验现象的原因分析：
- 3. 输出功率与腔长关系的分析



腔长存在一个允许的最大值，对应于谐振腔的稳定条件。即近轴光线在腔内多次往返后不逸出腔外。

已知共轴球面腔的稳定条件：

$$0 < \left(1 - \frac{L}{R_1}\right)\left(1 - \frac{L}{R_2}\right) < 1.$$

其中L为腔长，R_1、R_2为谐振腔两反射镜的曲率半径。

由于腔长在小于最大腔长的一半时仍能形成稳定振荡，可以推测，最大腔长处对应成立$\left(1 - \frac{L}{R_1}\right)\left(1 - \frac{L}{R_2}\right) = 0$. 进一步还可以推测，最大腔长应该恰为曲率半径较小的凹面镜的曲率半径值。

实验内容

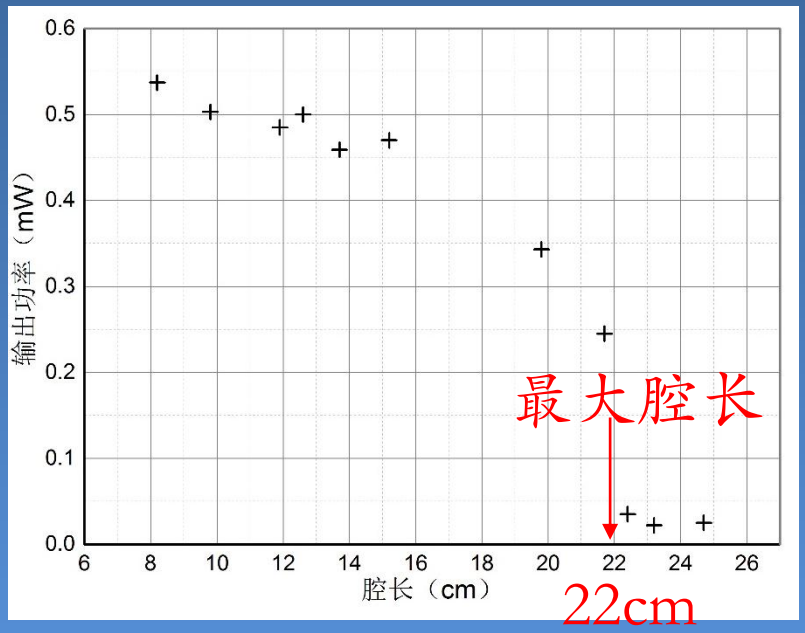
- 四：1064nm固体激光输出功率测量

- 以上实验现象的原因分析：
- 3. 输出功率与腔长关系的分析

$$I_{输出} = CN_p = C\left(I_{泵} - \frac{1}{\tau_p N_1 C_{32} C_{14} \tau'_{32}}\right)\frac{\tau_p N_1 C_{14} \tau'_{32}}{\tau_{32}},$$

腔长增大时，一般损耗增大，τ_p减小，故输出功率减小。

但是这里已假定谐振腔长总能恰好满足1064nm激光的某一纵模。因此还需验证这一假定是否可靠。方法是估计相邻模之间的频率差（或波长差）。



实验内容

- 四：1064nm固体激光输出功率测量

- 以上实验现象的原因分析：
- 3. 输出功率与腔长关系的分析

下面尝试估计谐振腔相邻模之间的频率差（或波长差）。

先猜测输入镜为平面镜，输出镜为曲率半径为22cm的凹面镜。

即$R_1 = \infty$，$R_2 = 22\text{cm}$。假定准直调节很好，则为共轴球面腔。

则其等价对称共焦腔的原点（束腰位置）恰好在平面镜处，实际腔长为L时，由$R_2 = L + \frac{f^2}{L}$，

[注：因为对称共焦腔等相位面的曲率半径$R(z) = z + \frac{f^2}{z}$.]

可得等价共焦腔腔长为$L' = 2f = 2\sqrt{L(R_2 - L)}$.

借用方形共焦腔的相位沿z轴分布公式（x=y=0时）

$\varphi_{\text{mn}}(z) = kz + (m + n + 1)\arctan(f/z)$,

实验内容

- 四：1064nm固体激光输出功率测量

- 以上实验现象的原因分析：
- 3. 输出功率与腔长关系的分析

等价共焦腔腔长为$L' = 2f = 2\sqrt{L(R_2 - L)}$.

借用方形共焦腔的相位沿z轴分布公式（x=y=0时）

$\varphi_{\mathrm{mn}}(z) = kz + (m + n + 1)\arctan(f/z)$,

得实际两镜面相位差（这里横模暂用方形腔定义，实际为圆形）

$$\Delta\varphi_{\mathrm{mn}} = kL + (m + n + 1)\left[\arctan\left(\sqrt{\frac{R_2 - L}{L}}\right) - \frac{\pi}{2}\right].$$

第q个纵模应满足$2\Delta\varphi_{\mathrm{mn}} = 2\pi q$. 而$k = \frac{2\pi\nu}{c}$, 可解得谐振频率

$$\nu = \frac{c}{2L}\left\{q + (m + n + 1)\left[\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi}\arctan\left(\sqrt{\frac{R_2 - L}{L}}\right)\right]\right\}.$$

实验内容

- 四：1064nm固体激光输出功率测量
- 以上实验现象的原因分析：
- 3. 输出功率与腔长关系的分析

谐振频率$\nu = \frac{c}{2L}\{q + (m+n+1)[\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi}\arctan\left(\sqrt{\frac{R_2 - L}{L}}\right)]\}.$

相邻纵模频率差为$\Delta\nu_q = \frac{c}{2L},$

相邻横模频率差为$\Delta\nu_n = \frac{c}{2L}[\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi}\arctan\left(\sqrt{\frac{R_2 - L}{L}}\right)] < \frac{c}{4L}.$

相邻纵模$\Delta\lambda_q = \frac{\lambda^2\Delta\nu_q}{c} = \frac{\lambda^2}{2L}$, 如取$L = 15\text{cm}$, 则$\Delta\lambda_q$ =0. 004nm.

相邻横模$\Delta\lambda_n = \frac{\lambda^2\Delta\nu_n}{c} < \frac{\lambda^2}{4L}$, 如取$L = 15\text{cm}$, 则$\Delta\lambda_n$ <0. 002nm.

因此完全可能有多个纵模或多个横模同时振荡
（只要激光晶体的自然加宽和碰撞加宽等足够大）。

实验内容

- 四：1064nm固体激光输出功率测量
- 以上实验现象的原因分析：
- 3. 输出功率与腔长关系的分析

由谐振频率$\nu = \frac{c}{2L}\{q + (m+n+1)[\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi}\arctan\left(\sqrt{\frac{R_2 - L}{L}}\right)]\}.$

也可求出固定1064nm波长时的谐振腔长：

$$L = \frac{\lambda}{2}\{q + (m+n+1)[\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi}\arctan\left(\sqrt{\frac{R_2 - L}{L}}\right)]\}.$$

相邻纵模腔长差为$\Delta L_q = \frac{\lambda}{2}$,

因此腔长几乎是允许连续变化的。

实验内容

- 四：1064nm固体激光输出功率测量

- 以上实验现象的原因分析：
- 3. 输出功率与腔长关系的分析

另外随腔长增大，输出光的发散角增大，也可导致功率计示数下降。

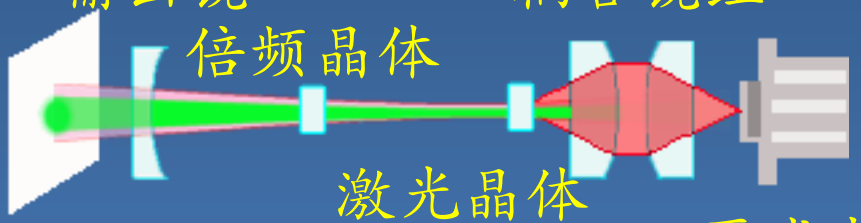
仍按前面假定，设输入镜为平面镜，则此处为束腰位置，且随腔长增大，束腰位置不变；而距离束腰位置越远处，光场分布越分散，所以功率计同等面积内接收到的光束能量越小。

实验内容

- 五：固体激光倍频效应观察研究

- 现象：白屏上看到明亮的绿色光斑。

准直激光器

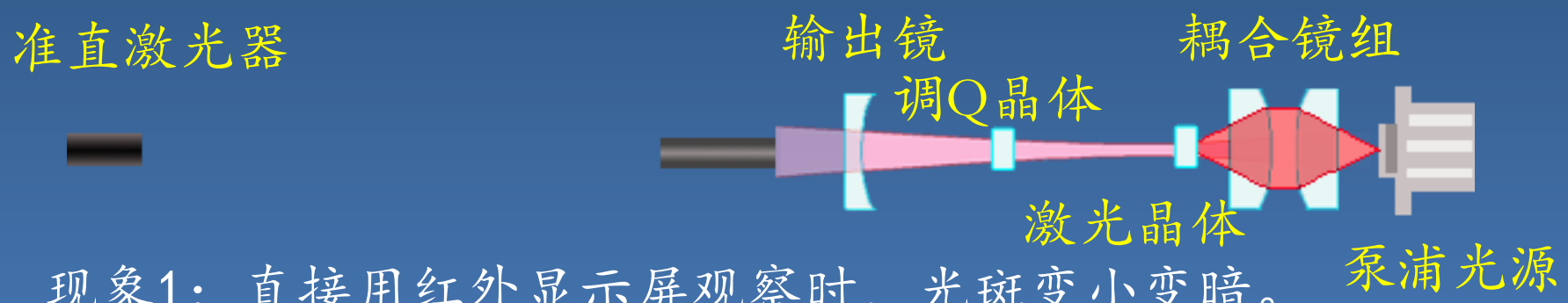


- 原因：由于非线性效应中的倍频效应，1064nm红外光作用在倍频晶体上，产生二倍频率的532nm绿色光。
- 简单解释：倍频效应是由于倍频晶体的响应（辐射出的光）与激励（接受到的光）不是简单的线性关系，而是存在二次项。例如接受光场$E = E_0 \cos \omega t$, 辐射出的光场$E' = C_0 + C_1 E + C_2 E^2$, 其中第三项的频率为$2\omega$。
- 类似地，非线性效应还有和频、差频（积化和差公式）等。但在光学上不如倍频效应容易实现。

实验内容

- 六：固体激光被动调Q测量研究

- 加入调Q晶体。



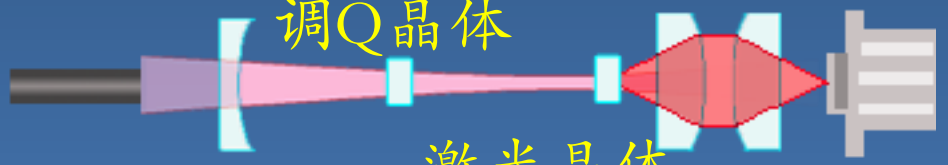
- 现象1：直接用红外显示屏观察时，光斑变小变暗。
- 现象2：用功率计测量时，示数明显变小，且波动现象更严重，图象线性程度更差。
- 现象3：用快速探测器接收输出光，用示波器观察时，发现信号为脉冲信号，周期约0.3ms，脉冲宽度约0.5μs。而去掉调Q晶体时，观察不到这种周期性信号。
- 初步结论：加入调Q晶体后，由连续输出变成了脉冲输出。比较前后数据可发现，平均输出功率下降，但最大瞬时功率增大。

实验内容

- 六：固体激光被动调Q测量研究

- 加入调Q晶体。

准直激光器

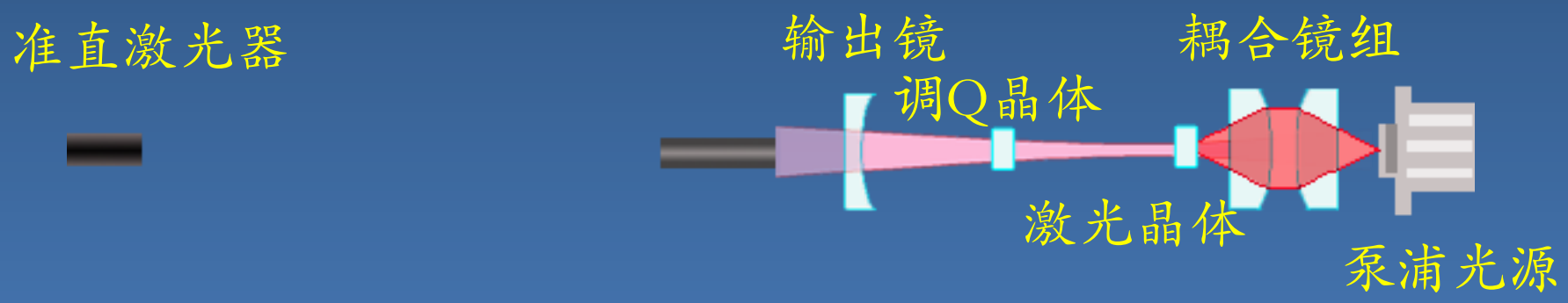


- 简单解释：调Q晶体在光强弱时吸收系数大，光强较强时吸收系数小。所以光强较弱时，可以将反转粒子数积累得很大，当光强逐渐加强到一定值时，吸收系数突然下降，于是光强迅速增强，且因为反转粒子数已经积累很多，瞬时光强可以达到很大。很强的光强可以在很短时间内消耗掉反转粒子数，使光强回到较弱状态，调Q晶体吸收系数又变大，这样就完成了一个脉冲周期。

实验内容

- 六：固体激光被动调Q测量研究

- 加入调Q晶体。



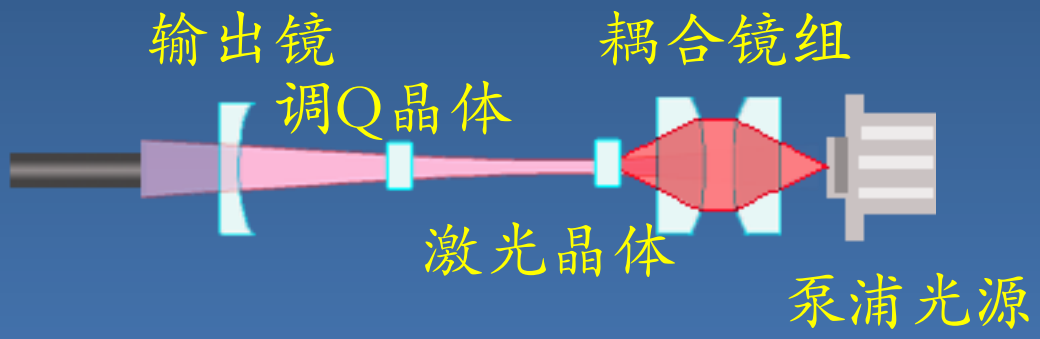
- 简单解释：所谓调Q，是指该晶体可改变谐振腔的品质因素Q。实现方式就是自动改变谐振腔内总的吸收系数。
- 　　之所以功率计探测到的示数下降，人眼观察到的光斑强度也下降，是因为调Q晶体使总的吸收系数增加，即下式中的τ_p减小，从而导致输出光强的时间平均值下降。（脉冲周期很小）
- $I_{输出} = CN_p = C\left(I_{泵} - \frac{1}{\tau_p N_1 C_{32} C_{14} \tau'_{32}}\right)\frac{\tau_p N_1 C_{14} \tau'_{32}}{\tau_{32}}$

实验内容

- 六：固体激光被动调Q测量研究

- 加入调Q晶体。

准直激光器

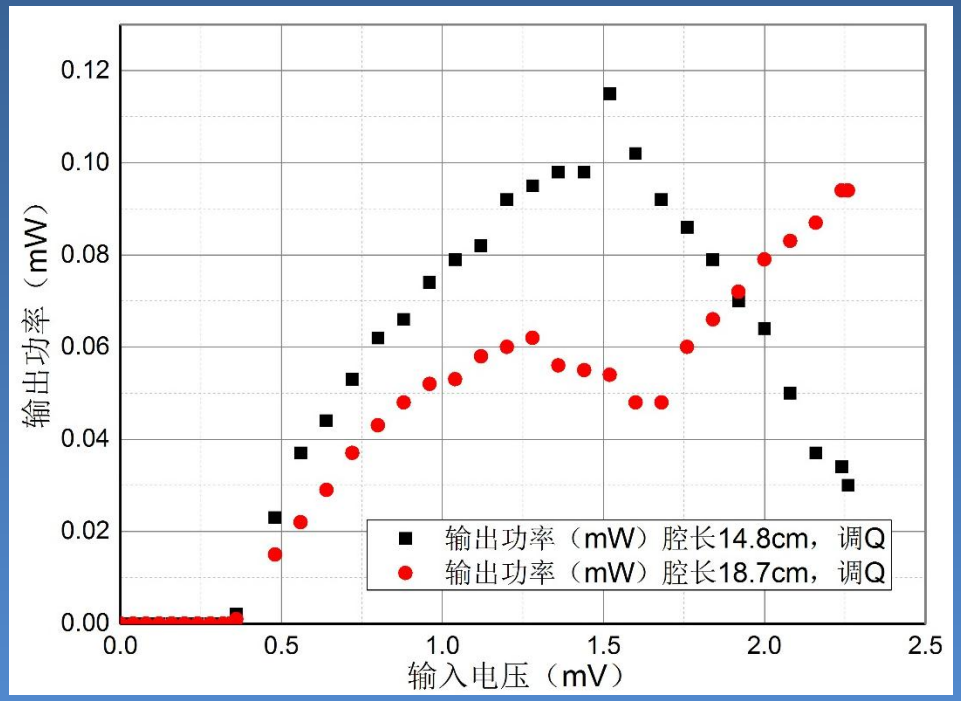


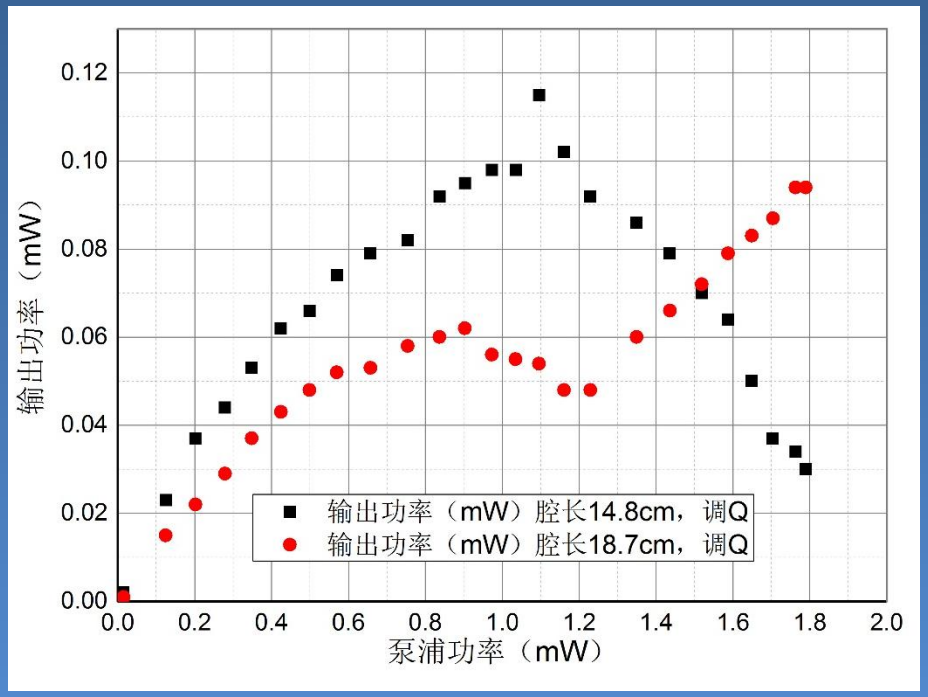
- 简单解释：人眼观察到的光斑尺寸变小，一方面是因为输出光强下降，另一方面是因为添加了调Q晶体后在垂直于光轴方向上多了一个约束条件，限制了光场的横向分布范围。
- 之前添加倍频晶体时同样有光斑变小的现象。

实验内容

- 六：固体激光被动调Q测量研究

- 1.平均输出功率与泵浦功率关系





实验内容

- 六：固体激光被动调Q测量研究

- 2.快速探测器测量结果

输入电压（mV）	两峰间距（重频周期）（μs）	信号半高宽（ns）	最大信号（mV）
1.76	-	-	0（阈值）
1.80	710	548	248
2.00	359	514	234
2.26	294	513	242

结论：1.泵浦功率越大，则重频周期越小，即相邻两次脉冲的间距越小。

2.泵浦功率越大，则信号半高宽越小，即单次脉冲的时长较小。

3.最大信号强度与输入电压的关系不明显。

4.出现较大阈值电压，可能只是因为示波器时间参数选择不合理。

参考文献

[1]固体激光原理与技术综合实验 实验讲义.大恒新纪元科技股份有限公司.

[2]伍长征. 激光物理学[M]. 上海：复旦大学出版社. 1989.

谢谢大家！

李雪阳　　合作者：林汉冰
12307130102