



清华大学物理系

Department of Physics, Tsinghua University



折返的行程

千里的遗憾



清华大学物理系

Department of Physics, Tsinghua University

第十一届全国高等学校物理实验教学研讨会

铷原子饱和吸收光谱 实验设计与教学应用

孙文博

2022.08



汇报提纲

1. 背景
2. 实验
3. 教学应用



建设背景

1. 学科人才培养：

量子物理和冷原子物理重点实验项目。

2. 学术技术与课程：

克服多普勒展宽对光谱观测的影响，研究精细和超精细结构。

3. 学生认知：

泵浦光扫频，时间维度光谱展现。数理原理转化实验技术。

4. 教学规划与教学研究：

近物实验“层进式”教学的重要载体。



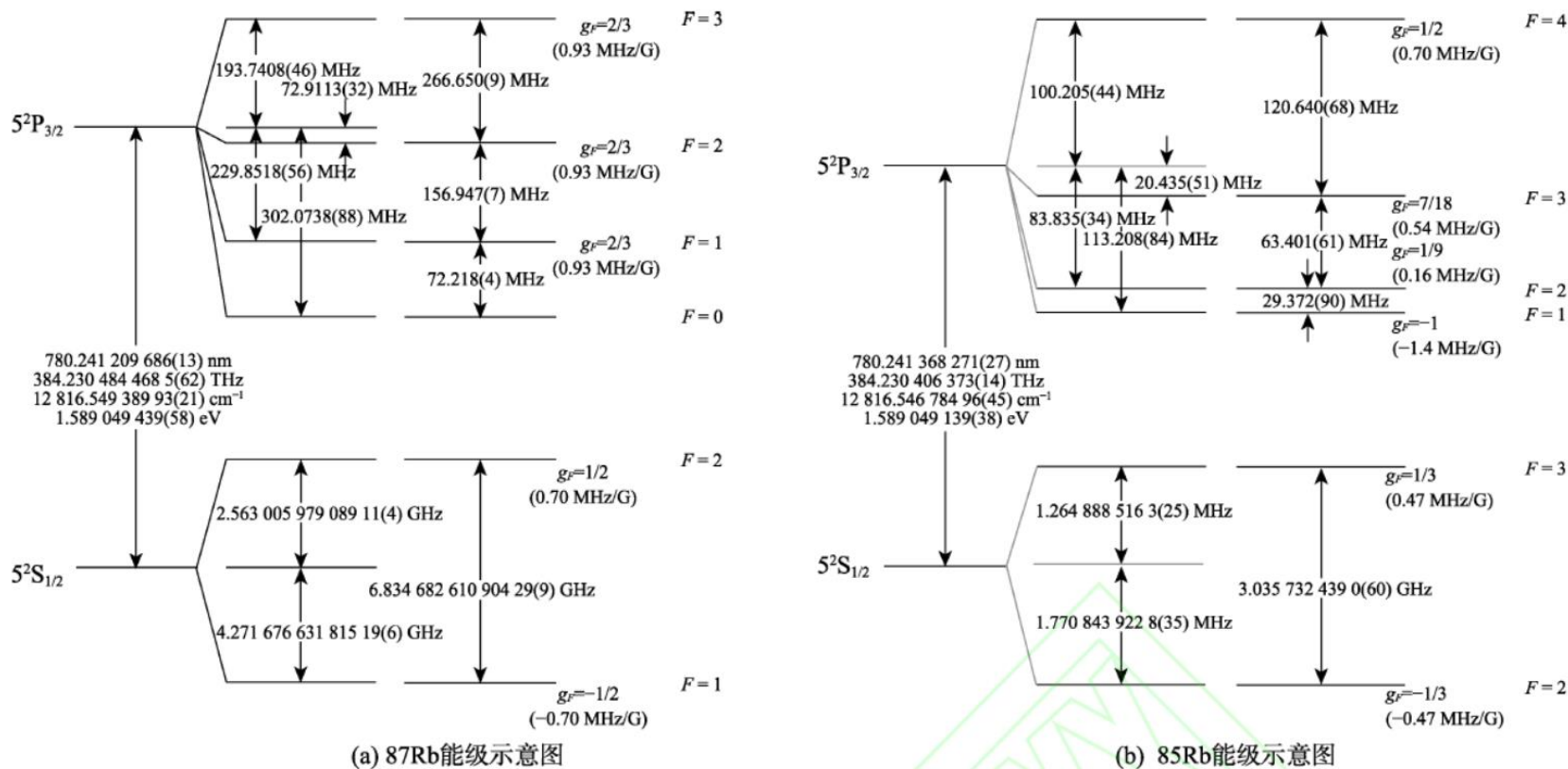
汇报提纲

1. 背景
2. 实验
3. 教学应用



1. 背景与原理

精度与科学目标



图： 铷原子两种同位素的能级图

DANIL A S. Rubidium 87 line data[EB/OL]. (2010-12-23)[2020-02-26]. <https://www.docin.com/p-201416137.html>.

DANIL A S. Rubidium 85 line data[EB/OL]. (2013-09-20)[2020-02-26]. <https://www.docin.com/p-1016846340.html>

1. 背景与原理



精度与科学目标

表 1 所有可能的本征饱和吸收峰与交叉饱和吸收峰位置与频率

	本征饱和吸收峰			交叉饱和吸收峰				
	基态	激发态	光谱频率/MHz	f1/MHz	f2/MHz	光谱频率/MHz		
Rb87	F=1	F=2	384234683.2	0	384234454.1	1	384234526.3	384234490.2
		F=1	384234526.3	0	384234454.1	2	384234683.2	384234568.7
		F=0	384234454.1	1	384234526.3	2	384234683.2	384234604.8
	F=2	F=3	384228115.2	1	384227691.6	2	384227848.6	384227770.1
		F=2	384227848.6	1	384227691.6	3	384228115.2	384227903.4
		F=1	384227691.6	2	384227848.6	3	384228115.2	384227981.9
Rb85	F=2	F=3	384232156.8	1	384232064	2	384232093.4	384232078.7
		F=2	384232093.4	1	384232064	3	384232156.8	384232110.4
		F=1	384232064	2	384232093.4	3	384232156.8	384232125.1
	F=3	F=4	384229241.7	2	384229057.6	3	384229121	384229089.3
		F=3	384229121	2	384229057.6	4	384229241.7	384229149.7
		F=2	384229057.6	3	384229241.7	4	384229241.7	384229181.4

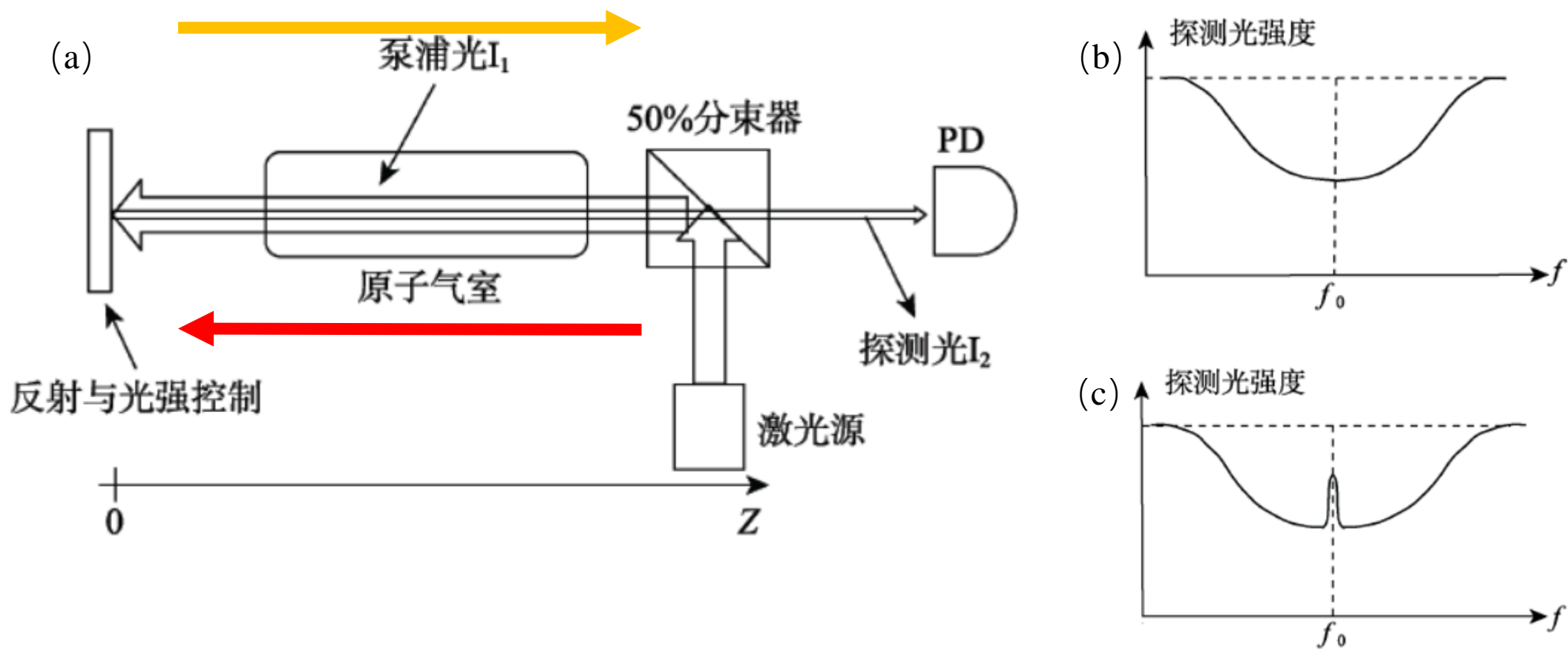
波长差仅：
1.60E-4nm

总波长差：
1.14E-2nm

1. 背景与原理



实验方法

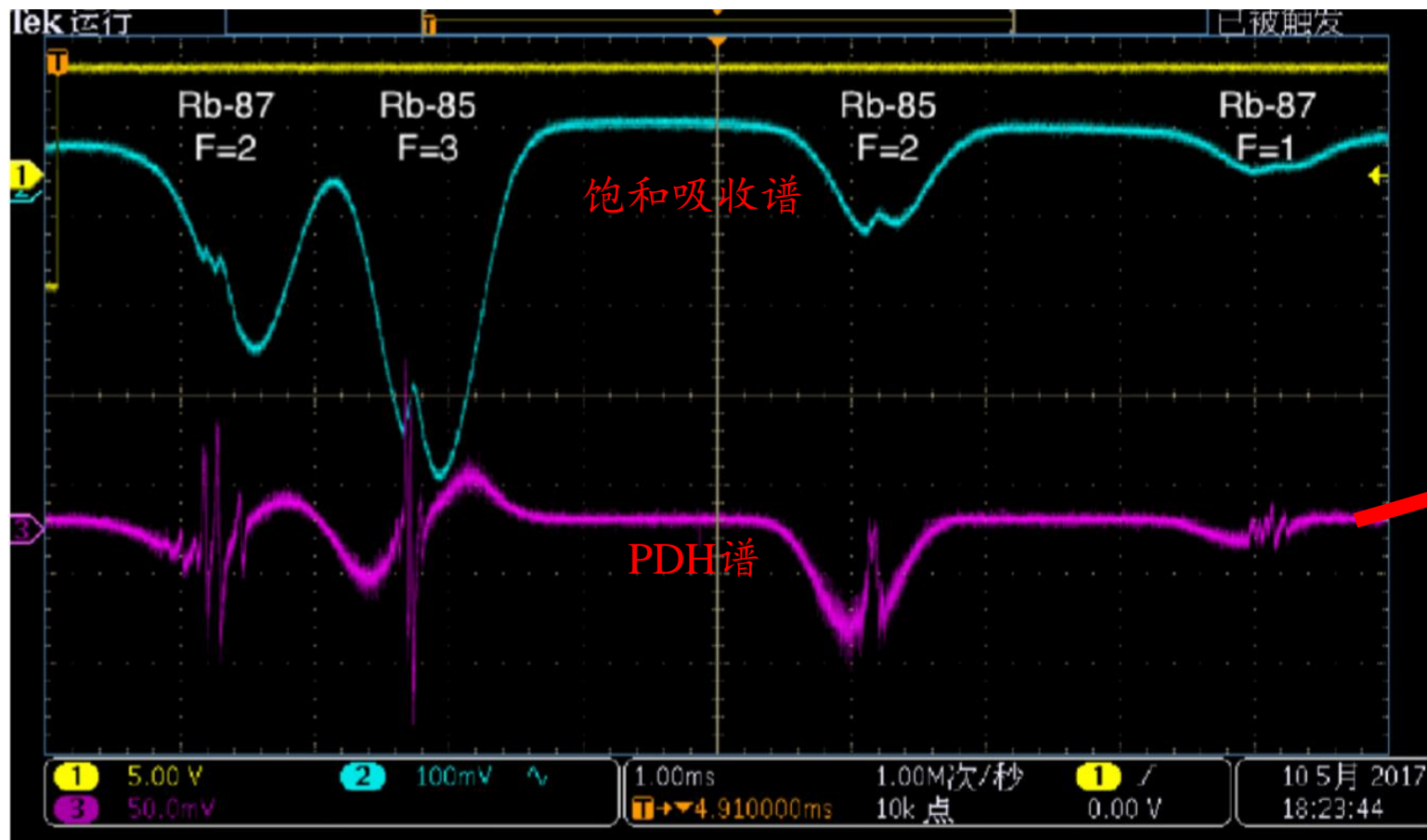


图： 技术方法概要

(a) 光路, (b) 无泵浦光影响时探测到的谱线, (c) 有泵浦光影响时探测到的谱线



实验结果

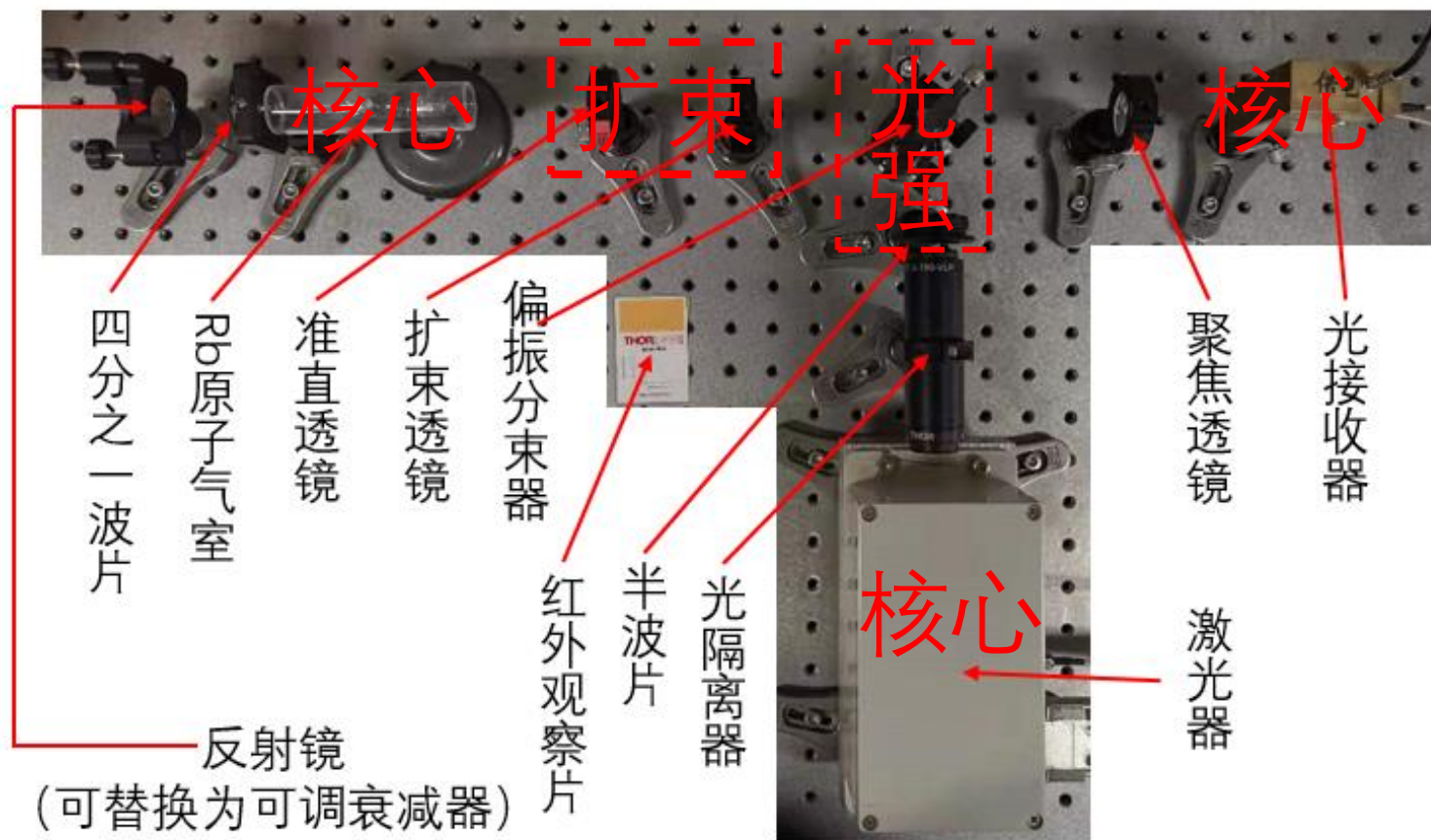


PDH
技术与思想

图： 实验总体结果



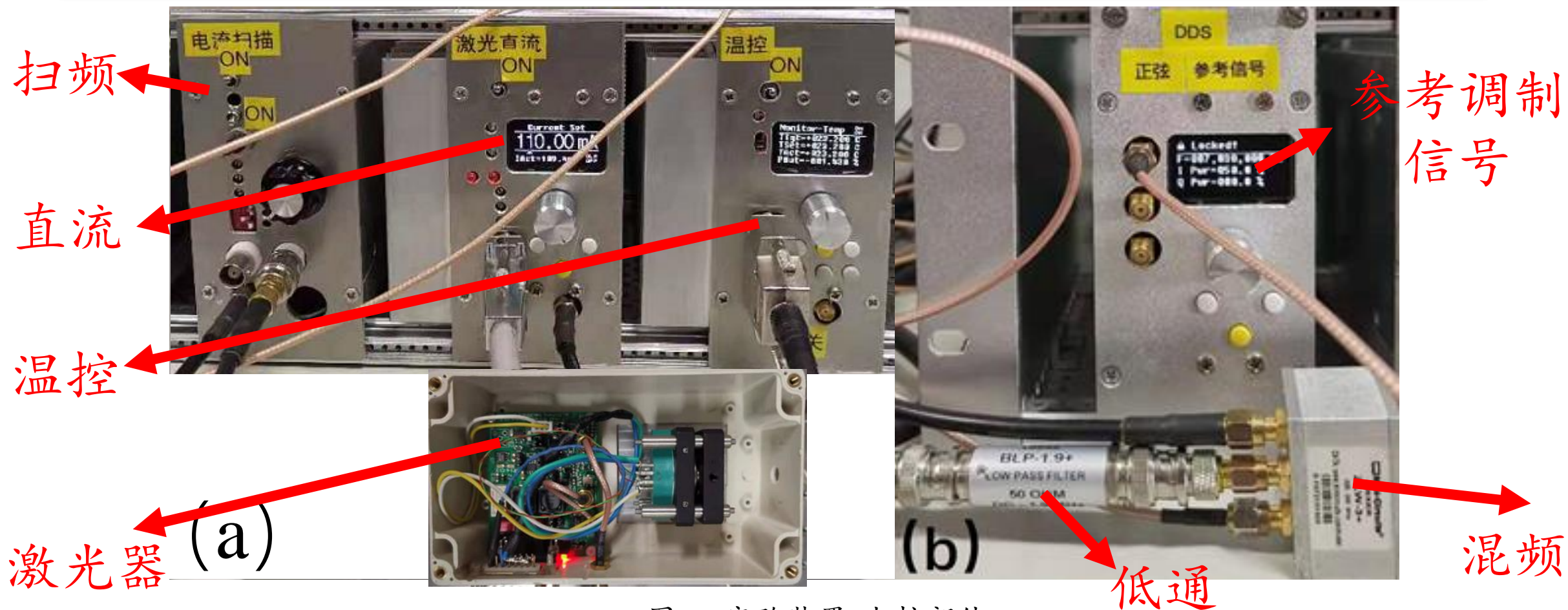
实验思维引导



图：实验装置光路图



仪器构建：电子学

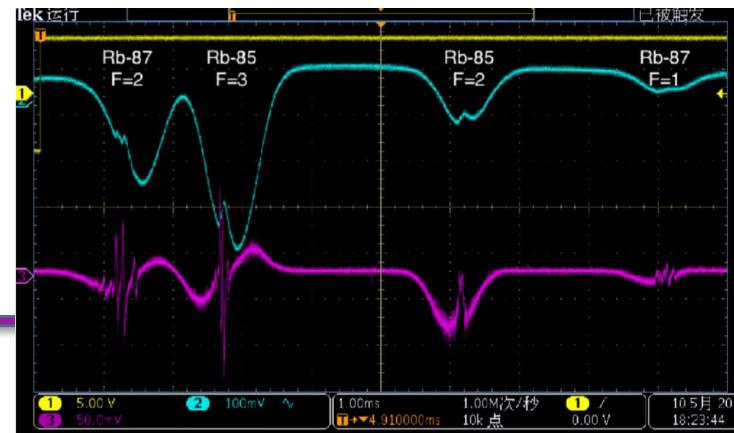


图：实验装置 电控部件
(a) 泵浦区，(b) 探测区



1.背景与原理

PDH谱



激光 $E(t) = E_0 e^{i2\pi ft}$

加调制参考信号

$$E(t) = E_0 e^{i(2\pi ft + M \sin 2\pi f_m t)}$$

数学展开

$$E(t) \approx E_0 [J_0(M) e^{i2\pi ft} + J_1(M) e^{i2\pi(f+f_m)t} - J_1(M) e^{i2\pi(f-f_m)t}]$$

$J_n(M)$ 为 n 阶贝塞尔函数

PDH谱

与参考信号
混频、低通

照射铷气室

$$P = |E_0 \alpha(f) J_0(M)|^2 + |E_0 \alpha(f + f_m) J_1(M)|^2 + |E_0 \alpha(f - f_m) J_1(M)|^2 + 2E_0^2 |J_0(M) J_1(M)| \{ \text{Re}[\alpha(f) \alpha^*(f + f_m) - \alpha^*(f) \alpha(f - f_m)] \cos 2\pi f_m t + \text{Im}[\alpha(f) \alpha^*(f + f_m) - \alpha^*(f) \alpha(f - f_m)] \sin 2\pi f_m t \} + \dots$$

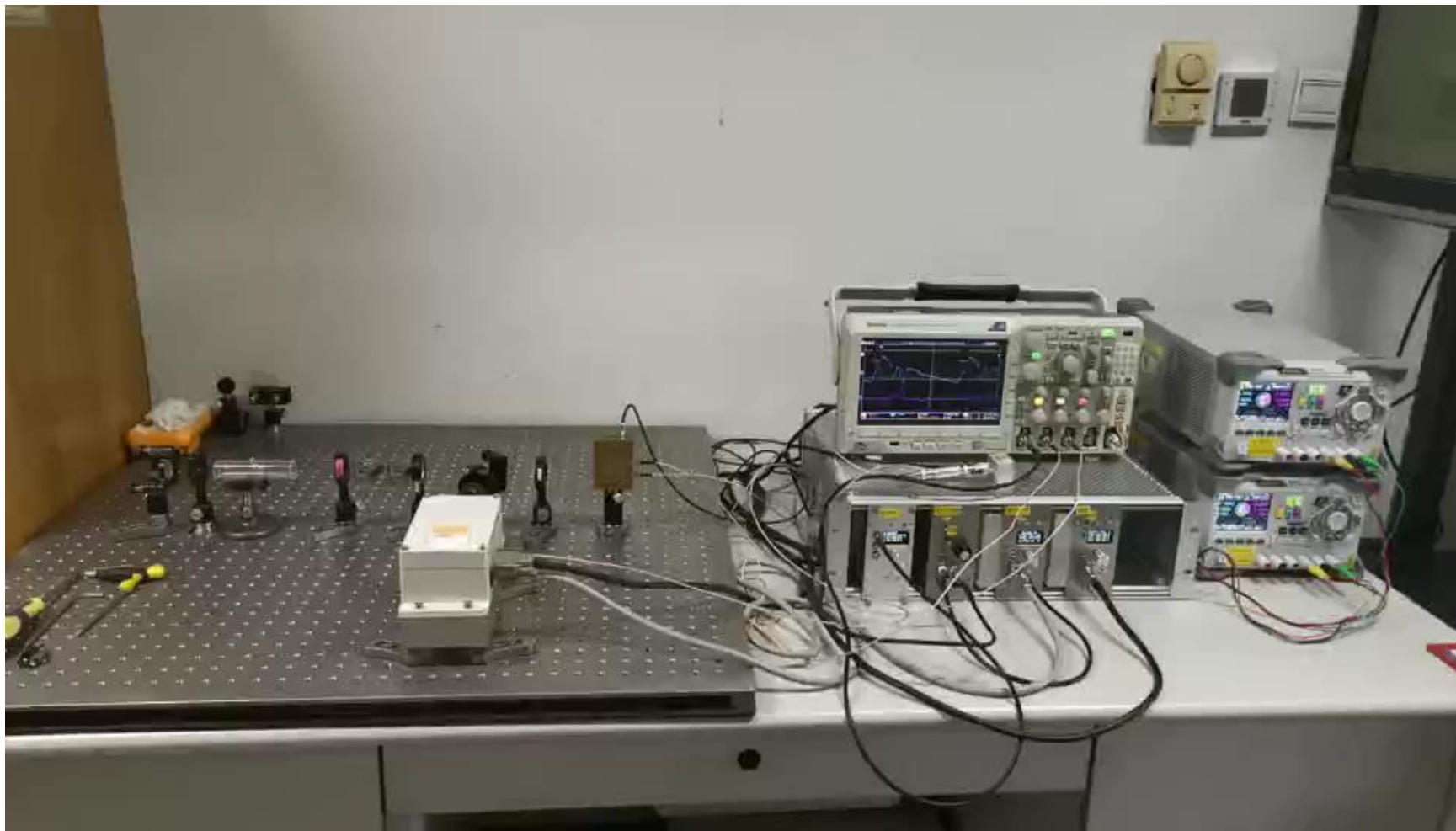
光电探测: ↑ 光功率 P

$$E(t) \approx E_0 [\alpha(f) J_0(M) e^{i2\pi ft} + \alpha(f + f_m) J_1(M) e^{i2\pi(f+f_m)t} - \alpha(f - f_m) J_1(M) e^{i2\pi(f-f_m)t}]$$

吸收系数 $\alpha(f)$:



视频1 (全局)



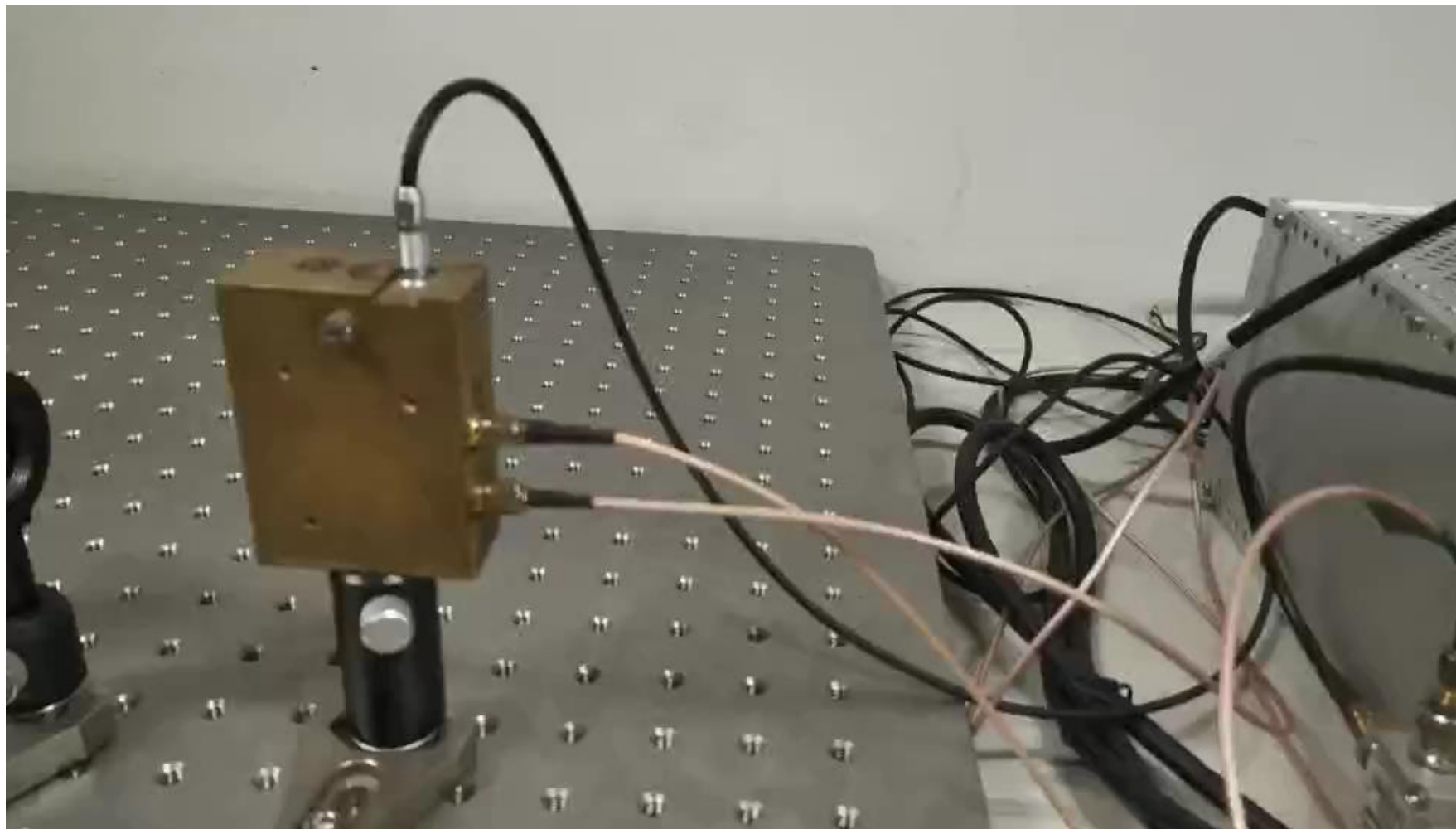


视频2（流程）



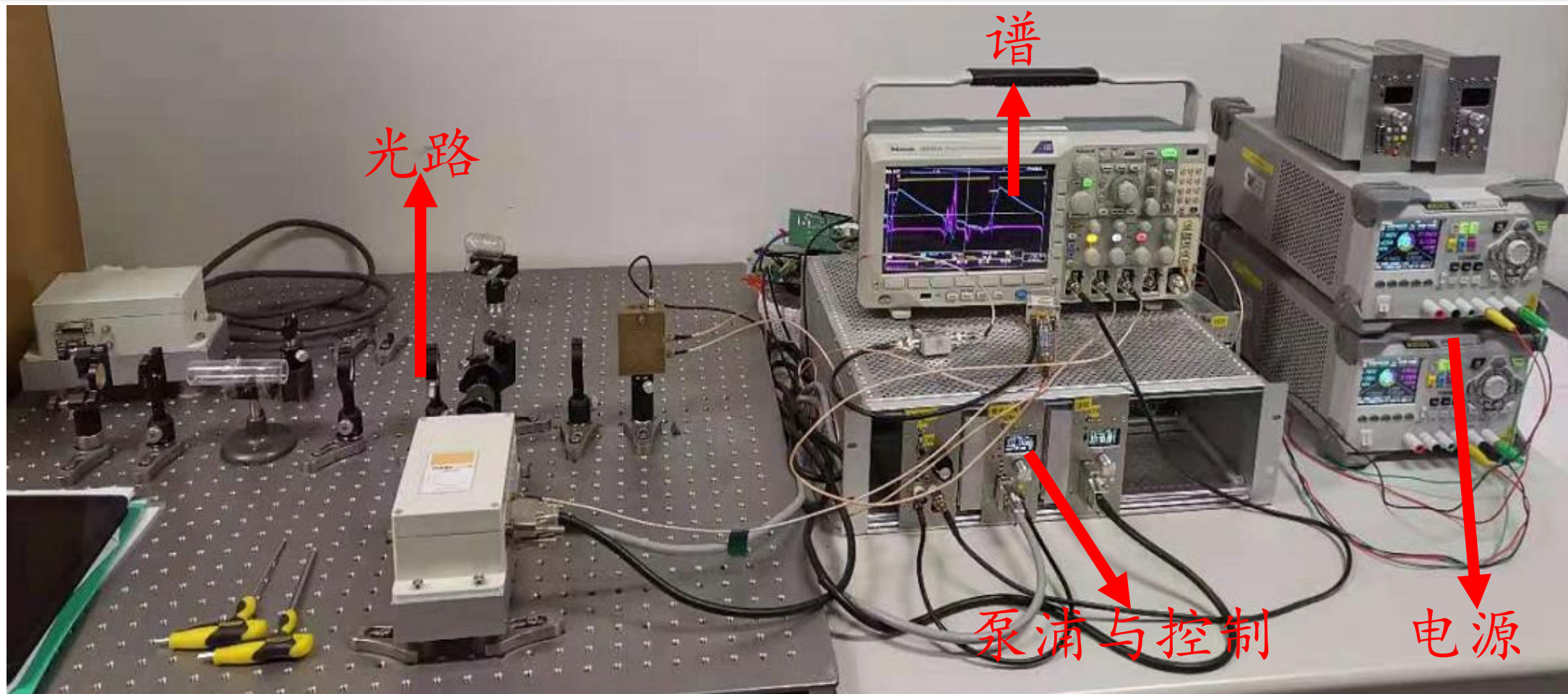


视频3 (信号处理)





实验全貌



图：实验装置 总体照片



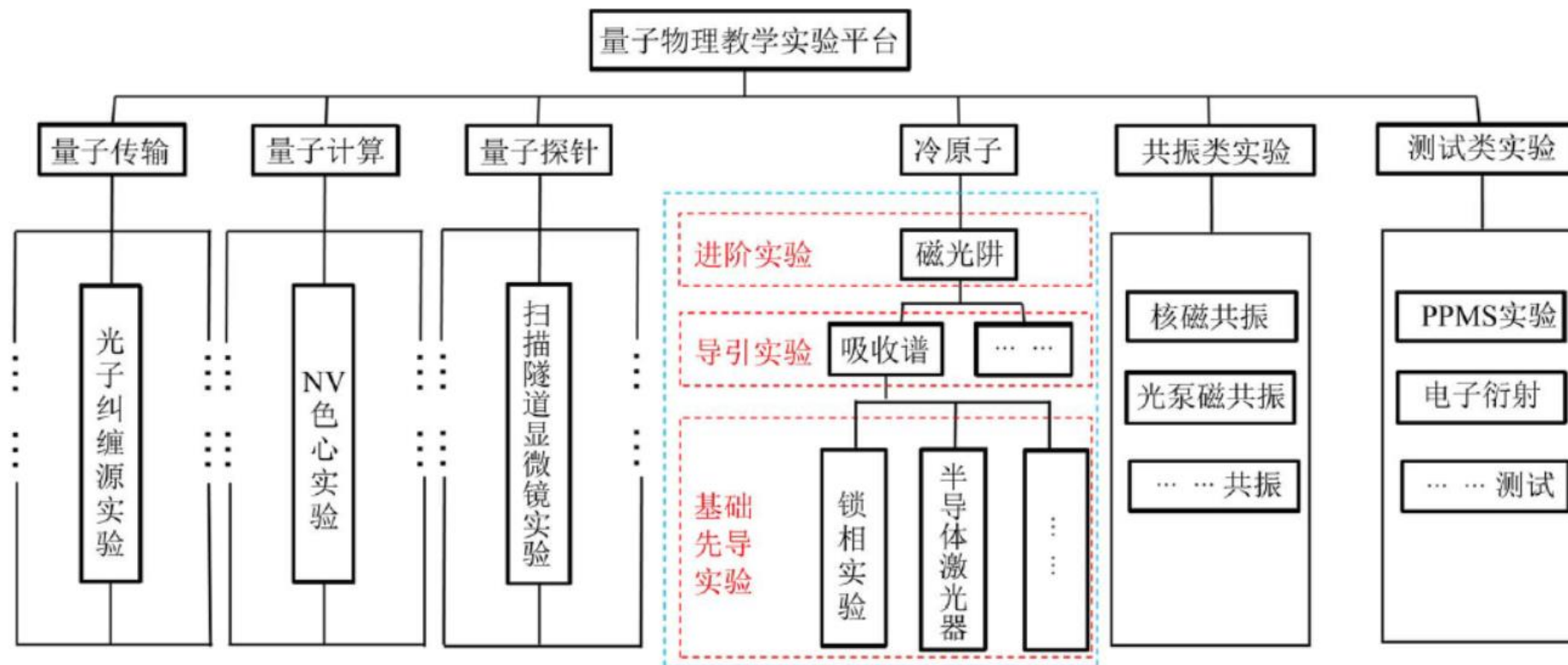
汇报提纲

1. 背景
2. 实验
3. 教学应用



教学定位

定位：量子平台 第2阶实验

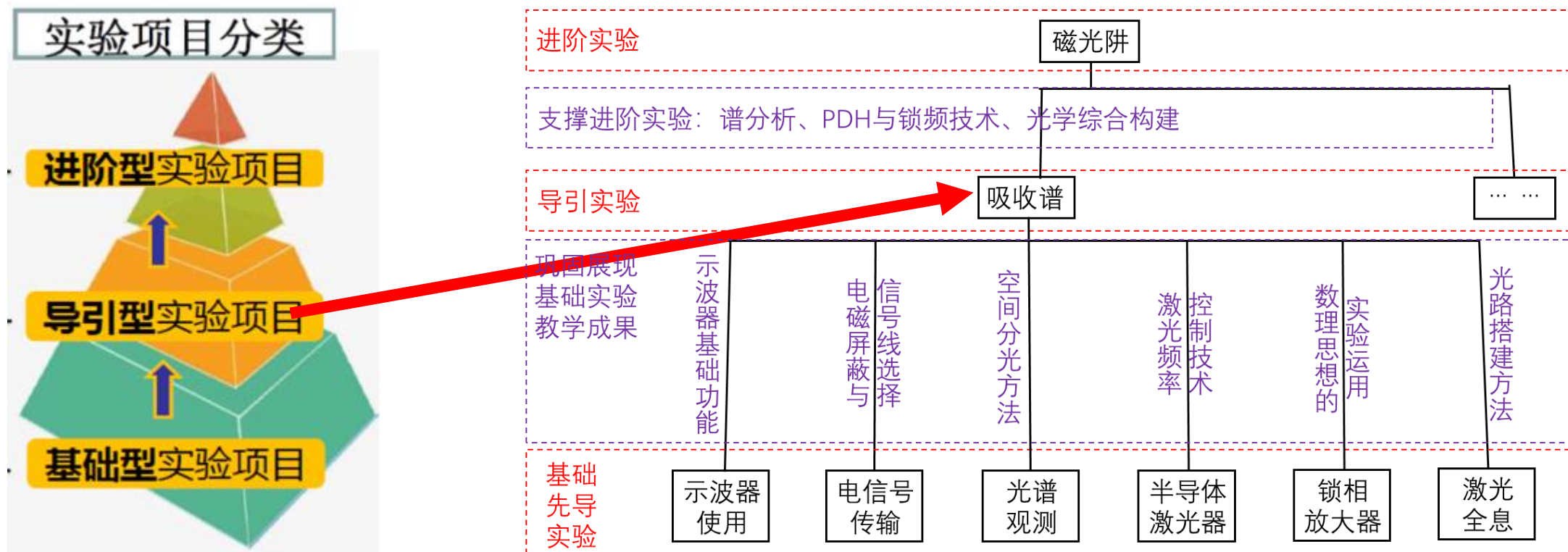


图：量子物理教学平台实验区块分布图



教学设计

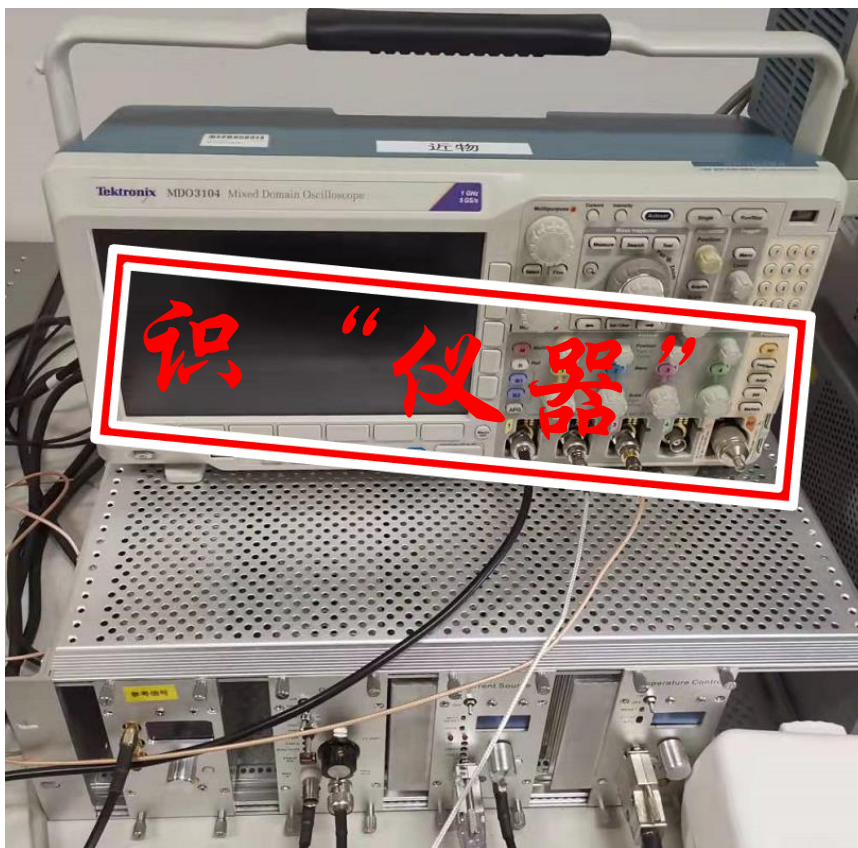
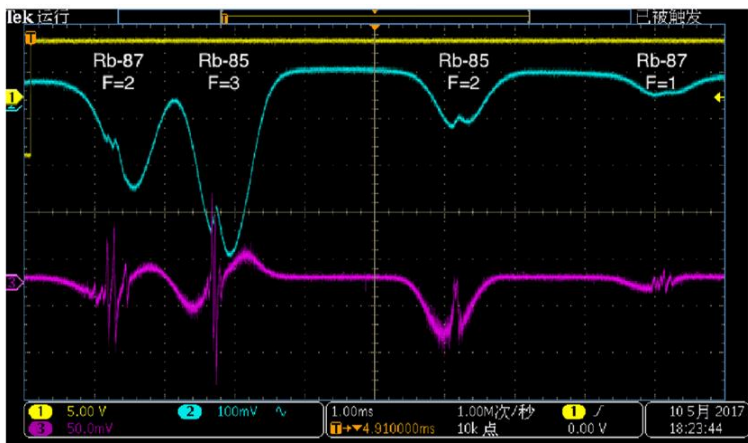
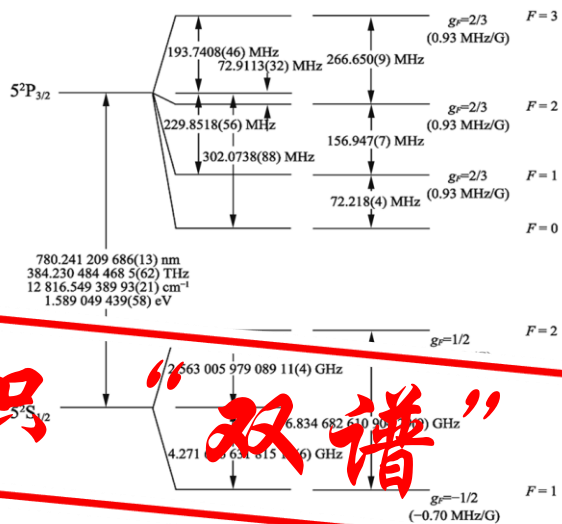
宏观：承下启上---利于学生系统学习复杂实验体系



图：吸收谱实验在课程中的定位



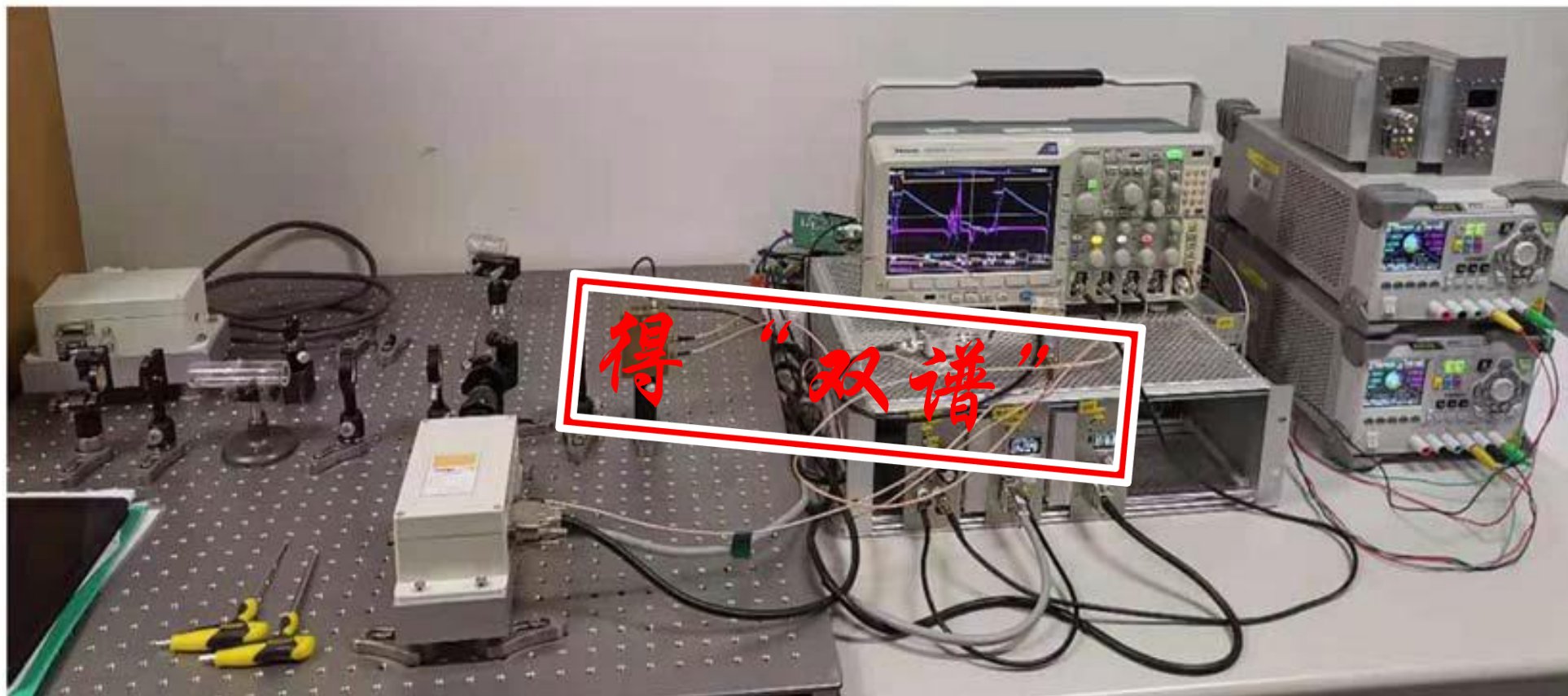
实验内容



图：教学步骤123



实验内容



图：教学步骤4



实验内容

- ① 原理与设计：实验原理学习与实验设计思想认知。
- ② 电子学连线：选择信号线，选择参数表，电子学控制部分连线。
- ③ 光路搭建：训练学生由“理”及“表”思维方式，学习光路布局调试。
动手训练
- ④ 示波器提高：复习示波器基本使用，新学“平均、存取、测量”等功能。
- ⑤ 谱分析训练：定性分析实验结果中，铷两种同位素的精细和超精细结构。
分析训练
- ⑥ 定标法训练：学习实验结果中，激光扫频在示波器横轴上的定标方法。
- ⑦ 应用性计算：运用定标结果，计算激发态寿命和原子气体温度。
应用与创新



学时分布

微观：层进式教学---适应不同课时需求

3学时：吸收光谱分析，能级体系认知，核心光路调节。

4学时：增加扫频定标，激发态寿命计算，气体温度计算。

5学时：增加以高级示波器为例的陌生仪器上手训练，以光路部分为例的部件组合设计与使用启发式训练。

6学时：增加电子学仪器使用规范训练，以电子学部件连接为例的实验设计规划能力训练。

8学时：增加数理思想指导实验技术综合能力训练，高精度光路构建训练，方案优化能力训练，创新思维训练。



仪器特色与应用情况

► 仪器特色：

便于推广：电源——通用，控制器——自制，光路——搭建。

技术参数为教学需求量身定制，**无冗余：**“足够用，且仅够用”。

应用情况：

2018，试验机型完成，教学试运行。2019，大规模教学使用。

完成**7个学期本科生教学**，共计**约1700人时**。

学生评价：2020年抽样调查，好评率100%（调研样本数50，学生总数153）。

评价亮点：数理思想与实验技术结合、仪器和部件的组合应用训练。



谢谢!

时间所限，不详之处，**请参阅**：

附件1：技术论文

孙文博, 张慧云, 郑盟锴, 王合英, 陈宜保. Rb原子饱和吸收光谱实验教学系统[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(08):154-161+194.

附件2：教学应用论文

孙文博, 王合英, 郑盟锴, 陈宜保, 郭旭波, 张留碗. 饱和吸收光谱实验的教学定位与教学设计[J]. 物理实验, 2021, 41(09):29-34.