

# 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）

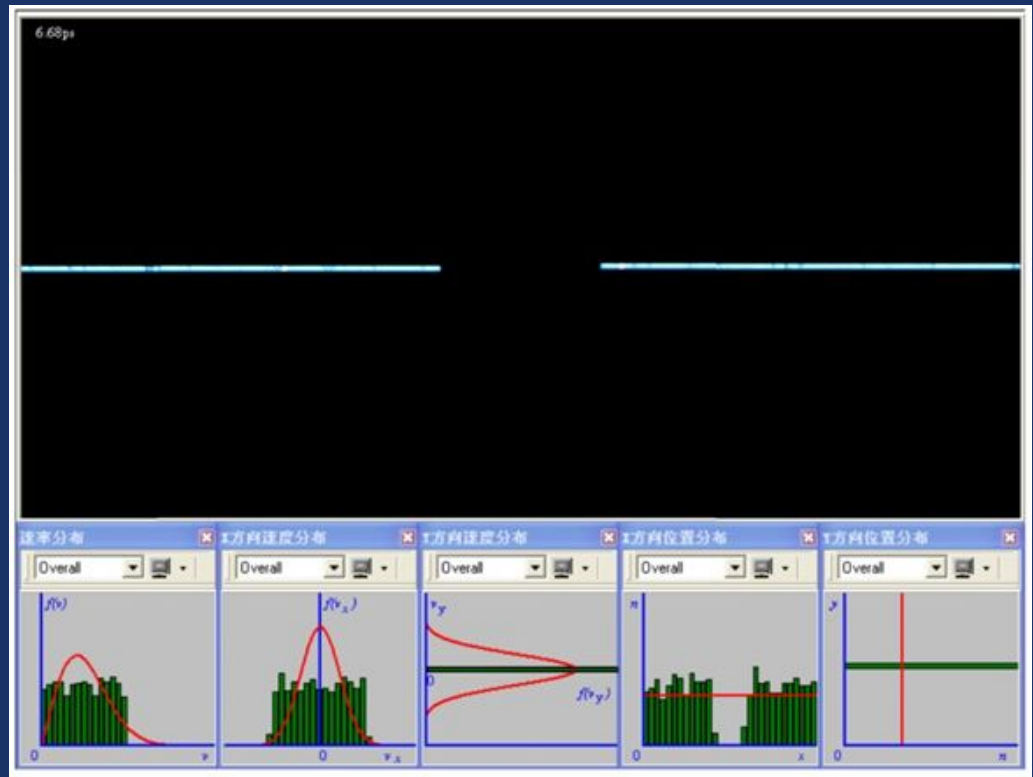
# 需求

- 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？

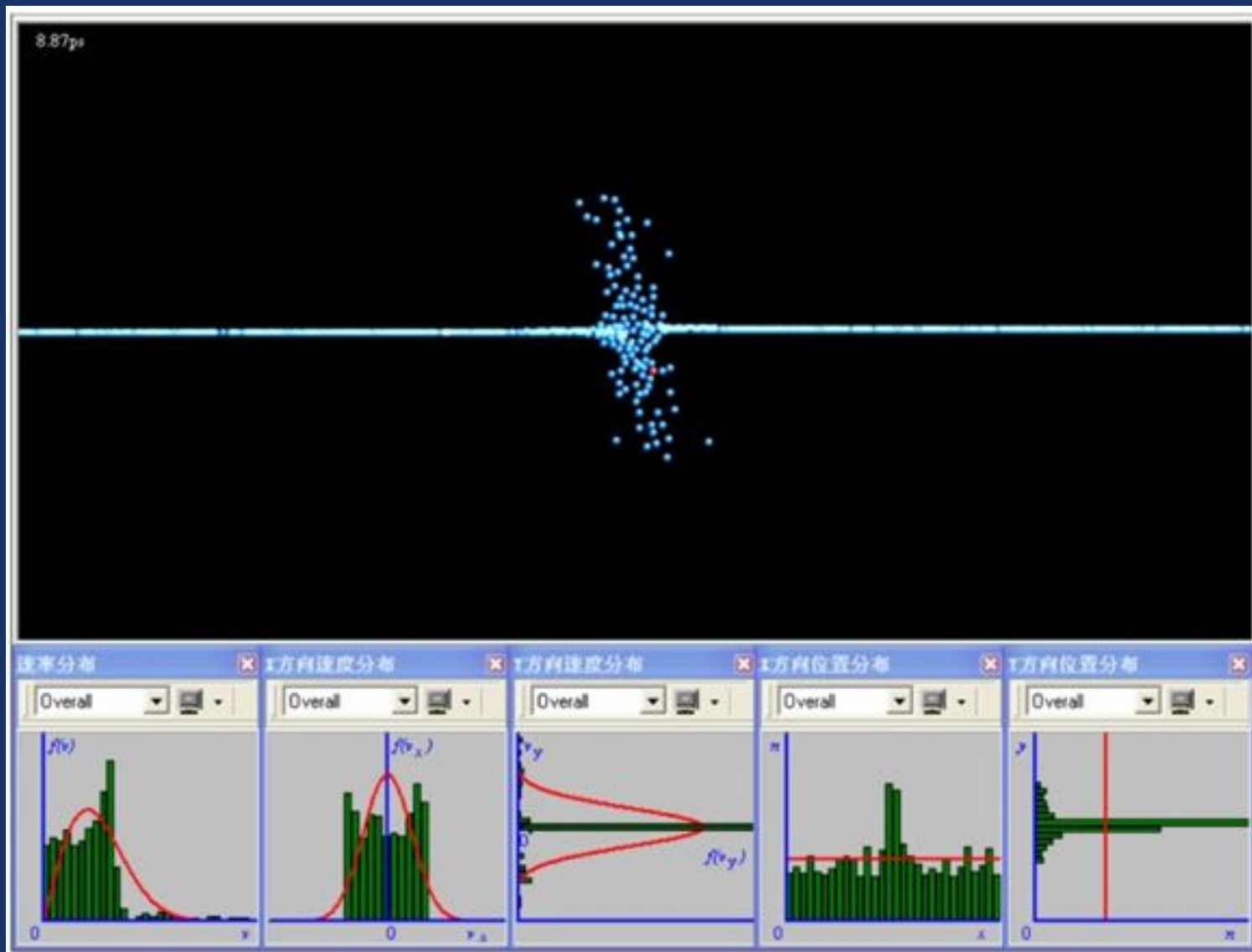
**虚实结合！**

# 建设历程

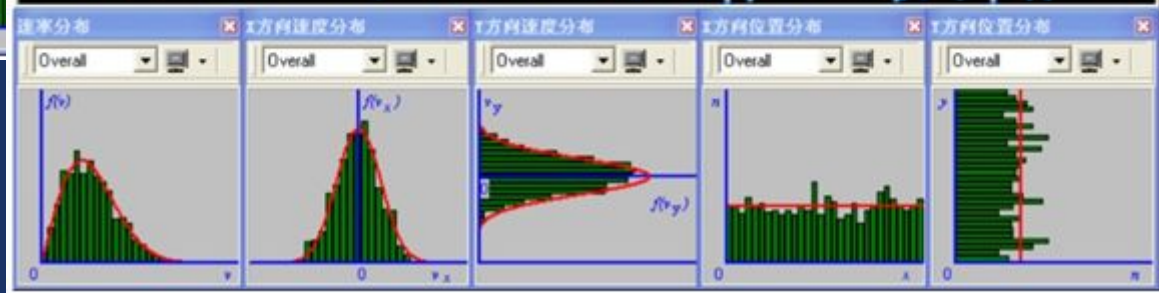
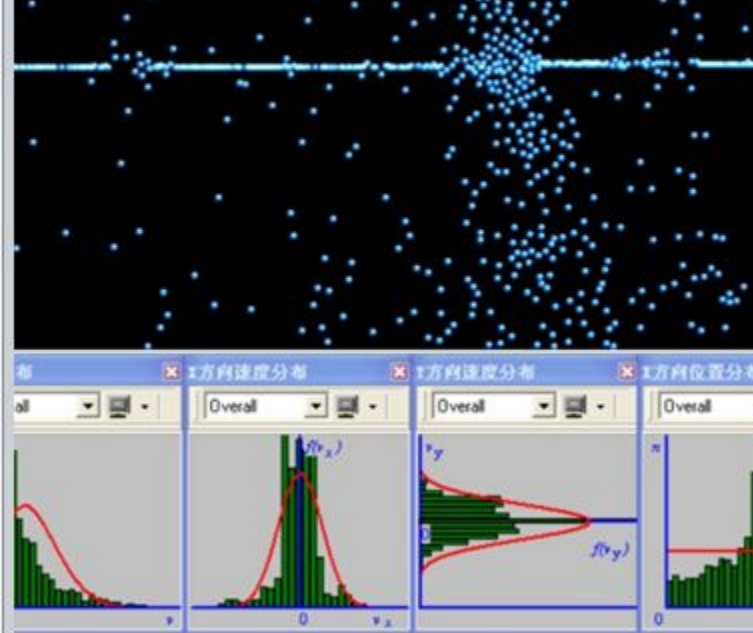
- 上世纪九十年代：钟万蘅老师开发“物理CAI课件”
  - 单一速度的分子体系通过碰撞达到统计平衡的时间



# 分子碰撞



# 分子碰撞

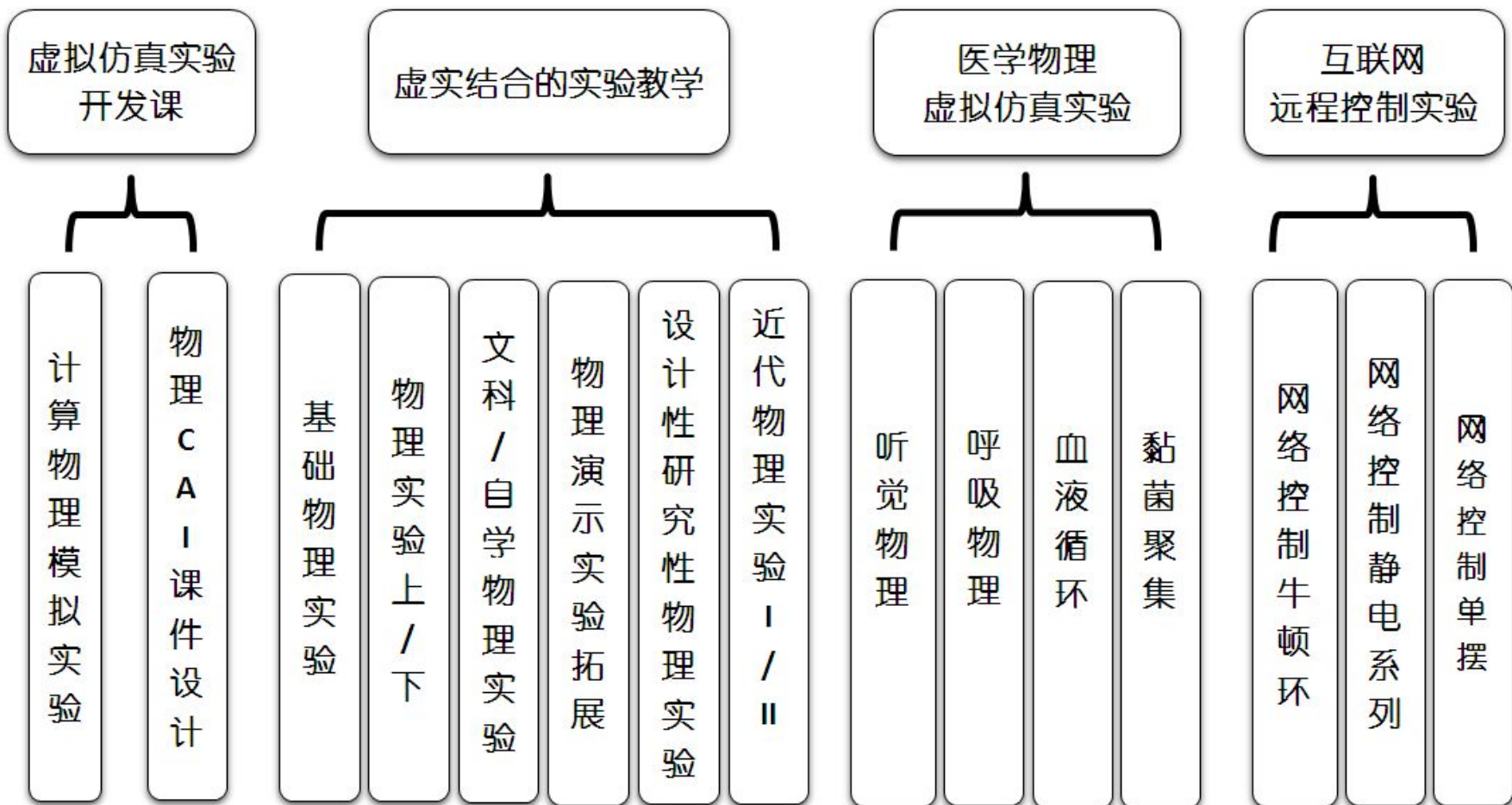


101 ps 后的分布

# 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





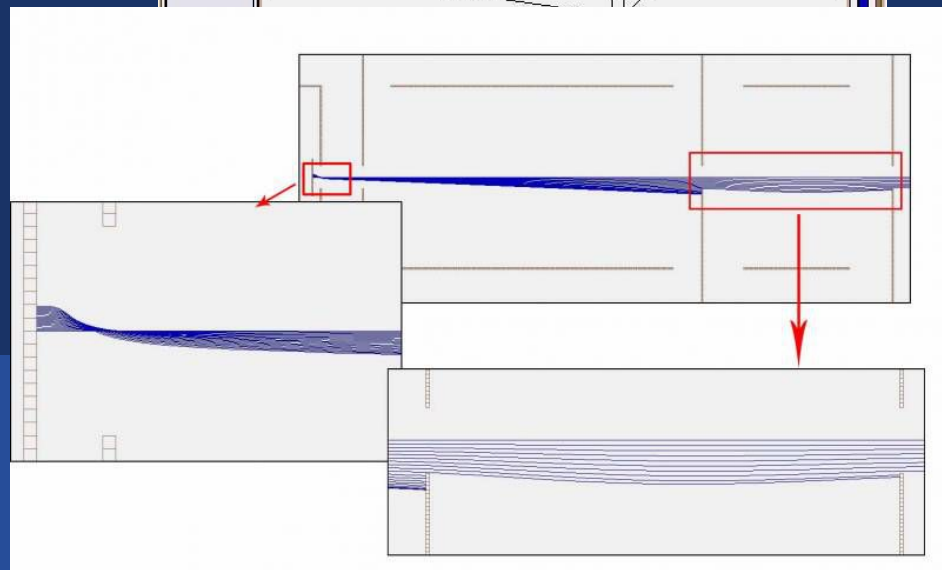
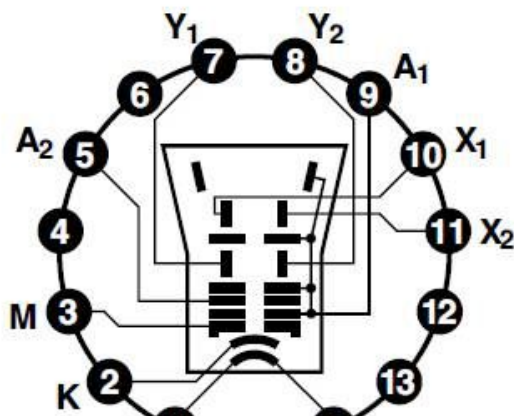
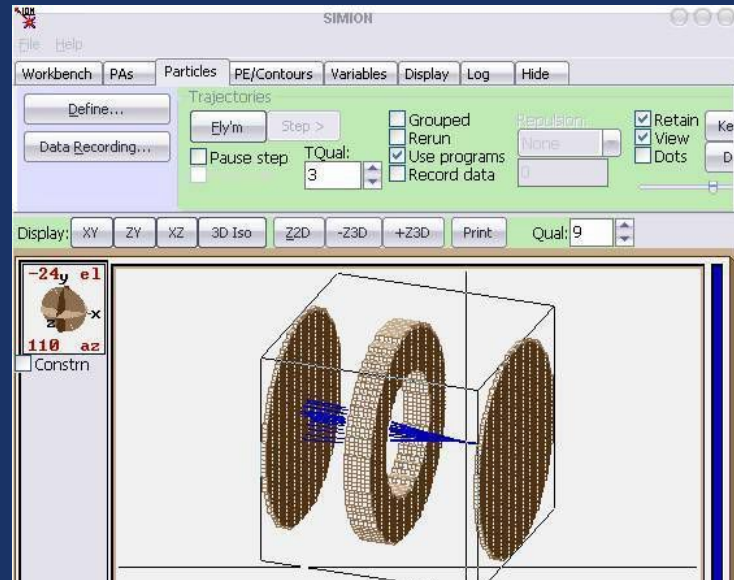
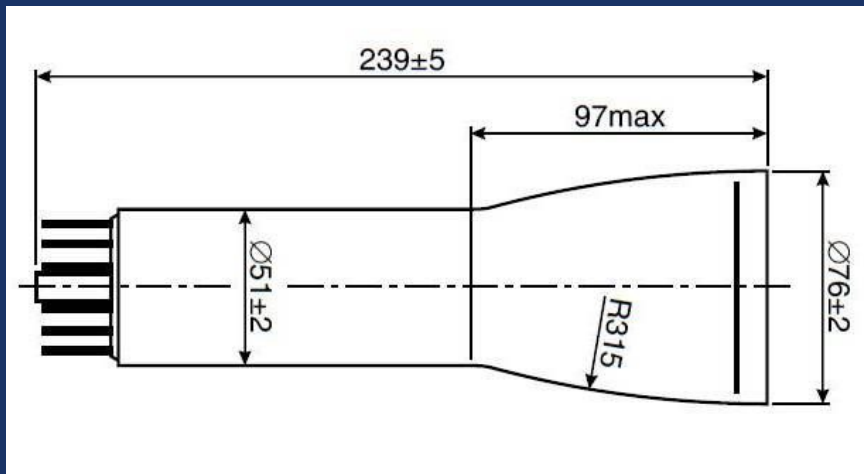
# 虚拟仿真实验开发课

- “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

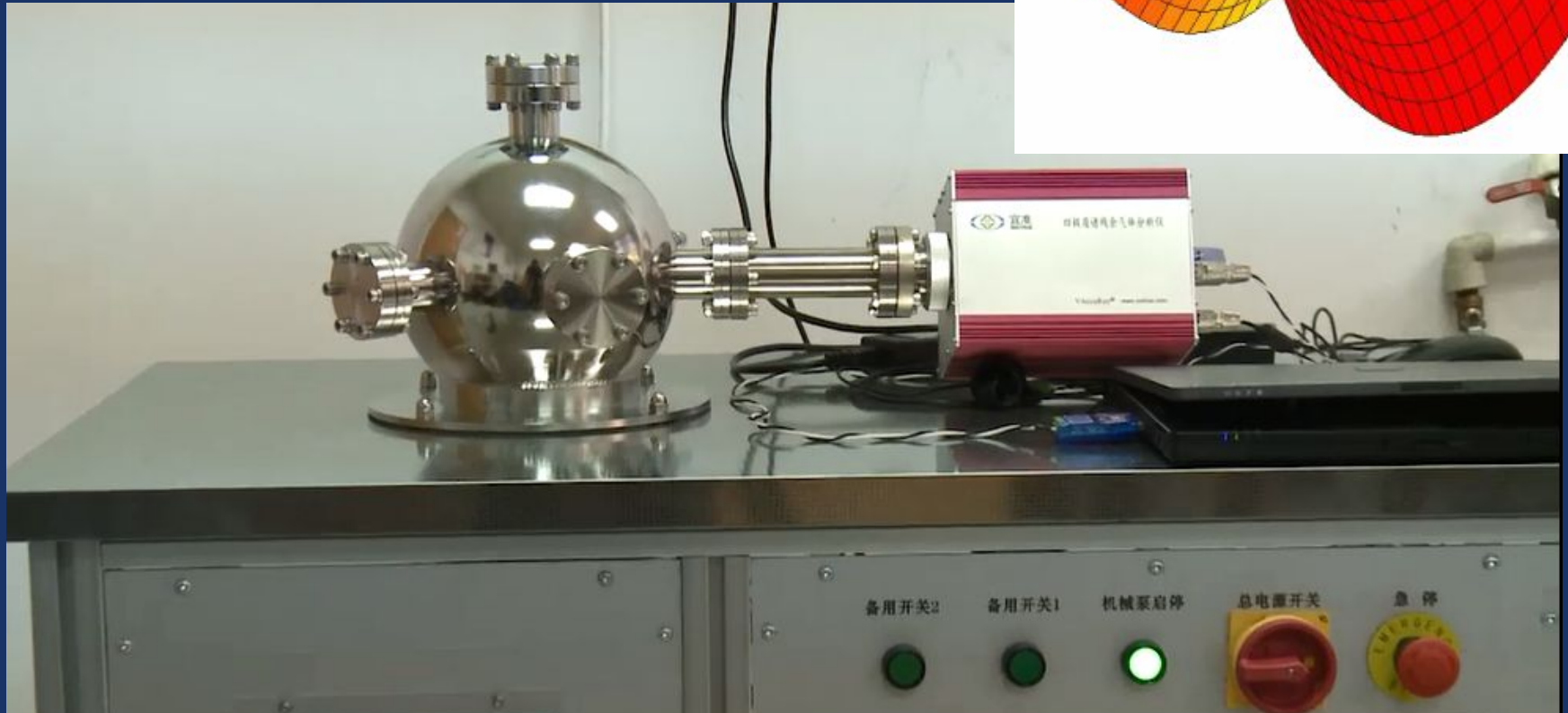
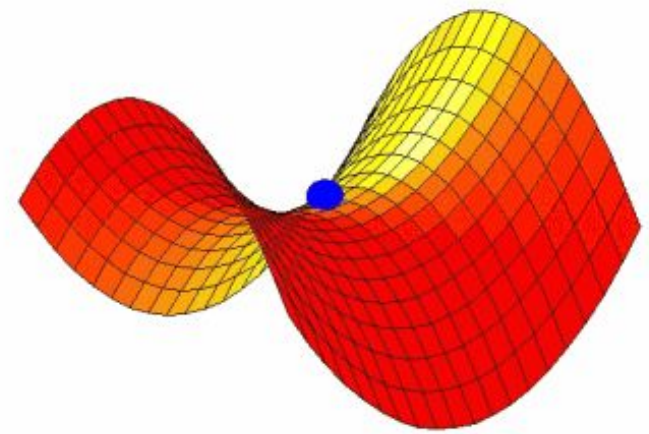
- 带电粒子的聚焦：借鉴几何光学的成像原理
  - 显像管
  - 电子显微镜
- 以带电粒子为源或者分析对象的实验设备
- 工具：Simlon, CP0, Comsol

# 电子束聚焦

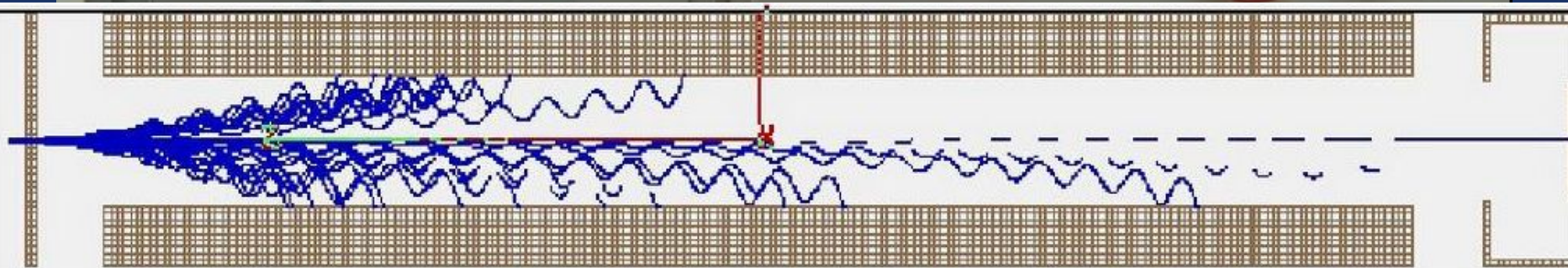


让学生“看到”  
每一个电子的轨迹！  
理解显像管聚焦实验的结果！

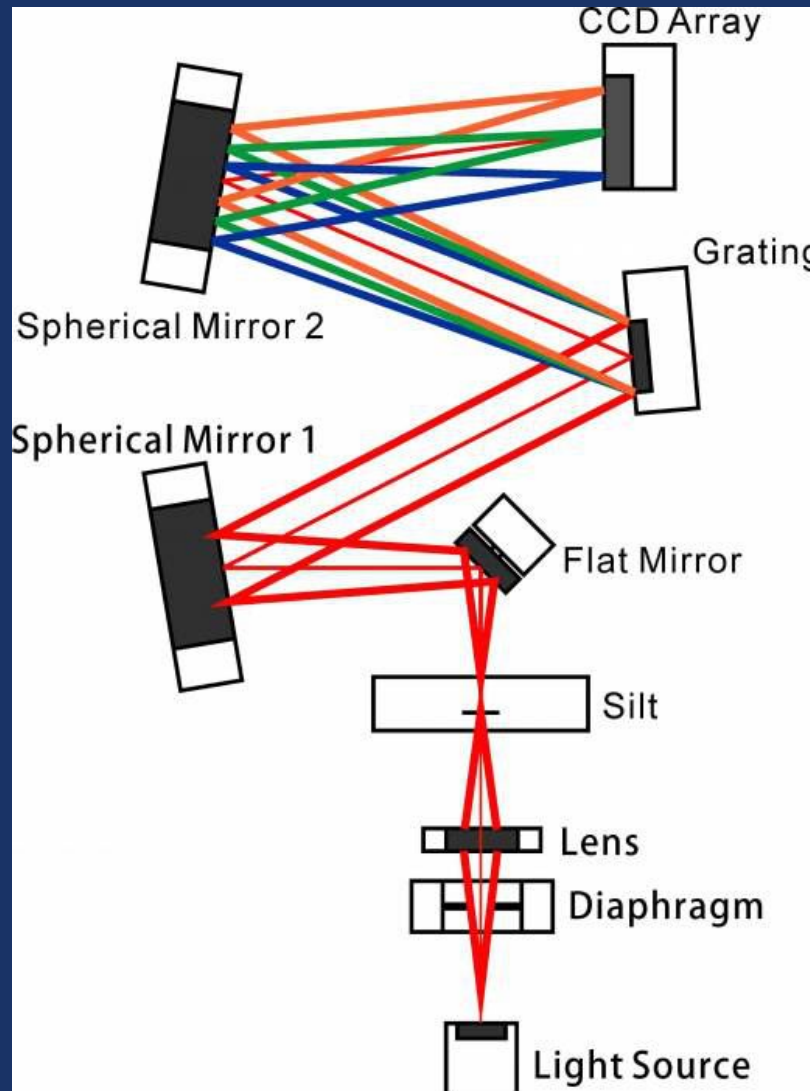
# 四极杆质谱



备用开关2    备用开关1    机械泵启停    总电源开关    急停



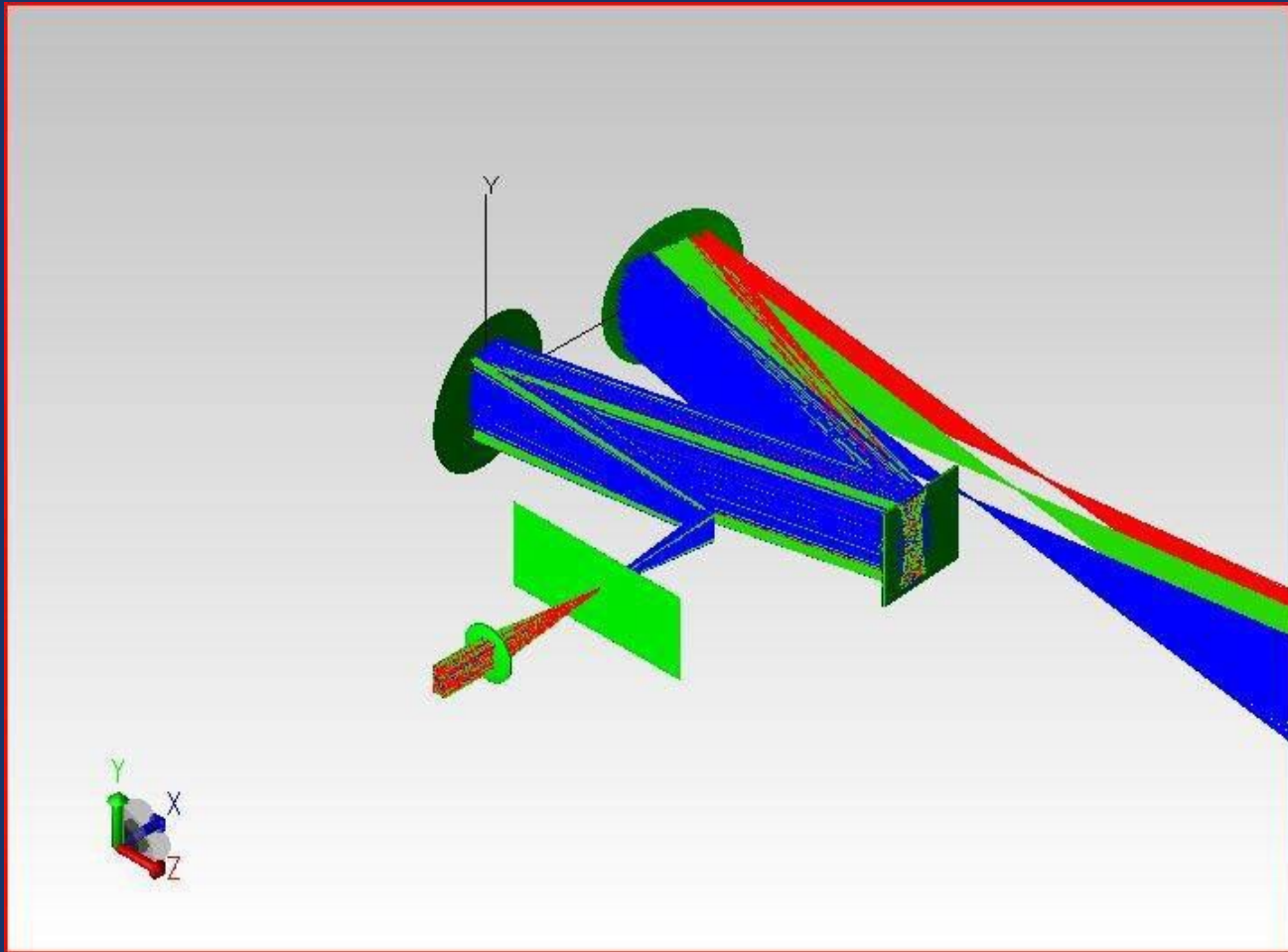
# 积木式光栅光谱仪



# 积木式光栅光谱仪

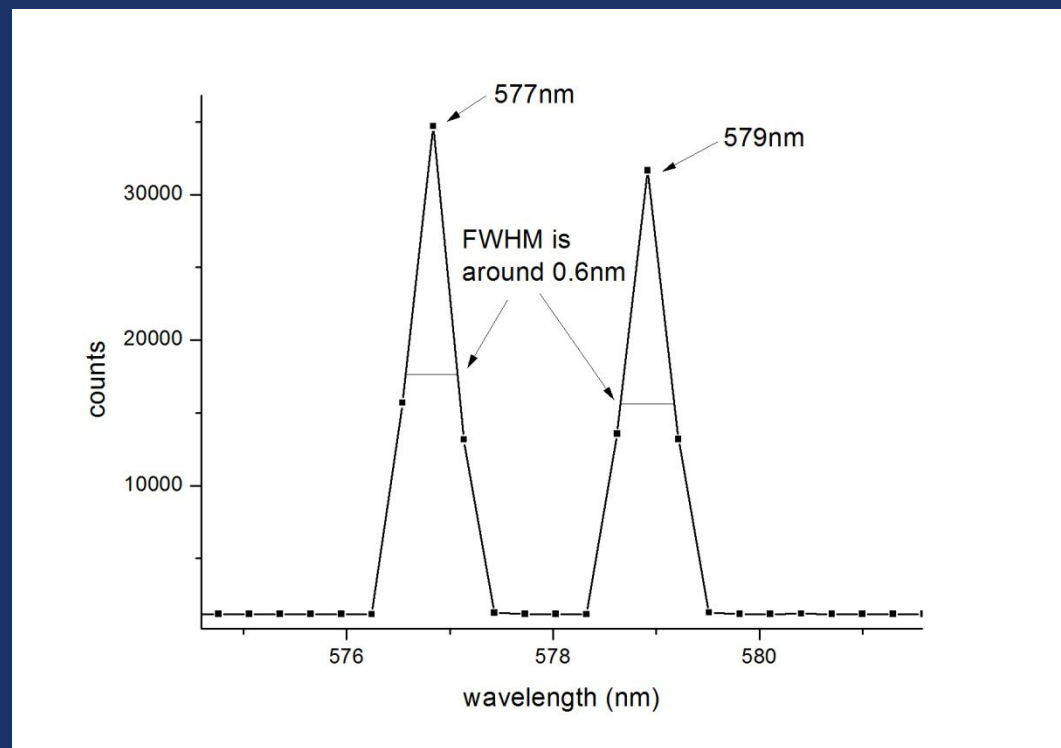
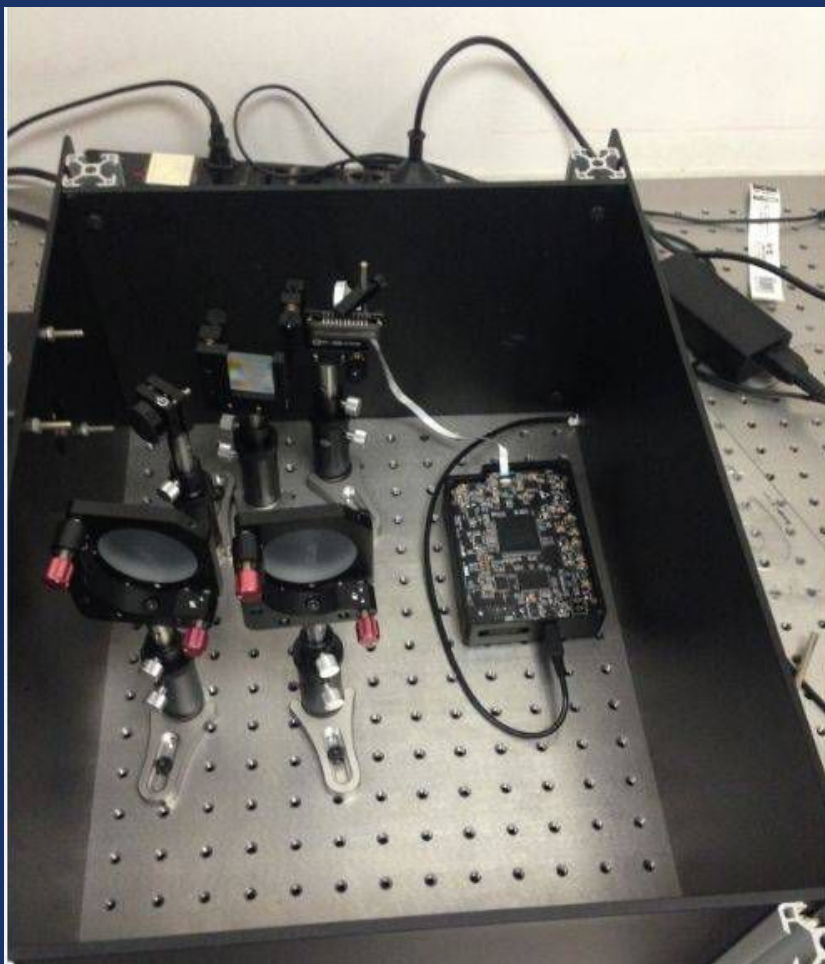
- 分辨率和什么有关？
- 光学元件如何调节？
- 像差如何消除？
- 如何拓展光谱仪的应用？

# 积木式光栅光谱仪



工具： Zemax, TracePro, Comsol

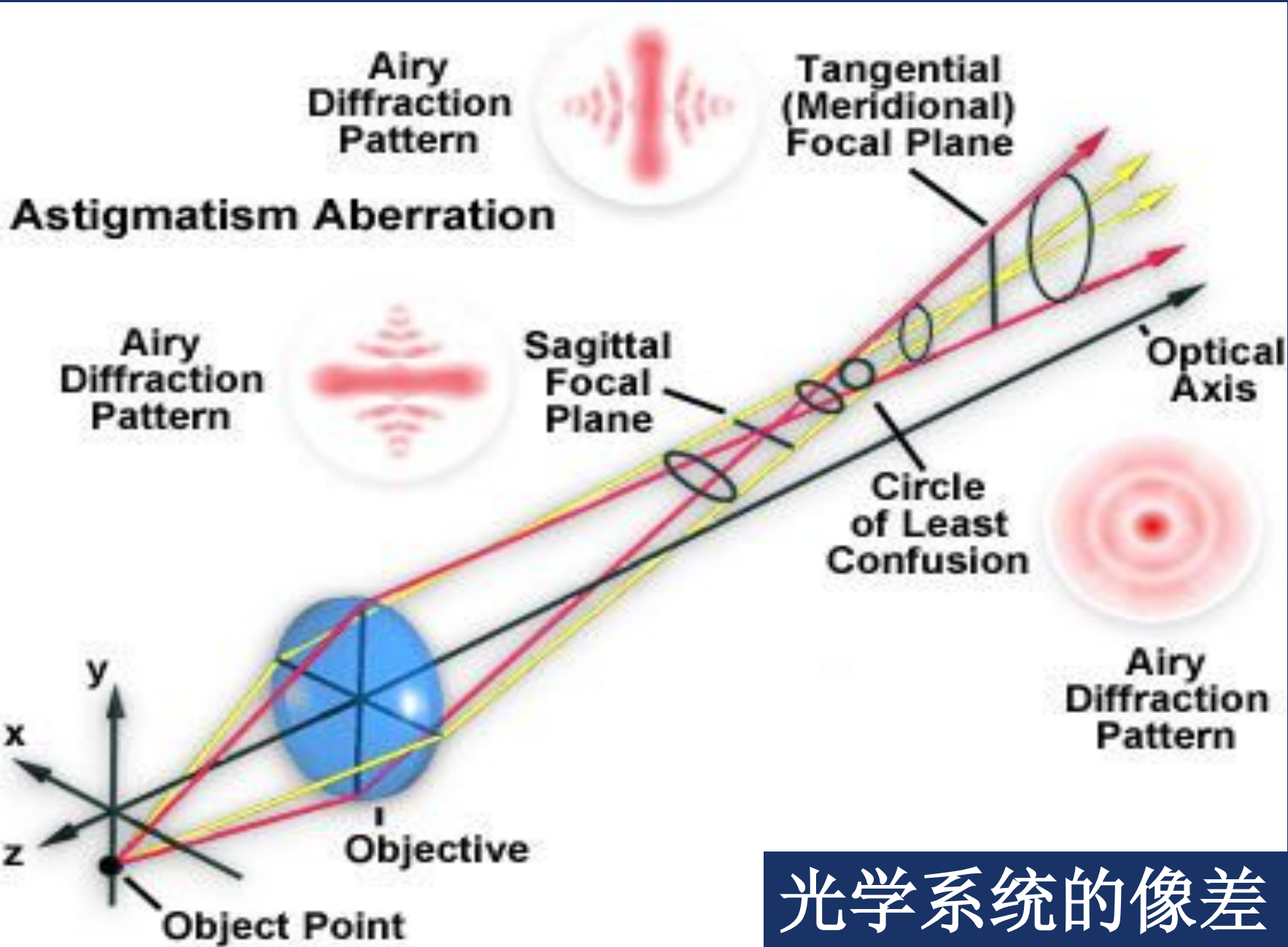
# 积木式光栅光谱仪



测得的汞灯光谱

光谱仪



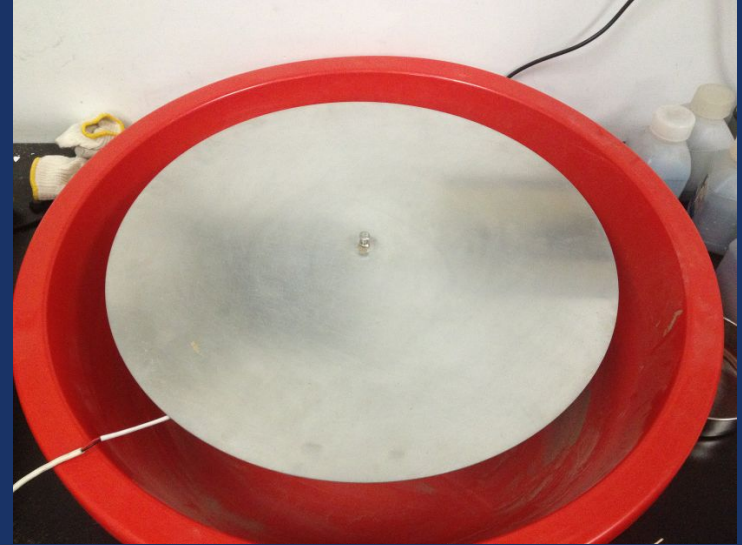


# 光学系统的像差

# 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：

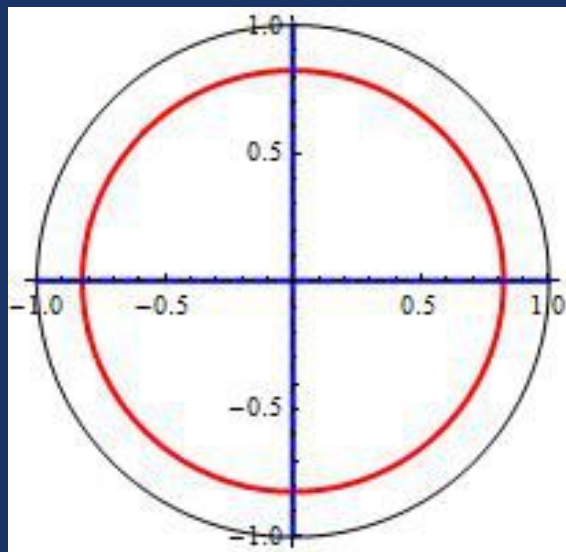
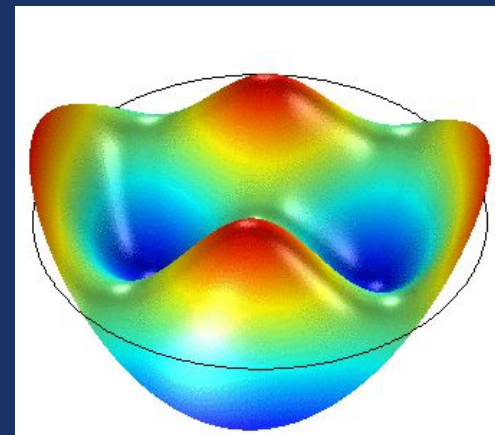
$$W(r, \theta) = R(r) \cos n\theta$$

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

# 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

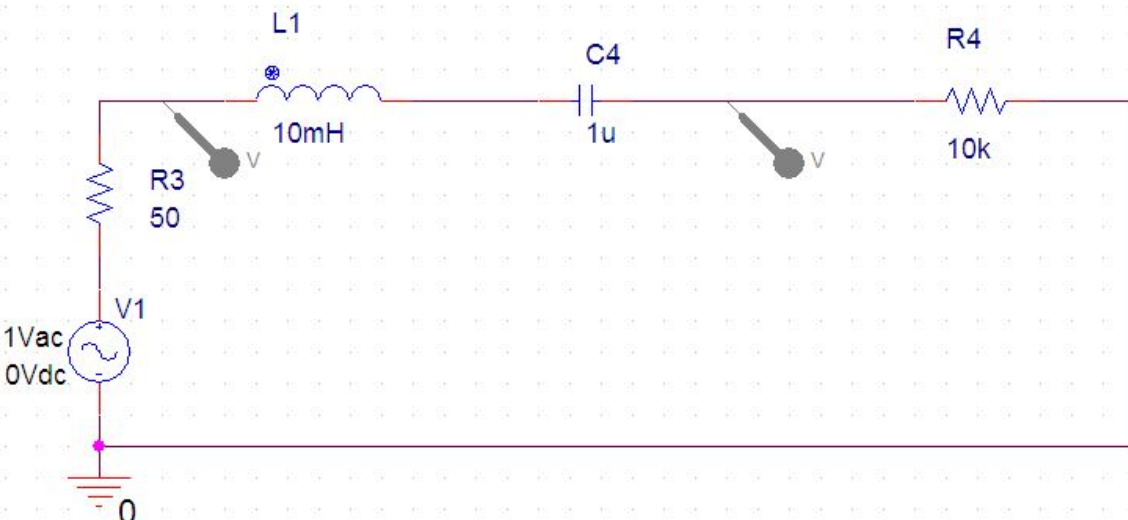
# 电子线路

LCR串联谐振电路 [home x]

← → ↻ [phylab.fudan.edu.cn/doku.php?id=](http://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

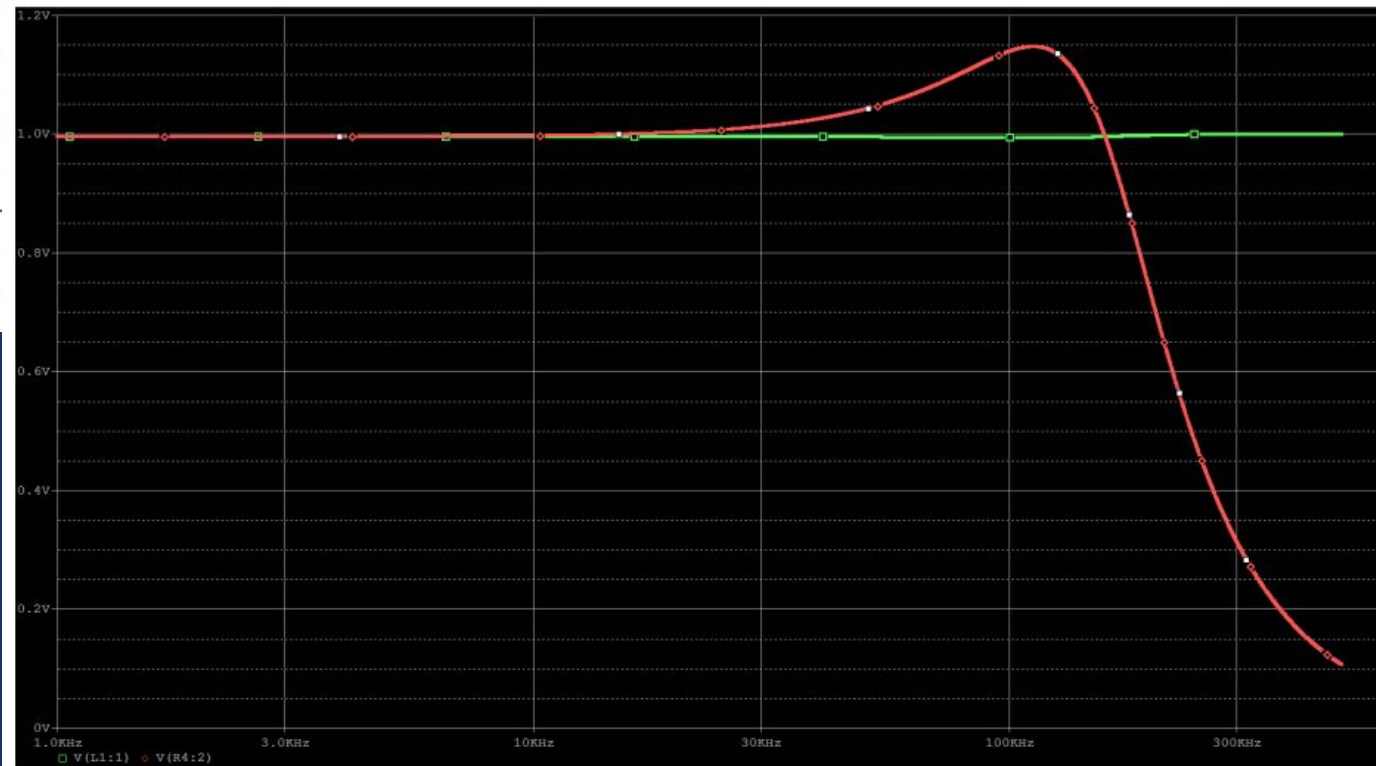
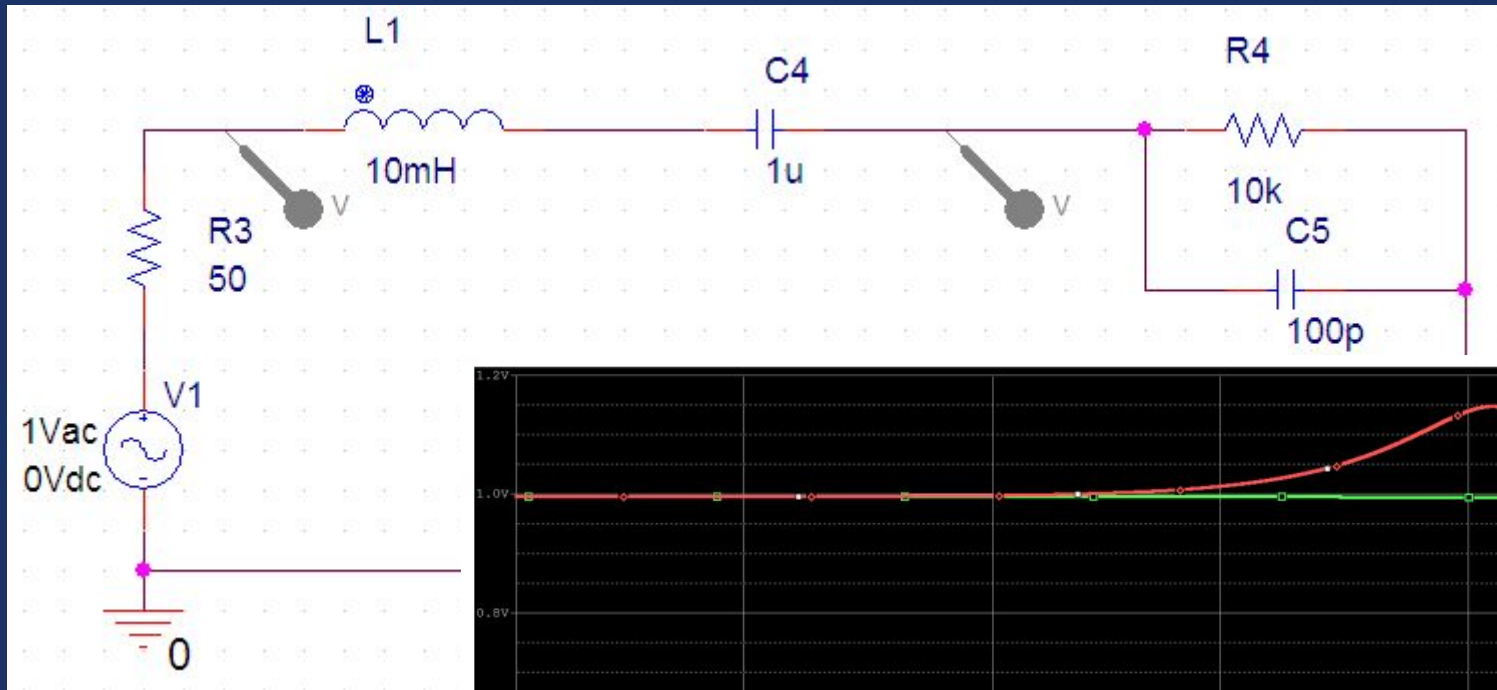
如果电感没有损耗电阻，在谐振频率时，电容和电感之间“流”的电流只表示这两个元器件之间存储的能量大小，这个能量没有被消耗掉。这个电流和外电路上的电流不同，也因此，会出现电容或电感上的压降大于外电路的压降。这样的状态不违背能量守恒定律：储存的能量来自于达到稳态之前电源的能量供给。 — 乐永康 2014/03/31 22:36

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

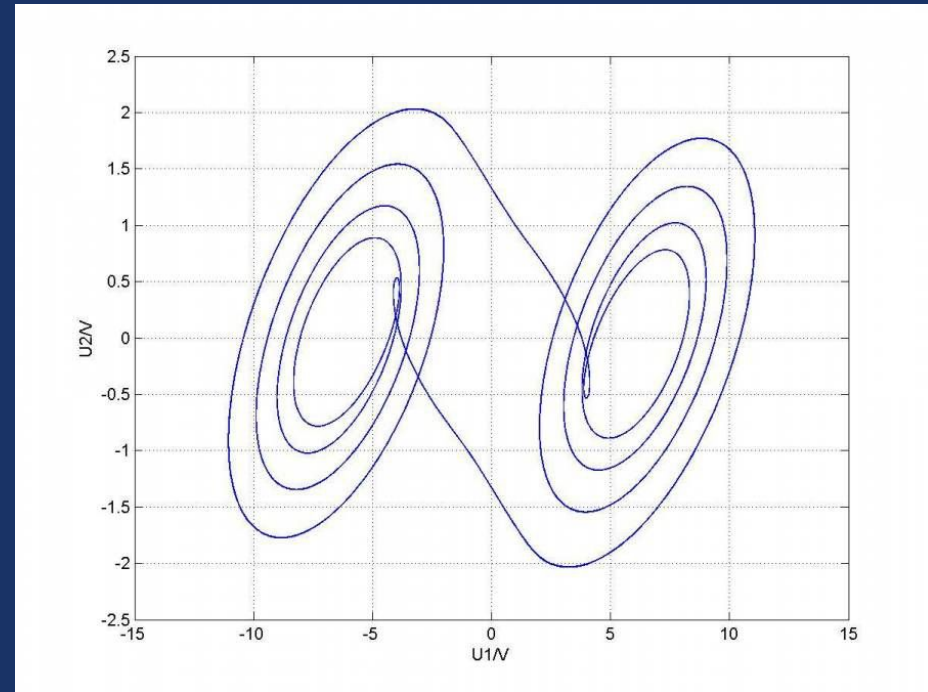
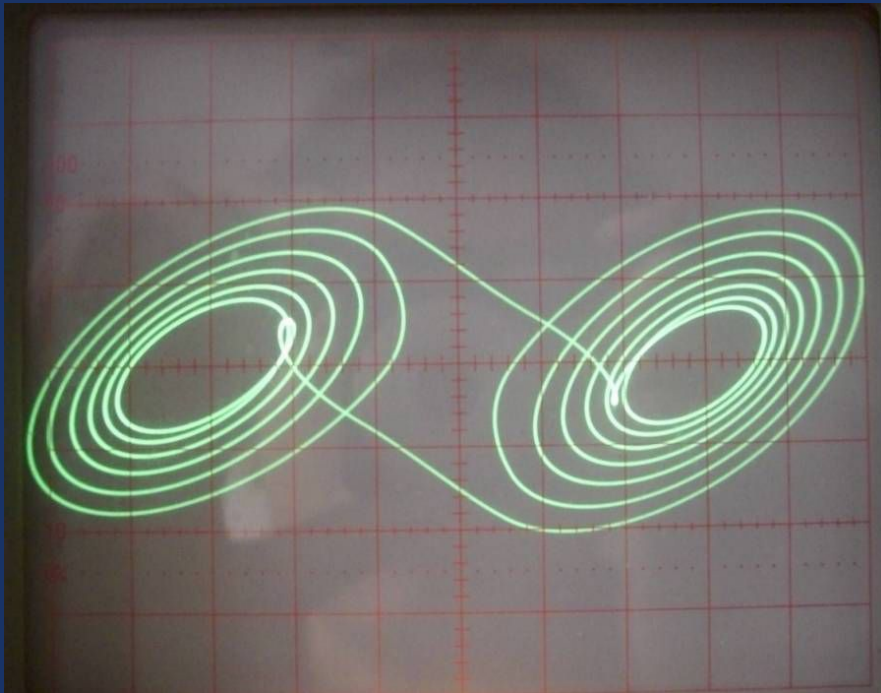
由于实验中在不同位置有多个电容，而且电容值有量级上的差别，因此表现为不同频段“多个共振峰”，实际上，在不同共振频率时，电路中各个元件的“角色”不同（也就是不同形式的LC共振电路）； $U_2 > U_1$ 只出现在高阻条件下，那是因为，此时这个电阻不是串联在LC回路上的损耗电阻，而是并联在100pF电容两端的损耗电阻，因此，你可以预期，此电阻越大，谐振曲线的Q值也越大，实际确实如此，你想让 $U_2 > U_1$ 更夸张，只需将9999欧姆的电阻去掉：这时，双踪交流电压表的输入电阻（兆欧姆量级）与导线上的100pF并联，Q值更大。若是用数字示波器重复此实验，你会发现，在交流耦合模式下，谐振频率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

# 电子线路

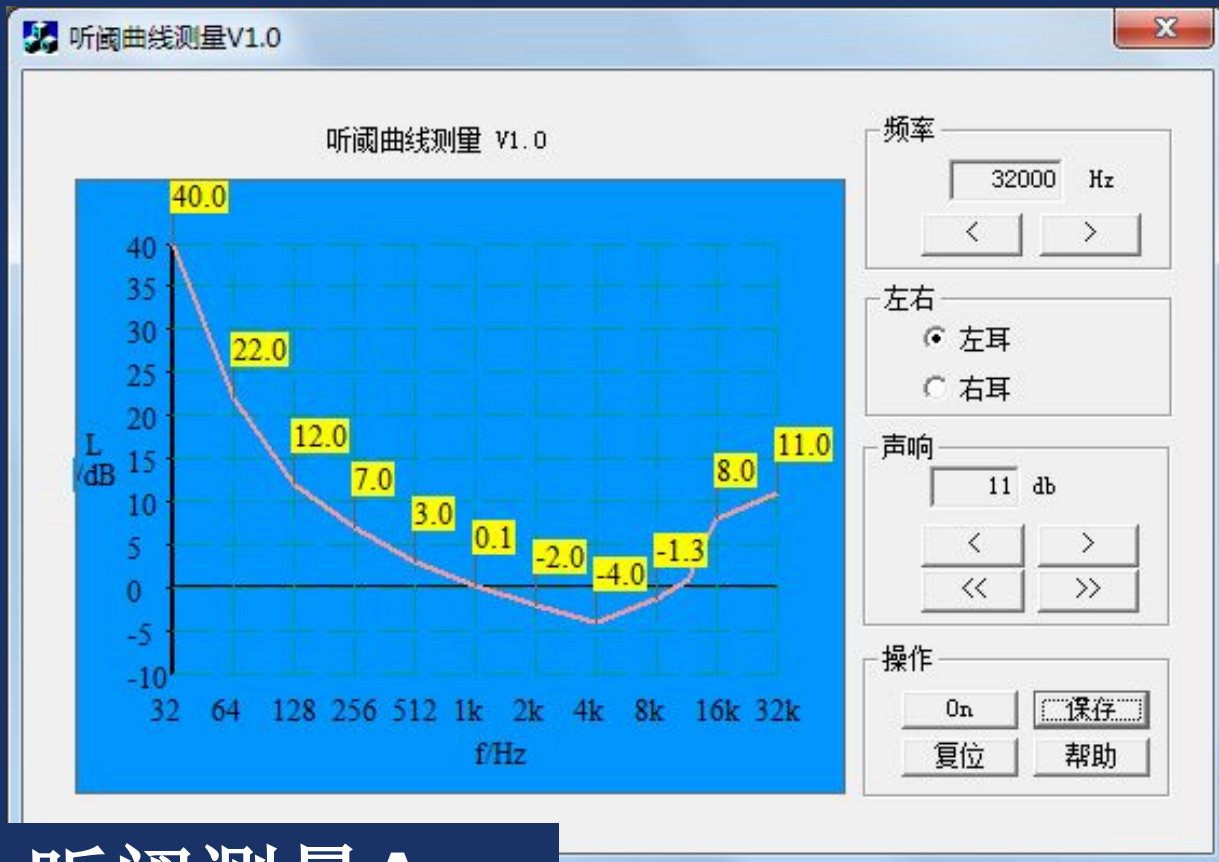


# 电路仿真

- 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



听阈测量App

肺呼吸模型

# 建设虚拟仿真实验教学中心

• [Phylab.fudan.edu.cn](http://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 Dynamic (中心动态):** A section for updates, currently empty.
- Course Notice (课程通知):** Announces 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18:30:12 23:32.
- Center Introduction (中心简介):** Lists key materials and goals:
  - 申报材料 (Application Materials):
    - 虚拟仿真中心视频
    - 复旦大学物理虚拟仿真实验教学中心申请表
  - 中心简介 (Center Introduction):
    - 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
    - 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
  - 互联网远程控制实验
- Table of Contents (目录):** A detailed list of resources including application materials, center introduction, teaching system, development courses, and case studies.



# 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！