

虚实结合的实验教学

<http://phylab.fudan.edu.cn>

乐永康

复旦大学物理教学实验中心

2016.1.22

困惑

- “虚”：虚拟仿真
- 建设虚拟仿真实验的指导思想：
 - 补充高危、易耗、高成本实验；
 - 能实不虚！

替换关系！

如何保证实验教学效果？

- 使用：以辅助预习、考试为主
- 国家级物理虚拟仿真实验教学中心：
 - 中科大（2013）、山东师范和西南大学（2014）

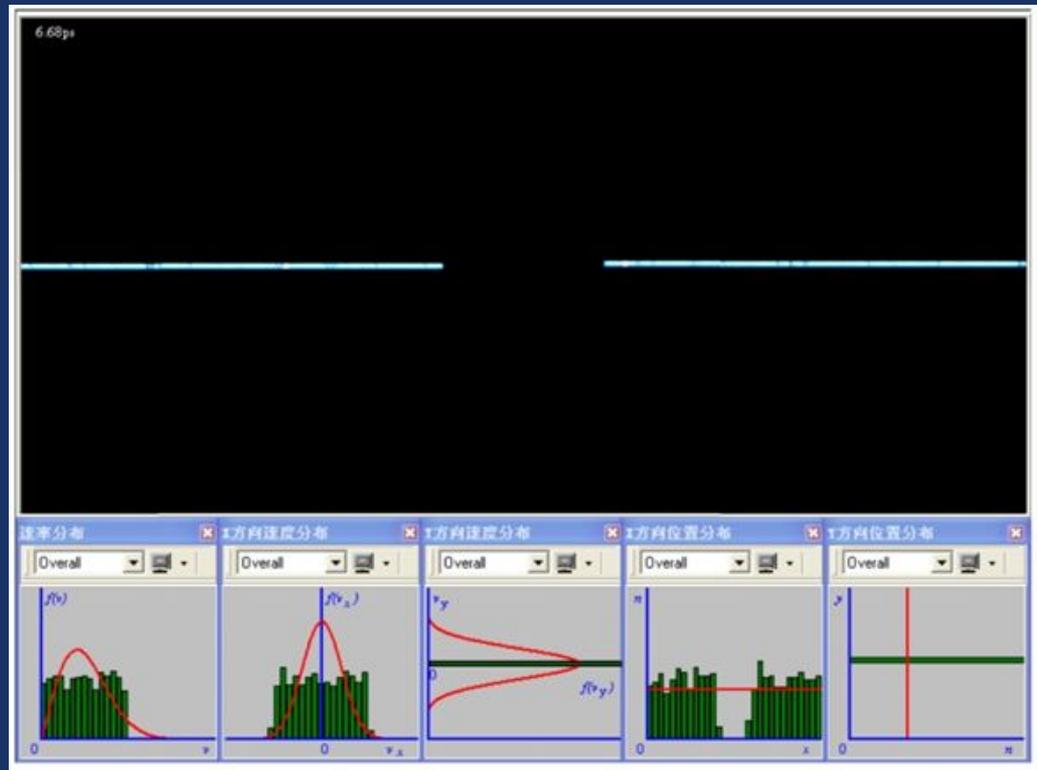
需求

- 学生对实验理解不深
- 实验训练效果不理想
- 虚拟仿真和实验训练如何取长补短，有机结合？

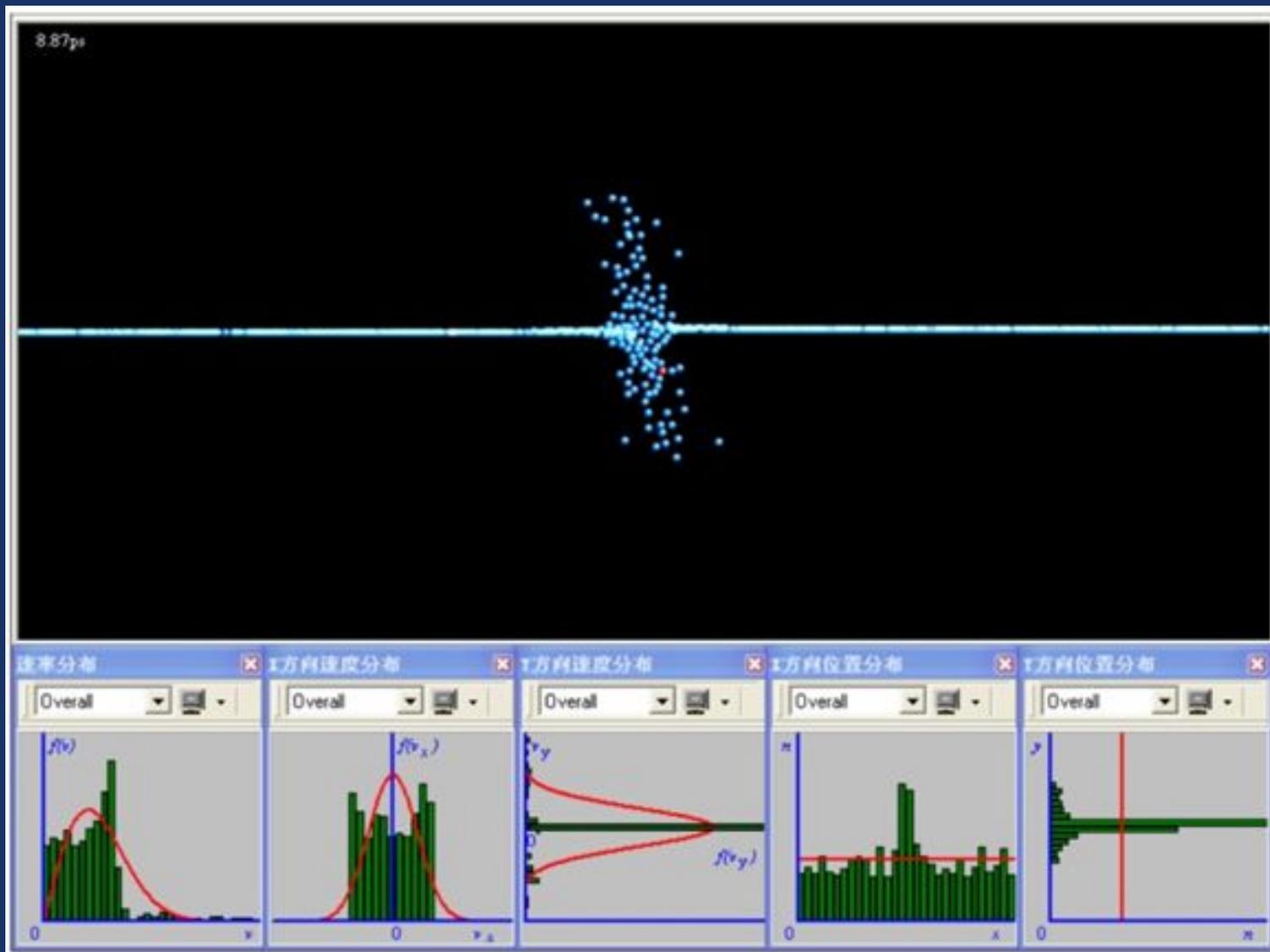
虚实结合！

建设历程

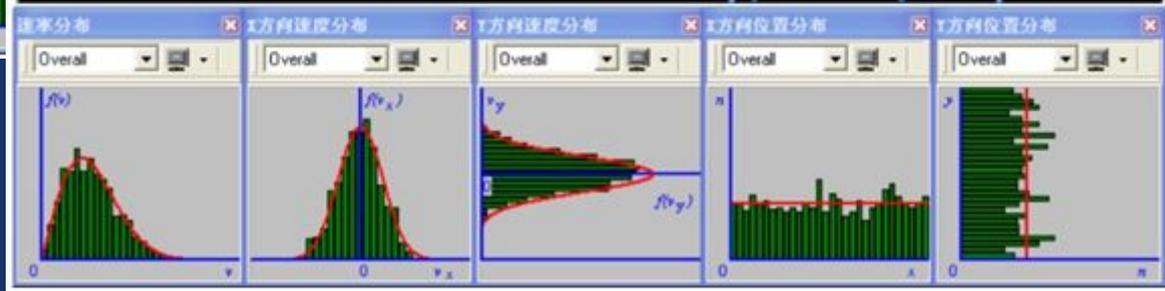
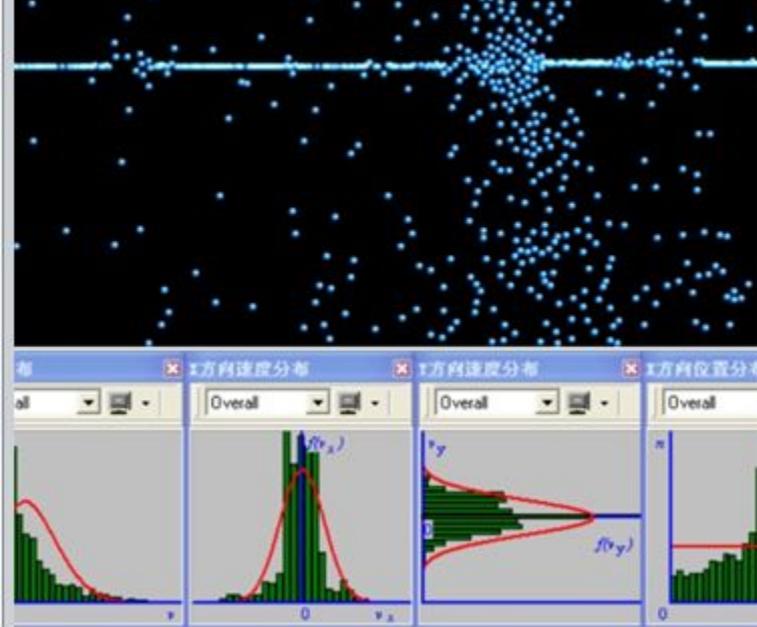
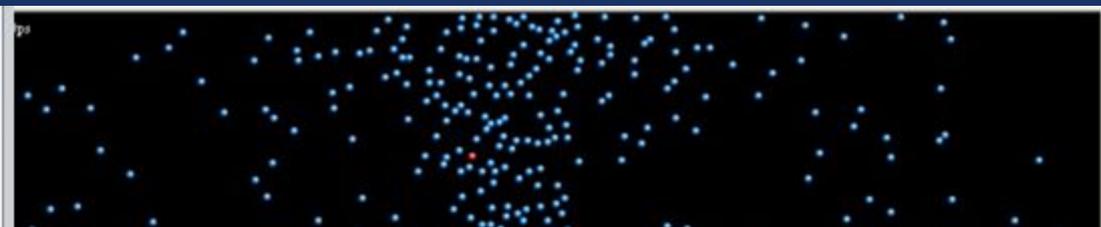
- 上世纪九十年代：钟万衡老师开发“物理CAI课件”
 - 单一速度的分子体系通过碰撞达到统计平衡的时间



分子碰撞



分子碰撞

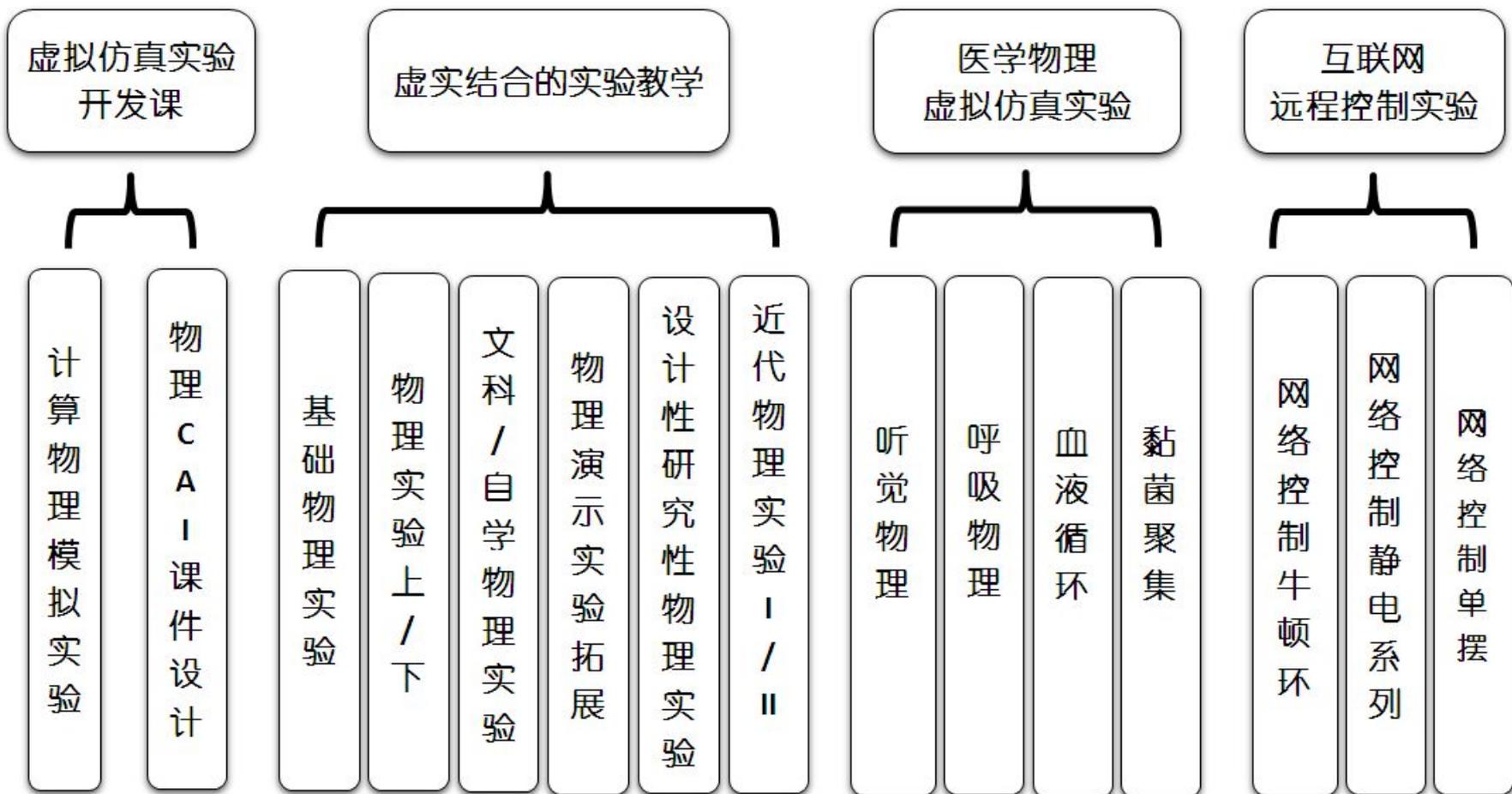


101ps后的分布

理念

- 用虚拟仿真技术来揭示无法用实验来实现的内容、物理
- 加深、拓展学生对物理的理解

虚拟仿真实验课程体系



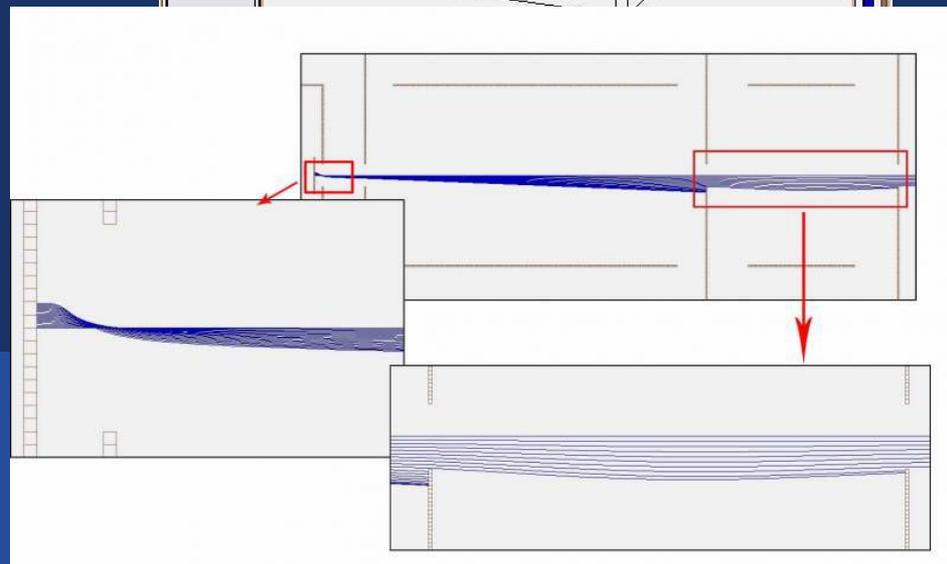
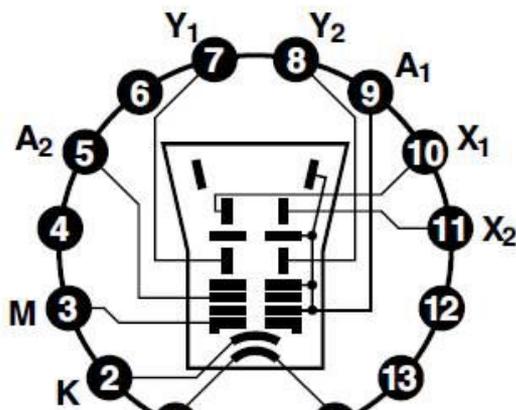
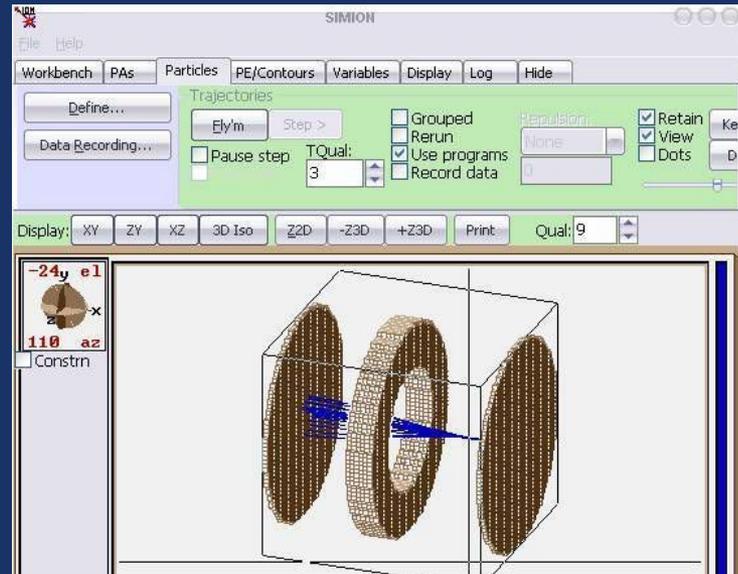
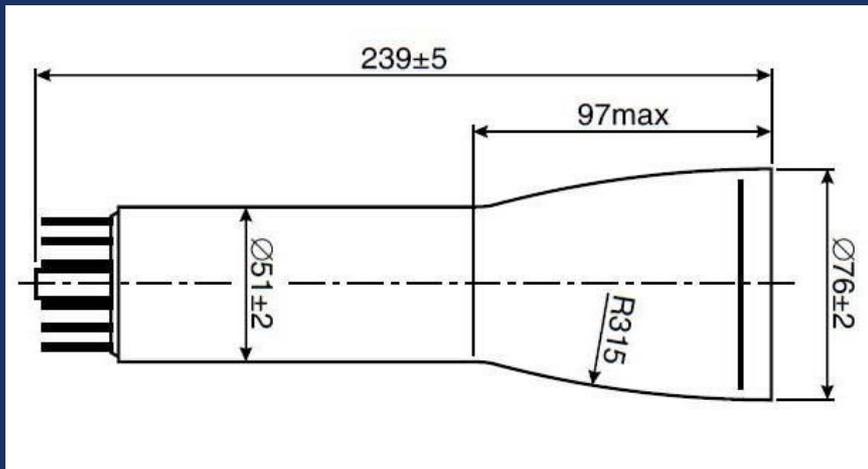
虚拟仿真实验开发课

- “物理CAI课件设计”：
 - Photoshop、Flash、DreamWeaver、3DMAX
 - C++、Visual Basic、Delphi、Java
- “计算物理模拟实验”：
 - 分子动力学模拟和第一性原理计算
 - 计算图像显示技术
- 学生对哪些是描述物理体系的关键参数的理解更加深入，物理体系随参数演化的物理图像也更清晰。

电子光学

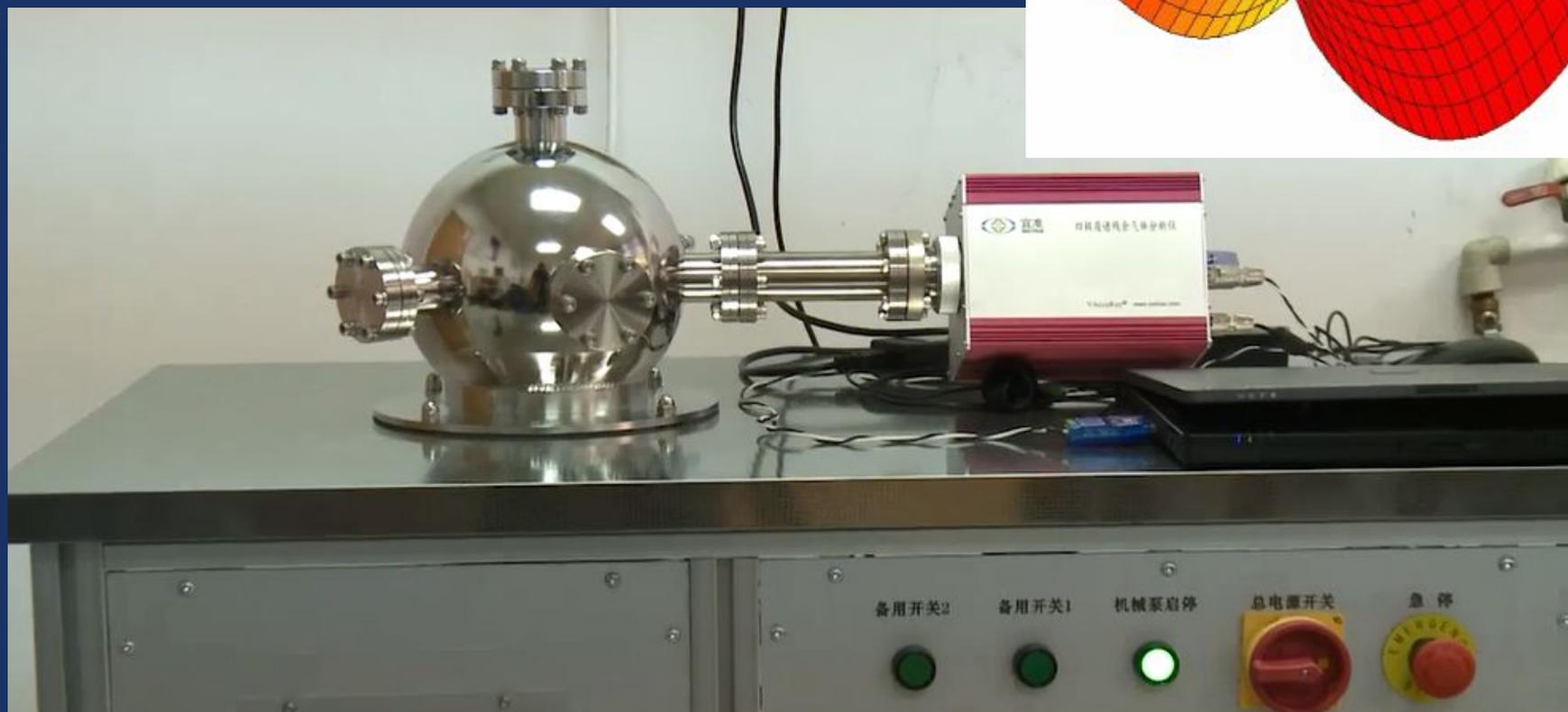
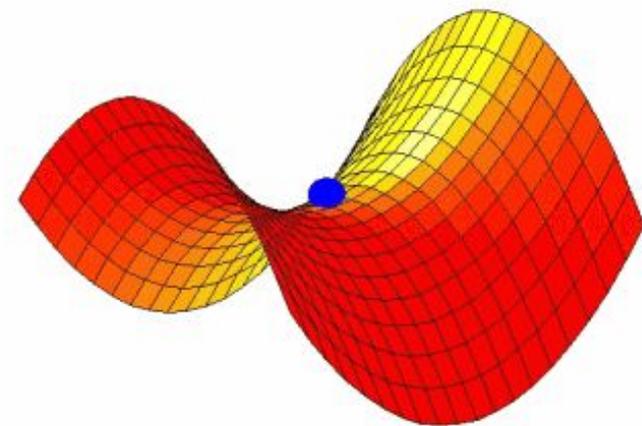
- 带电粒子的聚焦：借鉴几何光学的成像原理
 - 显像管
 - 电子显微镜
- 以带电粒子为源或者分析对象的实验设备
- 工具：Simlon, CP0, Comsol

电子束聚焦

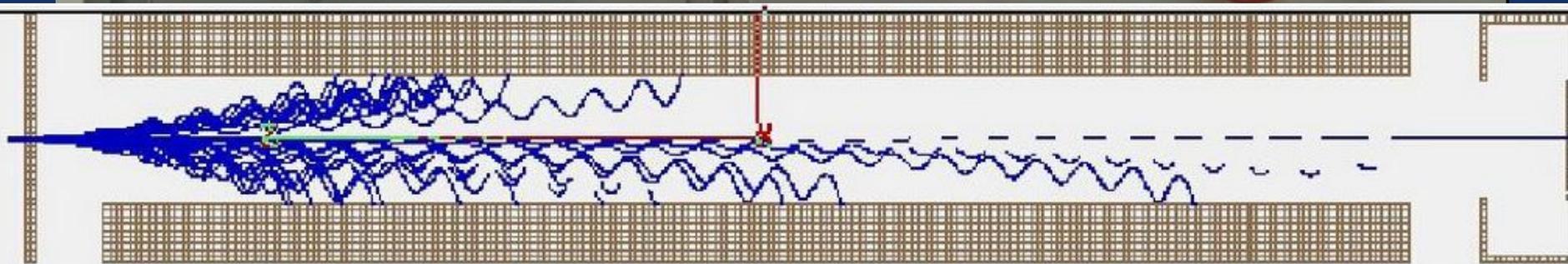


让学生“看到”
每一个电子的轨迹！
理解显像管聚焦实验的结果！

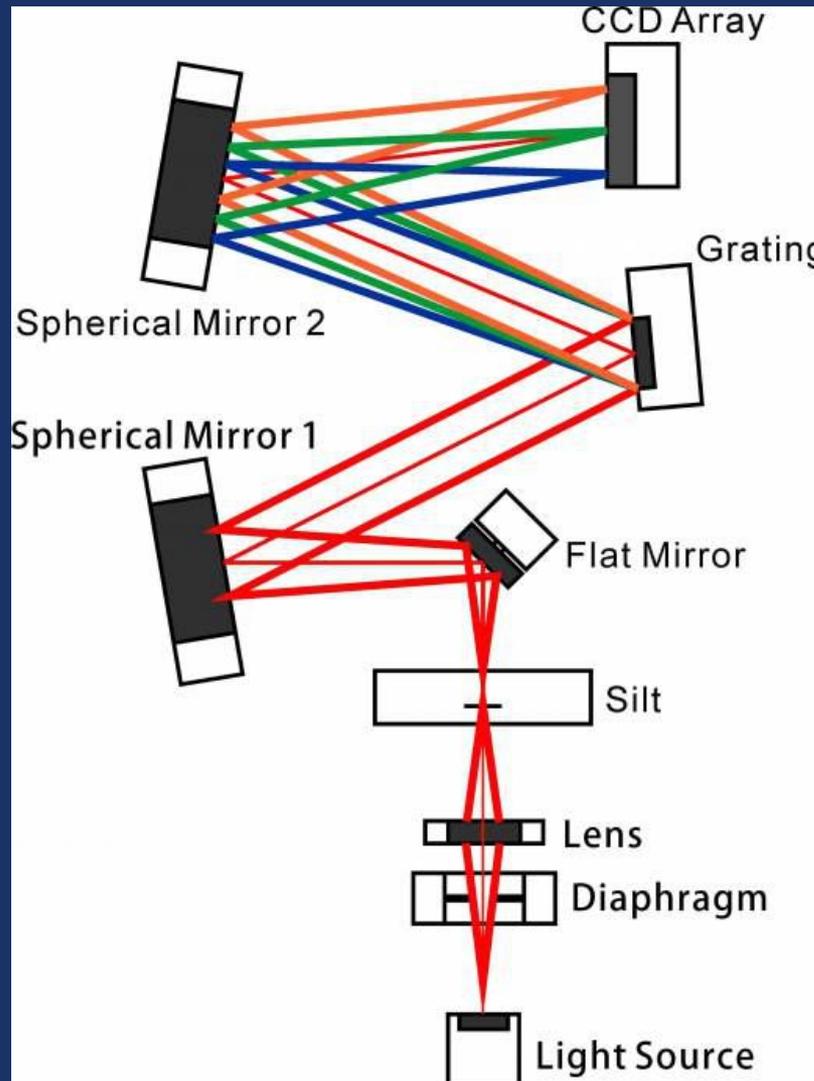
四极杆质谱



备用开关2 备用开关1 机械泵启停 总电源开关 急停



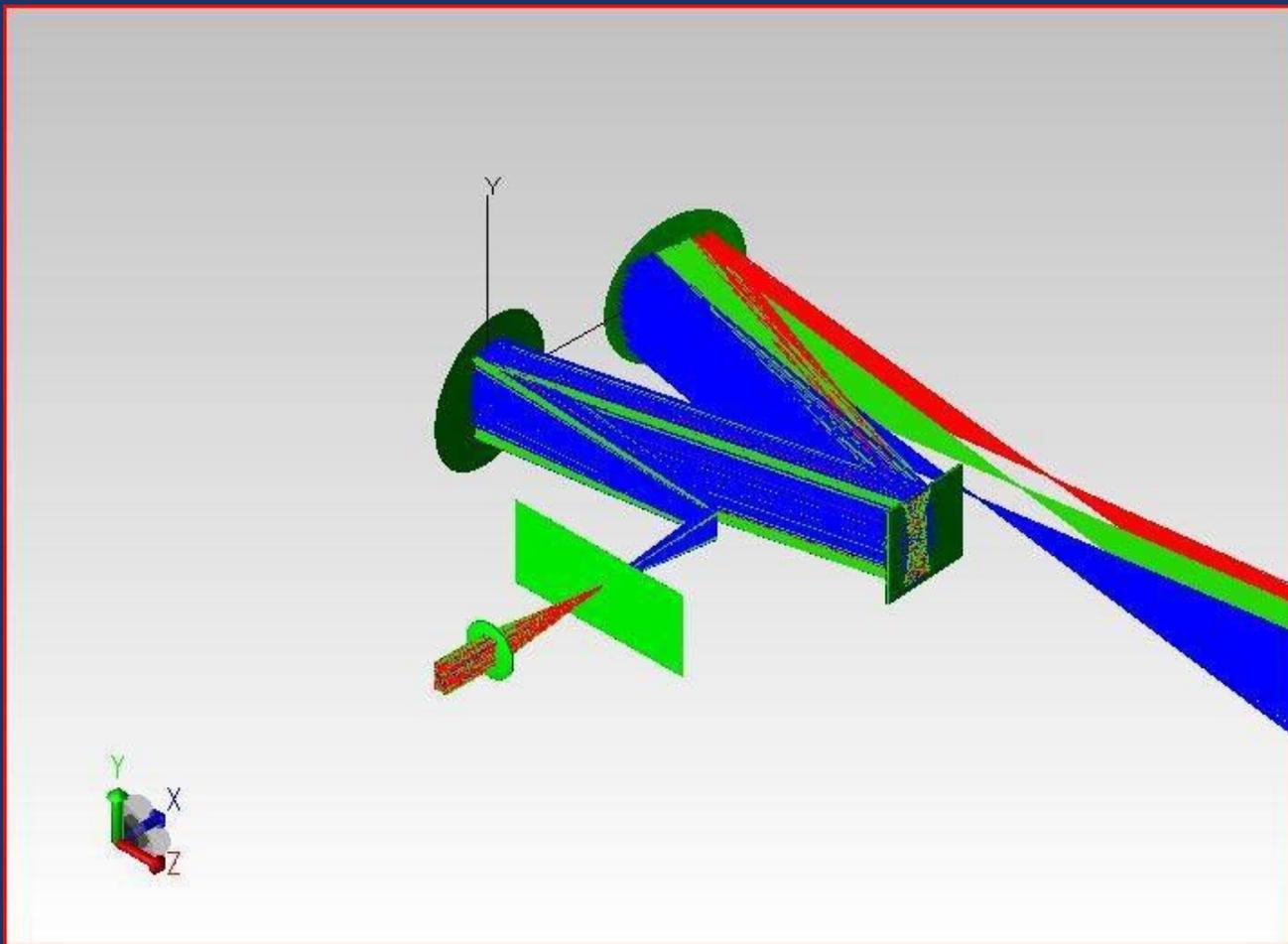
积木式光栅光谱仪



积木式光栅光谱仪

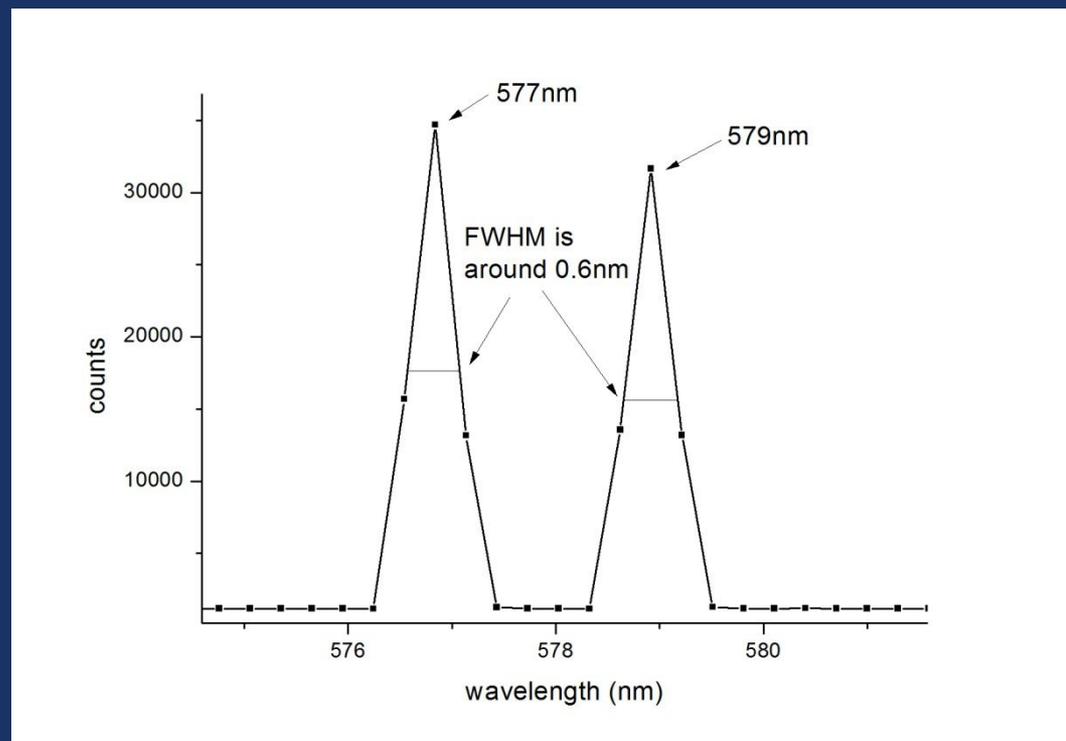
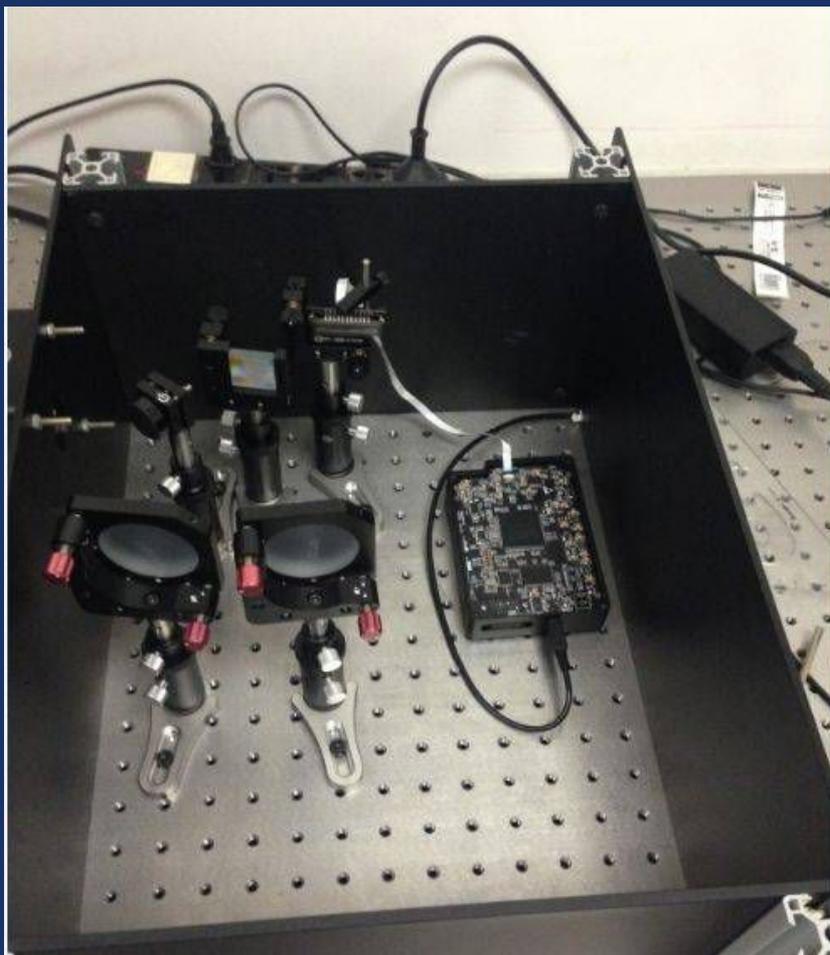
- 分辨率和什么有关？
- 光学元件如何调节？
- 像差如何消除？
- 如何拓展光谱仪的应用？

积木式光栅光谱仪



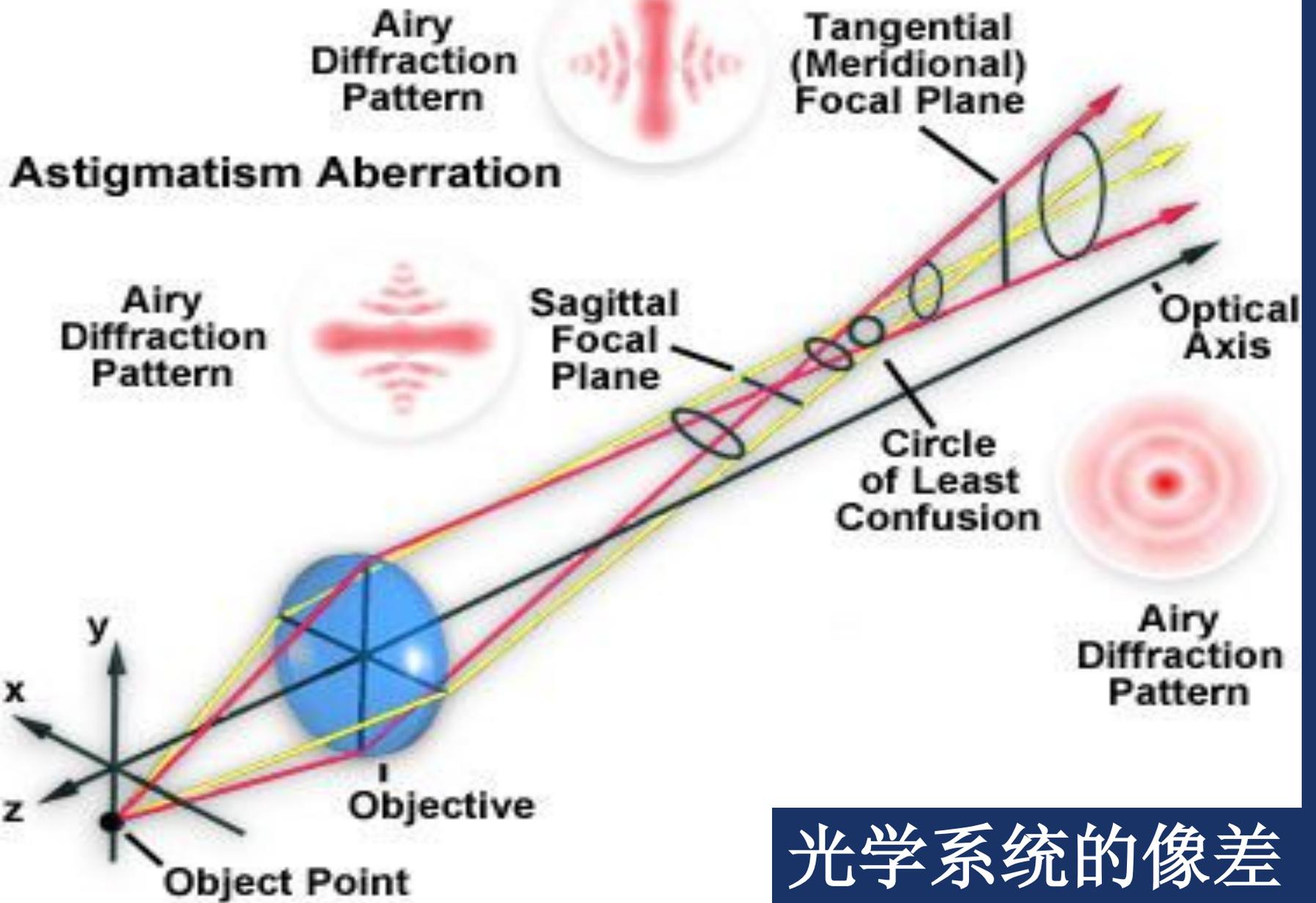
工具： Zemax, TracePro, Comsol

积木式光栅光谱仪



测得的汞灯光谱

光谱仪

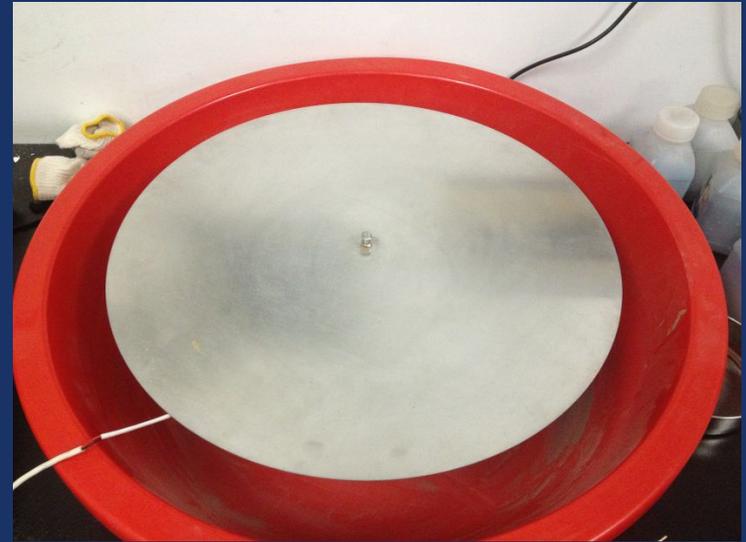


光学系统的像差

克拉尼图形



XD7低频信号发生器



铝质薄圆盘: 中心固定, 边界自由
压电陶瓷片驱动

二维薄板波动方程：

$$D\nabla^4 w + \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0$$

分离变量求解四阶板振动方程：

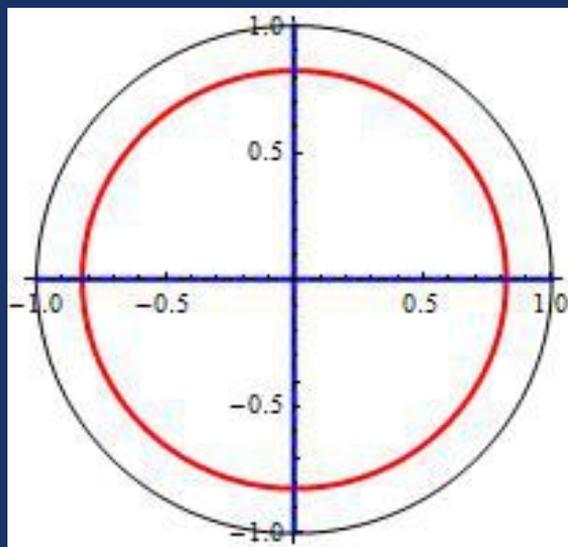
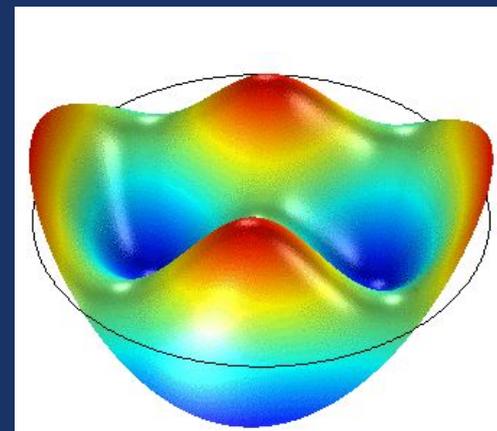
$$W(r, \theta) = R(r) \cos n\theta$$

$$R(r) = C_1 J_n(\beta r) + C_2 Y_n(\beta r) + C_3 I_n(\beta r) + C_4 K_n(\beta r)$$

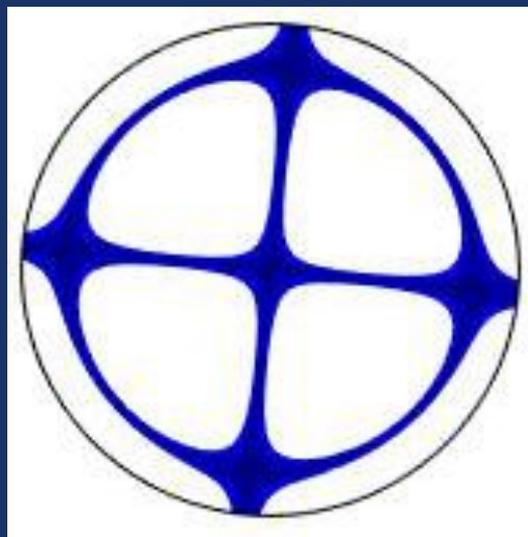
解析、仿真、实验结果对比

■ $s=1$ $n=2$

振动模式
示意图



解析



仿真



实验

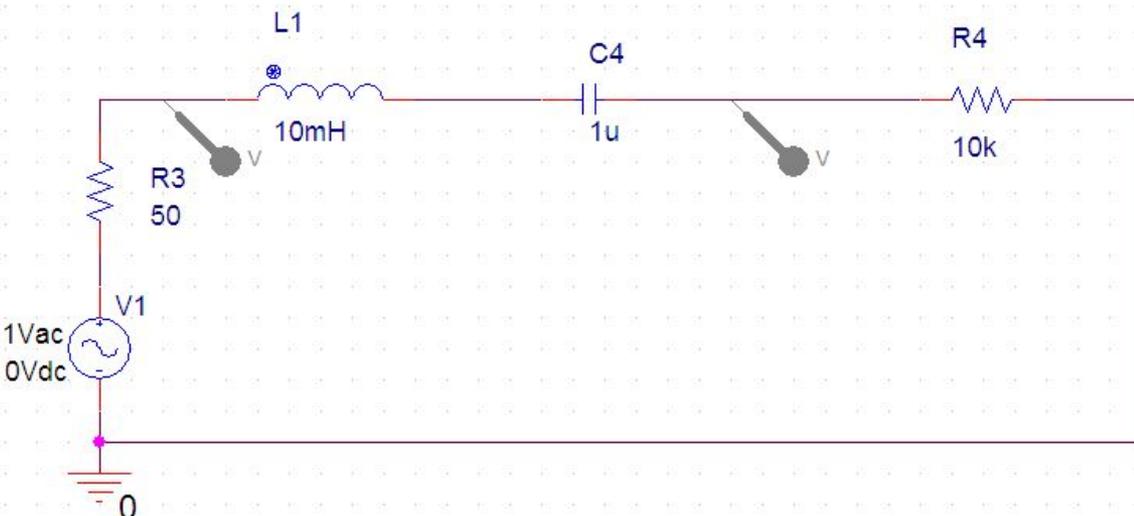
电子线路

LCR串联谐振电路 [home x]

← → ↻ phylab.fudan.edu.cn/doku.php?id=

老师您好，我在进行实验的选做部分的时候发现了以下现象：
R外两端电压；实验过程：初始频率 $f=1\text{kHz}$ ，然后每次增加：
1-10kHz，U1与U2几乎相等，且示数无明显变化；
11-76kHz，U1示数不变，U2单调非线性增加，并出现
77kHz，U2示数达到极大值；
78-351kHz，U2示数非线性减小，U1示数仍不变；
352kHz，U2示数达到极小值；
353kHz-1300kHz，U1示数仍不变，U2示数再次非线性
1301-1350kHz，U1示数仍不变，U2示数稳定在极大值
1351kHz-2200kHz，U2示数不变，U1示数非线性减小
2200-20000kHz（信号发生器最大频率），U1与U2示
在9号与12号实验台上均以相同条件实验，出现相同现象
但整体变化规律，及极值出现频率仍不变。

Q：请问老师，为什么会出现 $U_2 > U_1$ 的现象，并且R外越高



新的仿真图已经放上去了。 — 沈金辉 2014/03/29 16:29

这次探究结果：BNC导线的寄生电容达到100pF；判断交流电路的通、断须特别小心；电路仿真很方便，也很有效！但要准确知道各元件的参数，不容易。 — 乐永康 2014/03/30 09:31

我的想法是：电感或电容是储能元件，储能与输出频率功率有关。在高频电路中，会不会在某个恰当的频率时电感和电容充当了电源供能的作用？但是这样似乎又违反了能量守恒定律，难道这个频率时，电感或电容储存了外界的电磁波能量所以使整个电路的能量增加了？？（脑洞好像有点大……） — 徐焱霖 2014/03/31 17:45

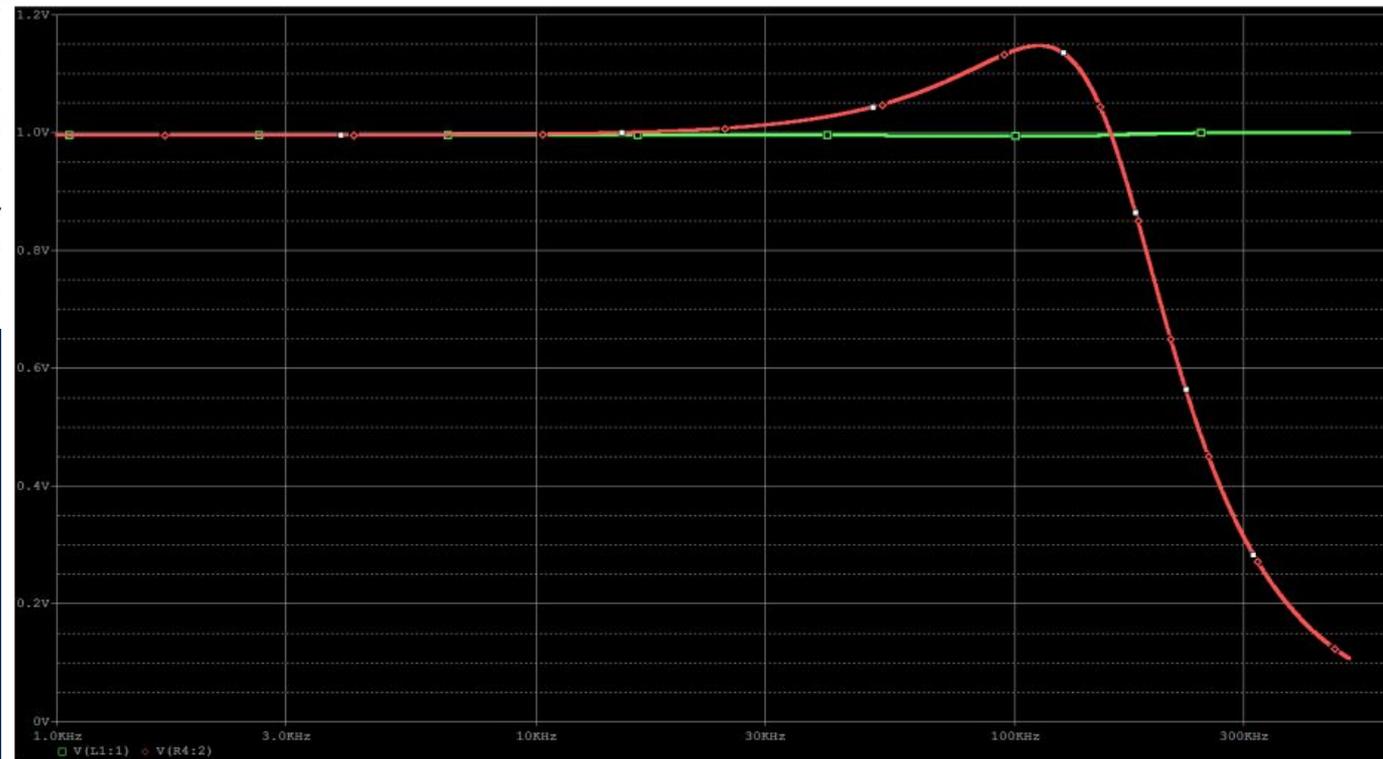
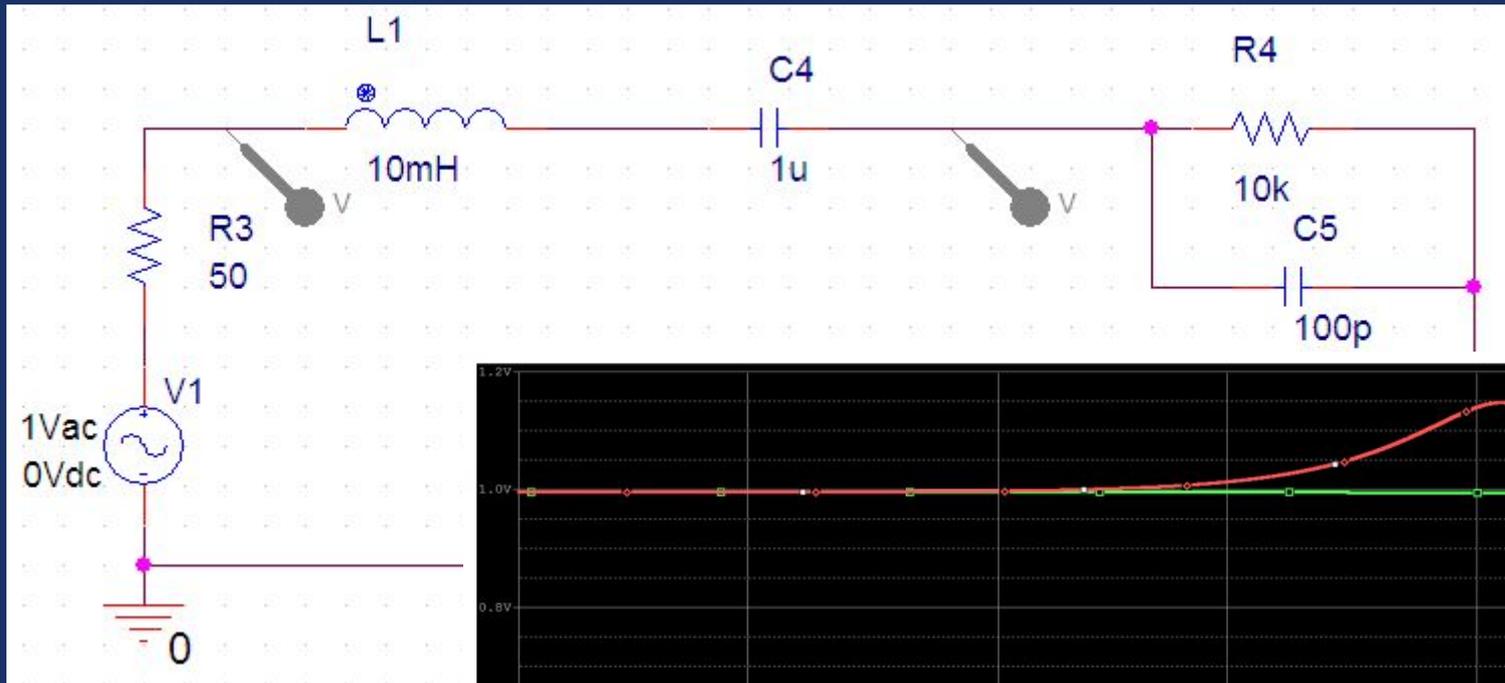
如果电感没有损耗电阻，在谐振频率时，电容和电感之间“流”的电流只表示这两个元器件之间存储的能量大小，这个能量没有被消耗掉。这个电流和外电路上的电流不同，也因此，会出现电容或电感上的压降大于外电路的压降。这样的状态不违背能量守恒定律：储存的能量来自于达到稳态之前电源的能量供给。 — 乐永康 2014/03/31 22:36

两个电压的里程档一样吗？这个也得考虑一下。 — 高焱 2014/04/01 16:19

里程、包括接线和读数均多次确认无误。乐老师的说法有道理，可以解释 $U_2 > U_1$ 的现象。但是如果这个性质出现在谐振时，那么就应该只有一个极大值，但实际上却是有多峰，并且无法解释为什么这个现象必须在高阻下才能出现，且阻值越高现象越明显，如果按照这个解释应该是低阻下才成立啊？ — 徐焱霖 2014/04/01 21:30

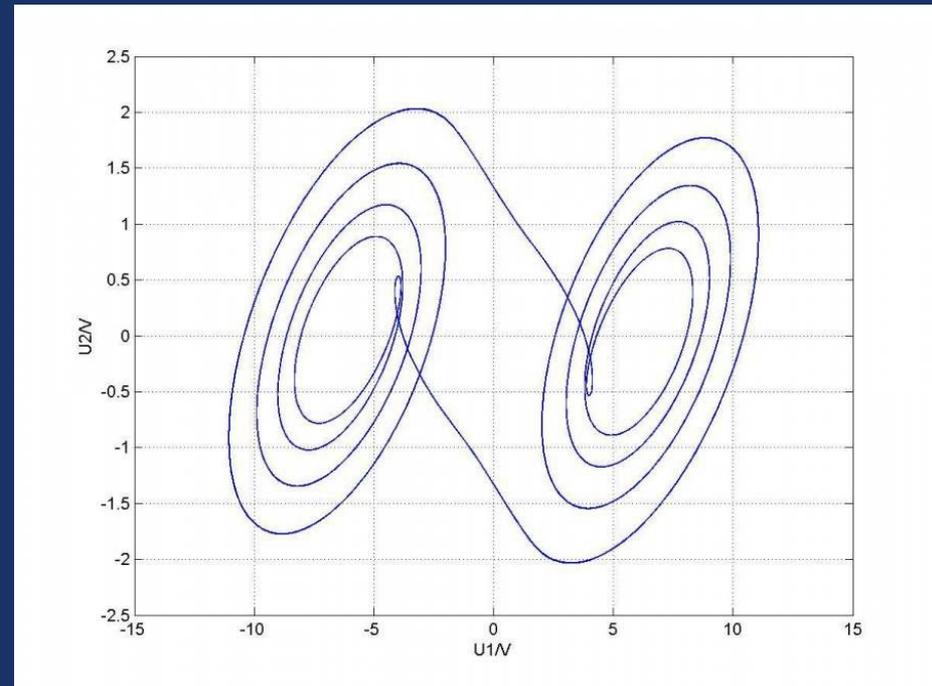
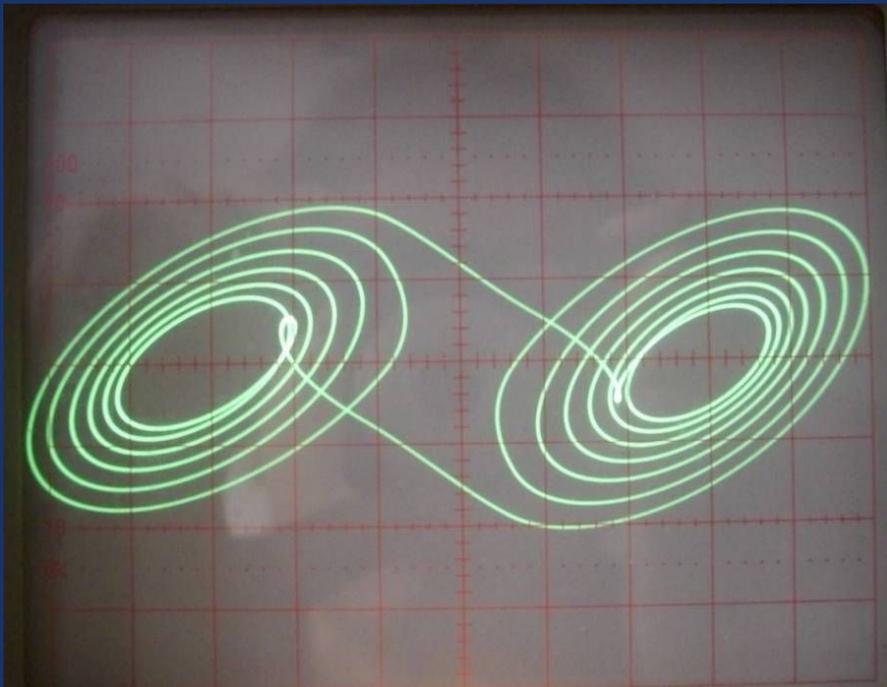
由于实验中在不同位置有多个电容，而且电容值有量级上的差别，因此表现为不同频段“多个共振峰”，实际上，在不同共振频率时，电路中各个元件的“角色”不同（也就是不同形式的LC共振电路）； $U_2 > U_1$ 只出现在高阻条件下，那是因为，此时这个电阻不是串联在LC回路上的损耗电阻，而是并联在100pF电容两端的损耗电阻，因此，你可以预期，此电阻越大，谐振曲线的Q值也越大，实际确实如此，你想让 $U_2 > U_1$ 更夸张，只需将9999欧姆的电阻去掉：这时，双踪交流电压表的输入电阻（兆欧姆量级）与导线上的100pF并联，Q值更大。若是用数字示波器重复此实验，你会发现，在交流耦合模式下，谐振频率与直流耦合时不同。 — 乐永康 2014/04/01 22:41

电子线路

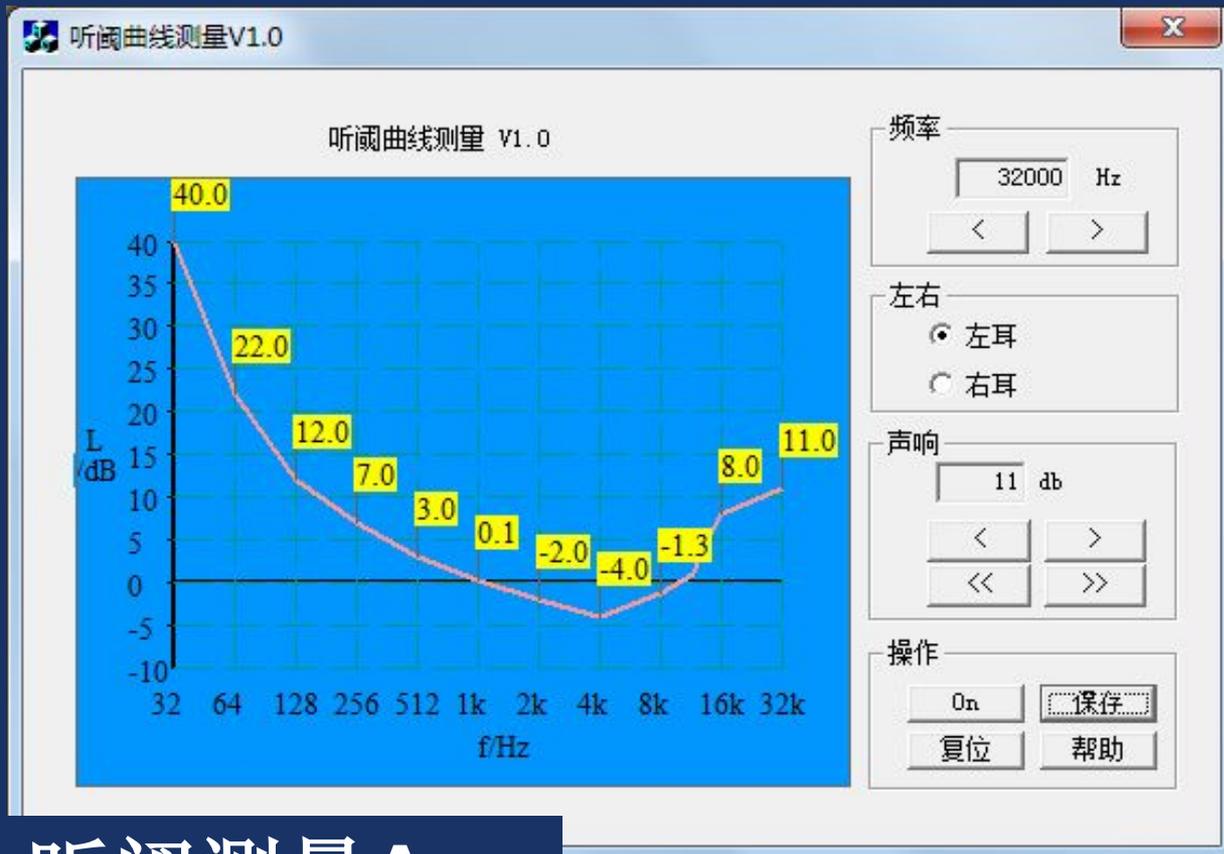


电路仿真

- 信号与系统：时间响应特性与什么有关？
- 混沌系统的行为



医学物理仪器



肺呼吸模型

听阈测量App

建设虚拟仿真实验教学中心

• Phylab.fudan.edu.cn

The screenshot displays the website for the Fudan University Virtual Simulation Experimental Teaching Center. The page is divided into several sections:

- Navigation:** Includes a breadcrumb trail: 您的足迹: » 积木式光栅光谱仪的设计与搭建 » 蔡氏电路仿真实验 » 基础物理建模 » 基础物理实验简介 » LCR串联谐振电路 » LCR电路模拟 » 复旦大学物理教学实验中心 Fudan Physics Teaching Lab » 复旦大学物理虚拟仿真实验教学中心.
- Center Overview:** Features a QR code for mobile access and introductory text: 复旦大学物理教学实验中心 Fudan Physics Teaching Lab. A red 'New!' tag highlights the '虚拟仿真实验教学中心'.
- Center Materials (申报材料):** A list of resources including '虚拟仿真中心视频' and '复旦大学物理虚拟仿真实验教学中心申请表'.
- Center Introduction (中心简介):** A list of key points: '虚拟仿真实验教学中心的发展历程、建设概况', '虚拟仿真实验教学中心建设必要性', '虚拟仿真实验教学中心特色与创新', and '教师队伍'.
- Teaching System (教学体系):** A list of experimental courses: '虚拟仿真实验开发课', '虚实结合的实验教学', '医学物理虚拟仿真实验', and '互联网远程控制实验'.
- Course Notice (课程通知):** A notice about a learning seminar: '学习讲座: 实验课上学不到的实验能力将于10月20日18:30'.

复旦大学物理教学实验中心

20140116

恒康物双楼



谢谢！

恳请批评指正！