

通识教育背景下的实验物理教学

张留碗

清华大学物理系

国家级实验物理教学示范中心

2021 -04 -1



- 大学物理实验是通识教育
- 通识教育背景下的实验物理教学

一、大学物理实验是通识教育

工科实验物理教学存在的问题

- 学生缺乏兴趣；
- 学生没有成就感和收获；
- 学生和院系觉得对后续的专业没有帮助；
- 投入产出不成比例

大学物理实验的教学环境

➤ 高考制度改革

➤ 中学新课标

➤ 中学实践活动极度不均匀

➤ 招生制度的不断改革（大类招生、强基计划、书院制）

➤ 大学减学分

➤ 大学科研实践活动的多样性（Seminar，国内外游学）

➤ 丰富的线上资源

清华大学物理系实践训练路线图

宽口径 厚基础 强实践

第1-4学期

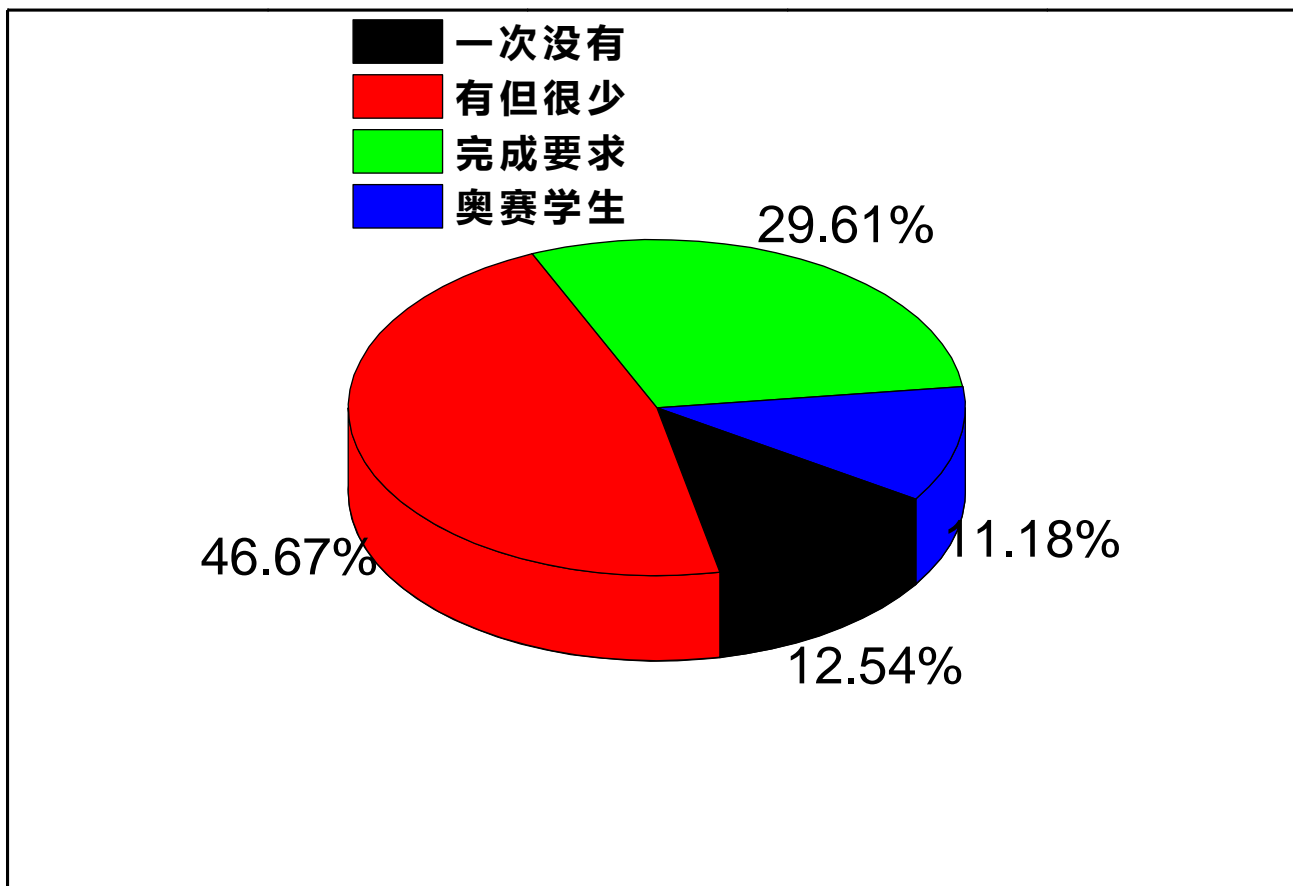
演示实验	电子电工实验	研究性实验选题
基础物理实验	金工实习	
	SRT	

第5-7学期

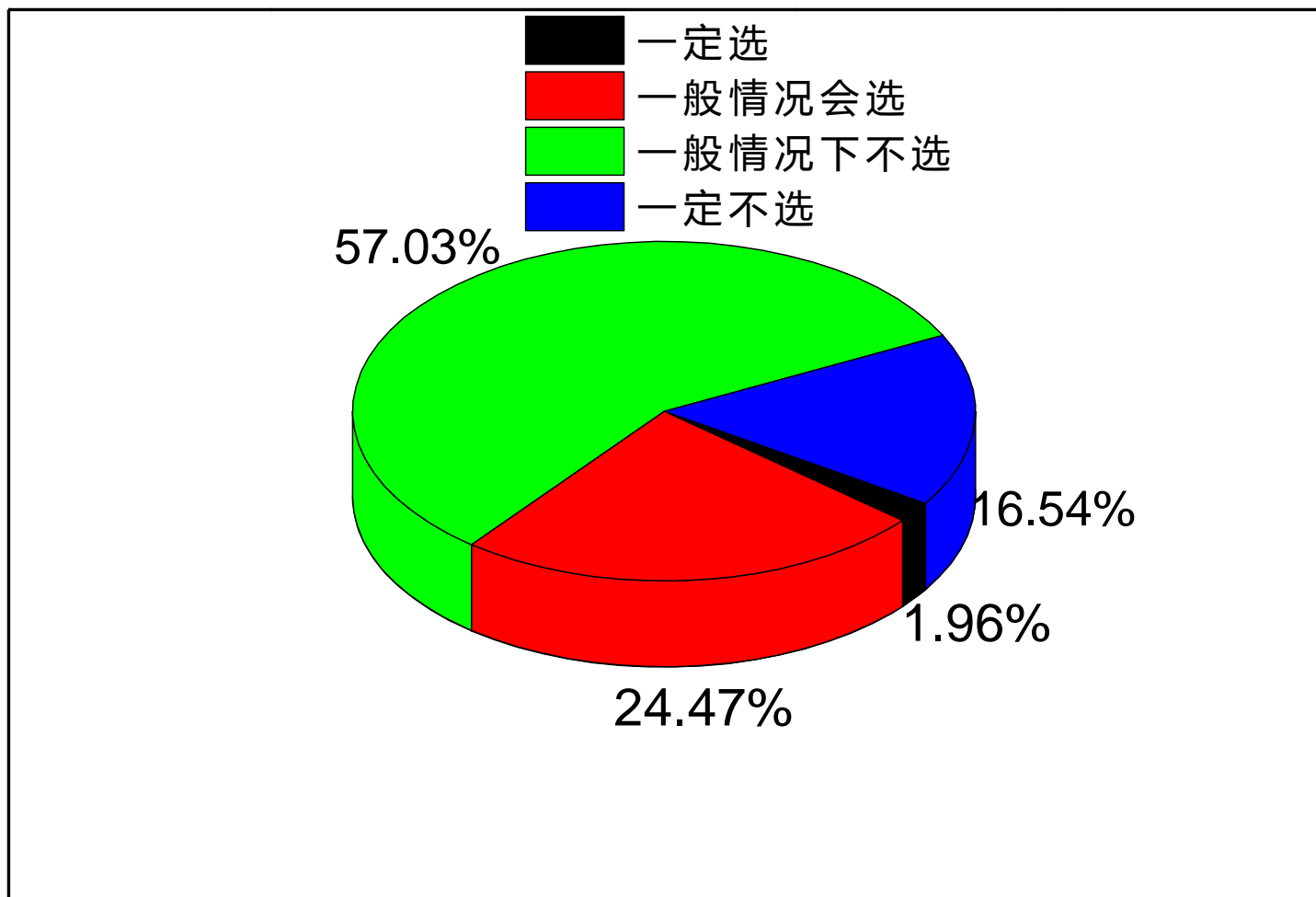
近代物理实验	高等物理实验
Seminar	小学期研究训练

第8学期 综合论文训练

大一、大二学生的问卷调查（2017-2018）



你在高中阶段做过物理实验吗？



如不是必修，你会选大学物理实验课吗？

清华大学工科实验物理教学

非物理类学生

物理实验A1（32学时）

物理实验A2（32学时）

或

物理实验B1（24学时）

物理实验B2（24学时）

新的教学环境决定了我们的实
验物理教学一定是通识教育背
景下的实验物理教学

大学物理实验教学的定位是通识教育

二、通识教育背景下的实验物理教学

为什么做？ 实验教学的目的

做什么？ 实验教学内容

怎么做？ 实验教学的方法



为什么需要实验物理教学？

面对学生：必须回答

实验老师：似乎不需要回答

实际情况：不容易回答

实验物理教学存在的理由

物理的核心素养

➤物理观念

主要包括物质观念、运动与相互作用观念、能量观念等要素

➤科学思维

主要包括模型建构、科学推理、科学论证、质疑创新等要素

➤科学探究

主要包括问题、证据、解释、交流等要素

➤科学态度与责任

主要包括科学本质、科学态度、社会责任等要素

物理的核心素养

- 物理观念
- 科学思维
- 科学探究
- 科学态度与责任

清华大学三位一体教学宗旨

- 价值塑造
- 能力培养
- 知识传授

物理教育的目的就是提高学生物理的核心素养，为学生终身学习、应对现代和未来社会发展的挑战打下基础

人文素养、信息素养、工程素养

实验物理教学是培养物理核心素养最好的平台

实验物理教学改革的思想

以兴趣为先导；

以物理为灵魂；

以前沿应用为背景；

分类实验物理教学

以兴趣为先导

“科学研究特别是基础研究的出发点往往是科学家探究自然奥秘的好奇心。”

“好奇心是人的天性，对科学兴趣的引导和培养要从娃娃抓起，使他们更多了解科学知识，掌握科学方法，形成一大批具备科学家潜质的青少年群体。”

习近平总书记2020年9月11日科学家座谈会上

课前推送

- 演示实验及其视频，仪器使用**MOOC**等
- 虚拟仿真课堂演示实验
- 课程思政-实验的物理思想、历史中的重要作用、物理学家

物理实验要以物理为灵魂

□ 实验物理教学存在的理由-

它富有物理

提高实验动手能力不是实验物理的主要目的

□ 三类物理实验

- 验证型实验：-实验设计、实验动手、实验分析能力
- 学习型实验：-从已知到未知；（自主学习）
- 研究型实验：-从现象探究规律（自主探索）

获 成
得 就
感 感



通过学习和探索，对平常难以理解的（如二元液体混合物的相变）、不可思议的（超光速和慢光速）、前沿问题（无线电能传输）有深入的理解。实验精心设计，每一步都有获得，做得越多，收获越大，即使做完实验，仍意犹未尽。

因好奇心而引发的兴趣像小树苗一样珍贵而脆弱，需要悉心呵护。增加学生的成就感和获得感是守护、强化好奇心和创造力的有效方法之一。

物理实验应用为背景

应用是工科院的特点，实验设计兼顾“有用”

- 物理实验的仪器、物理实验的方法、物理实验思想
- 结合共性背景 -能源、信息、健康、气候
- 结合专业背景 -医学物理 信息物理 材料物理
- 结合热点 -卡脖子的芯片、疫情防护

基于上述指导思想和边界条件，实验的
覆盖面、实验项目数可能都需要调整

实验建设的思路（以前）

➤ 学科全面

基础物理覆盖了力、热、声、光、电、磁
近代物理和高等物理覆盖了物理学所有二级学科
体现了近代特色

➤ 开放性、拓展性、积木式

基础-综合-设计-研究 平台建设

➤ 基础性、前沿性和应用性

物理的发展前沿 实验技术的前沿

➤ 清华研究特色

科研成果转化

2019年大学物理实验A1

必做6个

- 1-直流电桥测电阻
- 2-示波器的原理和使用及声速测量
- 3-准稳态法测不良导体的导热系数和比热
- 4-动态法、拉伸法测弹性模量
- 5-用传感器测空气相对压力系数
- 6-三线摆和扭摆测转动惯量
- 7-阻尼振动与受迫振动
- 8-分光计的调节和色散曲线的测定
- 9-透镜焦距测量

选做2个

- 1-灵敏电流计
- 2-密立根油滴实验
- 3-伏安法测电阻
- 4-液体粘度测量实验
- 5-线胀系数+锡凝固点
- 6-空气比热容比测量
- 7-弦振动实验
- 8-弹簧振子实验

2019年大学物理实验A2

必做6个

- 1-压电元件导纳圆测量及互感耦合电路特性
- 2-夫兰克-赫兹实验
- 3-用单色仪测定介质的吸收曲线
- 4-偏振光学实验
- 5-光栅衍射实验
- 6-塞曼效应实验
- 7-磁场分布测量、磁滞回线
- 8-霍尔效应及磁阻测量
- 9-数字存储示波器与瞬态信号测量
- 10-逸出功的测量

选做2个

- 1-研究性题目 (*7个题目见表后)
- 2-物理量的计算机采集
- 3-混沌实验
- 4-全息照相
- 5-迈克尔逊干涉仪
- 6-高温超导实验
- 7-磁场分布测量、磁滞回线

*7个研究型实验题目

- 1.多普勒效应综合实验
- 2.液晶电光效应实验
- 3.光拍频法测量光速，声光法测量透明介质中的声速
- 4.光电效应测普朗克常数
- 5.太阳能电池特性实验
- 6.红外通信特性及应用实验
- 7.音频信号光纤通信原理

2019年大学物理实验B1-B2

物理实验B1

- 1-直流电桥测电阻
- 2-示波器的原理和使用及声速测量
- 3-准稳态法测不良导体的导热系数和比热
- 4-动态法+拉伸法测弹性模量
- 5-用传感器测空气相对压力系数
- 6-三线摆和扭摆测转动惯量
- 7-阻尼振动与受迫振动
- 8-分光计的调节和色散曲线的测定
- 9-透镜焦距测量

物理实验B2

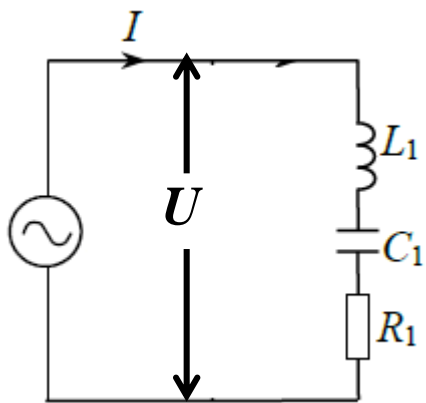
- 1-压电元件导纳圆测量及互感耦合电路特性
- 2-夫兰克-赫兹实验
- 3-用单色仪测定介质的吸收曲线
- 4-偏振光学实验
- 5-光栅衍射实验
- 6-塞曼效应实验
- 7-霍尔效应及磁阻测量
- 8-数字存储示波器与瞬态信号测量
- 9-逸出功的测量

学习型 -压电元件导纳圆的测量

一、实验目的

- 1、了解压电材料的特性及其等效电路
- 2、掌握用示波器测量交流阻抗的方法
- 3、掌握通过测量压电元件导纳圆求出压电元件特性参数的方法

Part 1 电阻、电感和电容在交流电路中的行为研究 (1/3)



(1) 分别测量 $u_R - t, u - t, u_L - t, u_C - t, i - t$

(2) 写出函数关系, 比较它们之间的相位关系

$$u_R(t) = u_{R0} \cos(\omega t + \varphi_R) \quad u(t) = u_0 \cos(\omega t + \varphi_u)$$

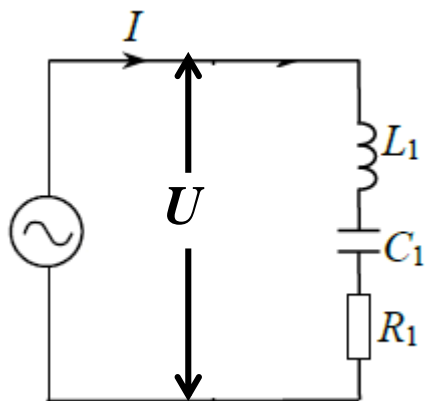
$$u_L(t) = u_{L0} \cos(\omega t + \varphi_L) \quad u_C(t) = u_{C0} \cos(\omega t + \varphi_C)$$

$$i(t) = i_0 \cos(\omega t + \varphi_i)$$

(3) 检验基尔霍夫第二定律

$$u(t) = u_L(t) + u_C(t) + u_R(t)$$

Part 1 电阻、电感和电容在交流电路中的行为研究 (2/3)



(4) 由欧拉公式引入复电流和复电压

$$\tilde{u}_R(t) = u_{R0} e^{j(\omega t + \varphi_R)}$$

(5) 引入复阻抗和复导纳

$$Z = \frac{u}{i} = Z_1 + jZ_2, \quad Y = \frac{i}{u} = g + jb$$

(6) 计算串、并联电路的复阻抗和导纳

Part 1 电阻、电感和电容在交流电路中的行为研究 (3/3)

(7) 改变信号源频率，观察暂态过程；

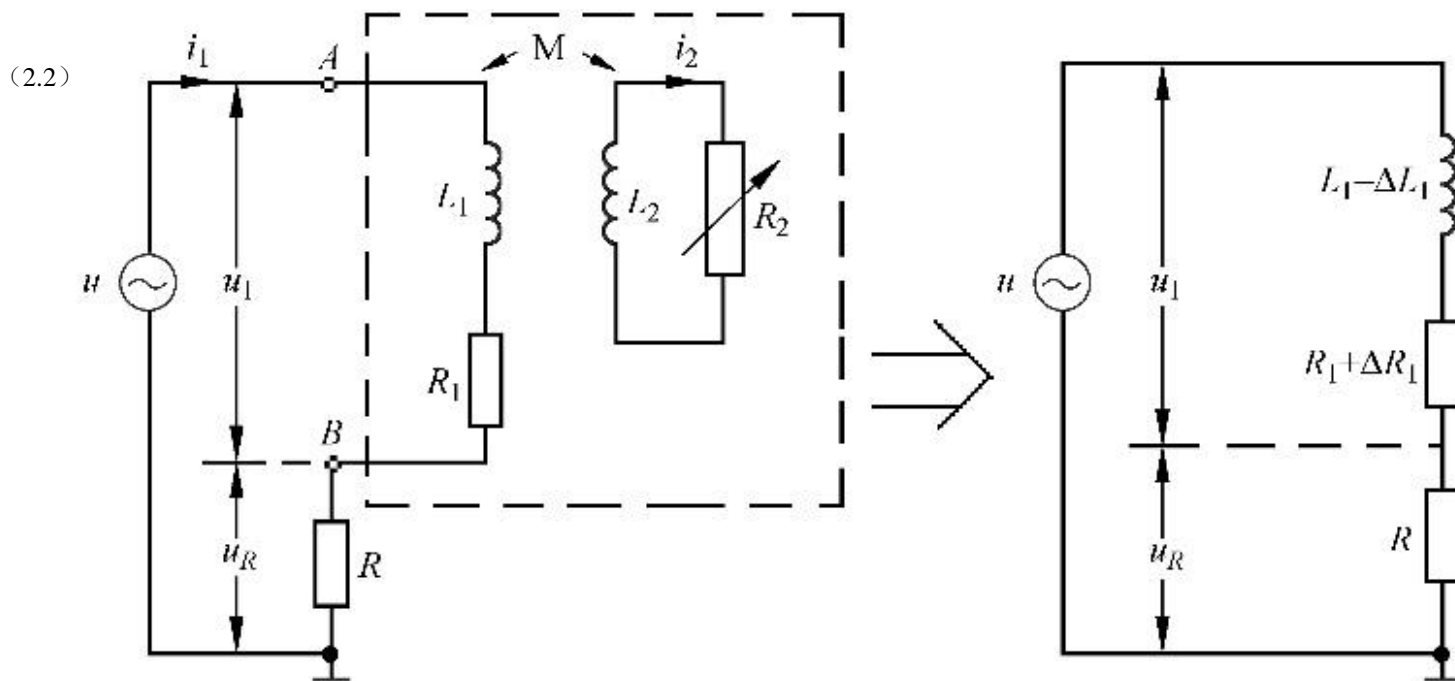
(8) 测量 $i_0 - f$ 曲线，观察谐振现象，确定谐振频率 f_0

(9) 利用 $i_0 - f$ 曲线计算品质因数 Q

(10) 测量谐振频率下, $u_L(t)$, $u_C(t)$, $u_R(t)$
振幅和相位之间的关系

(11) 通过谐振时电压振幅计算品质因数 Q

Part 2 互感耦合电路的等效电路



$$\Delta R_1 = \frac{M^2 \omega^2 R_2}{R_2^2 + \omega^2 L_2^2} \quad \Delta L_1 = \frac{M^2 \omega^2 L_2}{R_2^2 + \omega^2 L_2^2}$$

设计实验方案测量 ΔR_1 ΔL_1 ，并研究其与负载电阻之间的关系

Part 3 压电元件导纳圆的测量 (1/2)

3.1、压电元件的等效电路

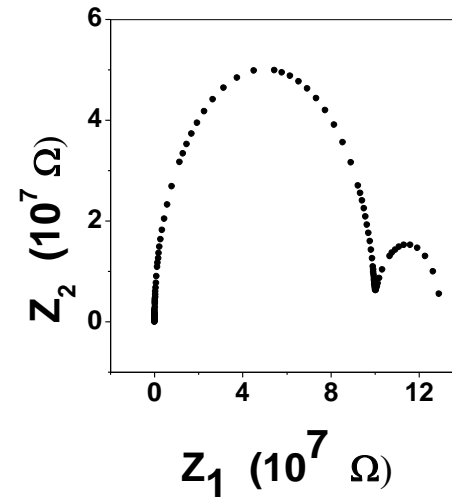
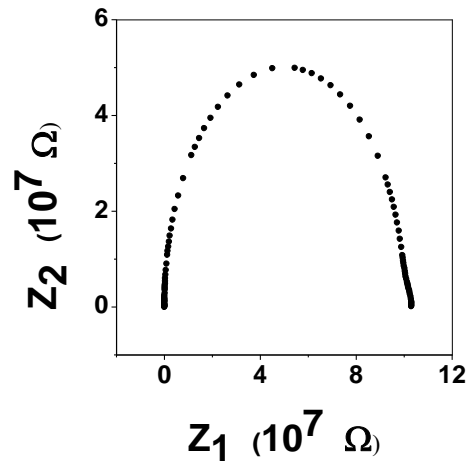
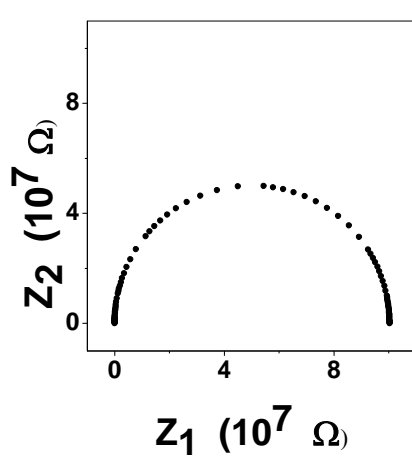
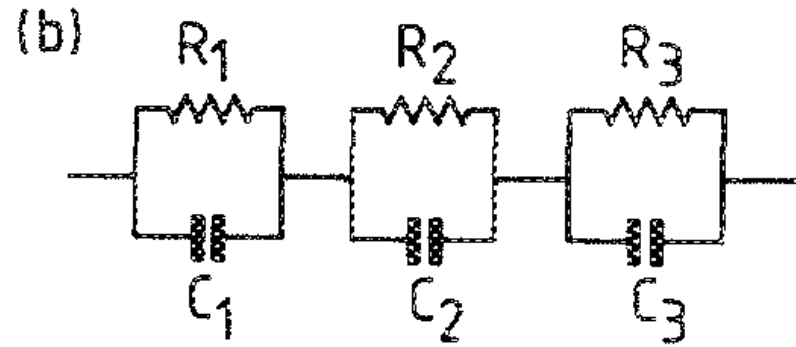
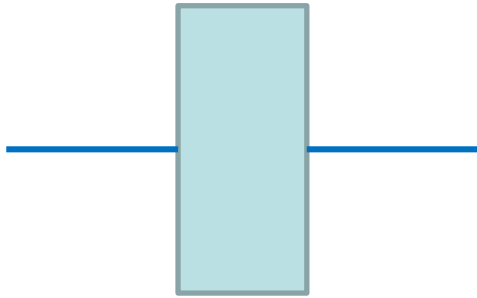
介绍压电方程，波动方程，获得谐振状态时的等效电路
满足同一方程的物理量遵循同样的规律

3.2、等效电路谐振时的导纳和导纳圆及其特点

3.3、导纳圆几何与等效电路个参数之间的关系

3.4、实验测量导纳圆，确定电路参数

Part 4 测量材料阻抗（导纳）研究陶瓷材料特性

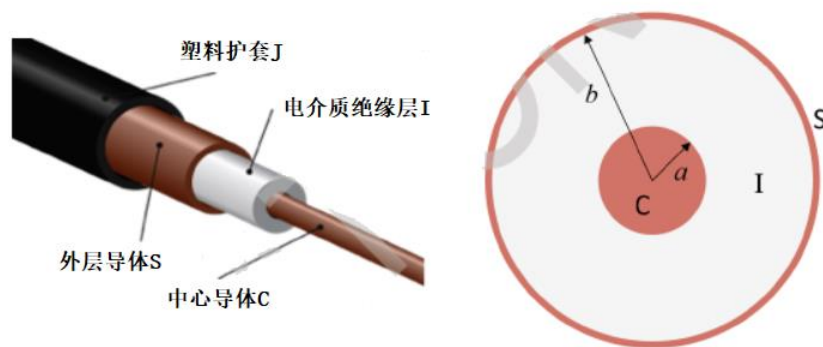


研究型-周期性阻抗同轴电缆的电磁带隙特性研究

实验目的：

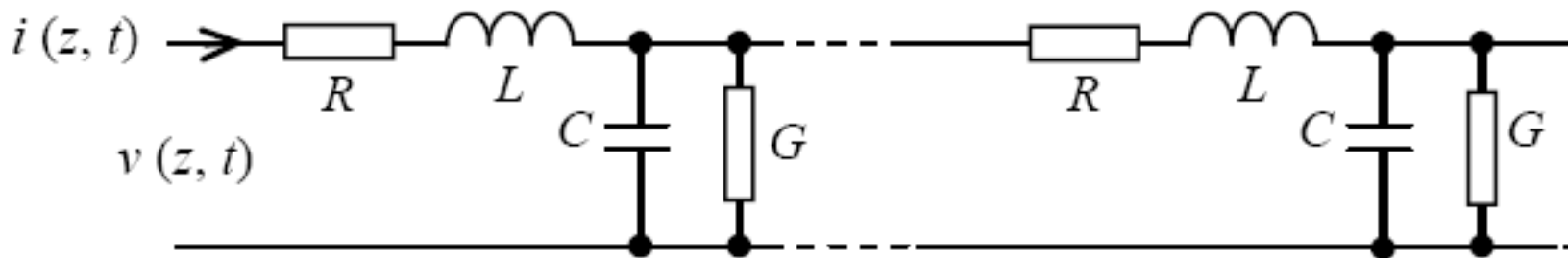
- 1、研究电磁波在两种阻抗界面的反射和透射问题；
- 2、研究周期性阻抗电缆中传播时出现的电磁通带和带隙问题；
- 3、研究在有缺陷的周期性阻抗电缆中传播时杂质态问题
- 4、研究上述各情形下的群速度

Part 1 了解同轴电缆

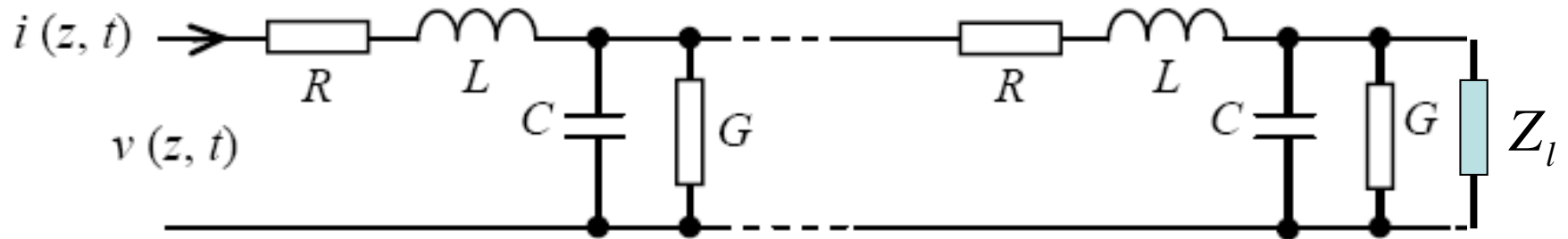


同轴电缆的结构、电容、电感、等效电路、电压和电流分布、特性阻抗

让学生了解电压和电流在传输线中是以波的形式传播的

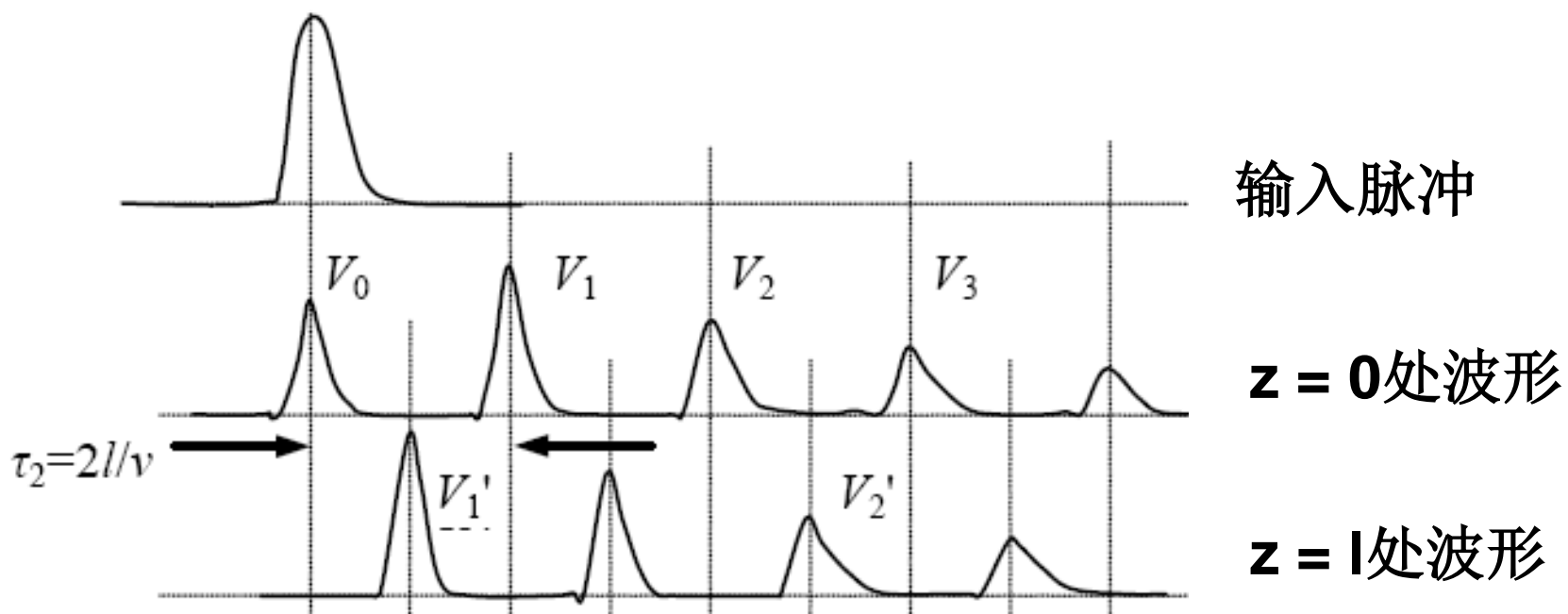


Part 2 研究负载阻抗对反射信号的影响

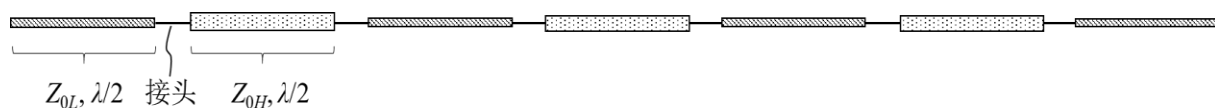


Part 3 研究传输线中信号的传播速度和衰减

以开路为例



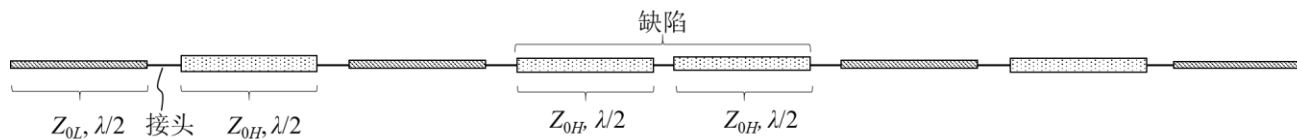
Part 4 研究周期性阻抗同轴电缆的电磁带隙特性



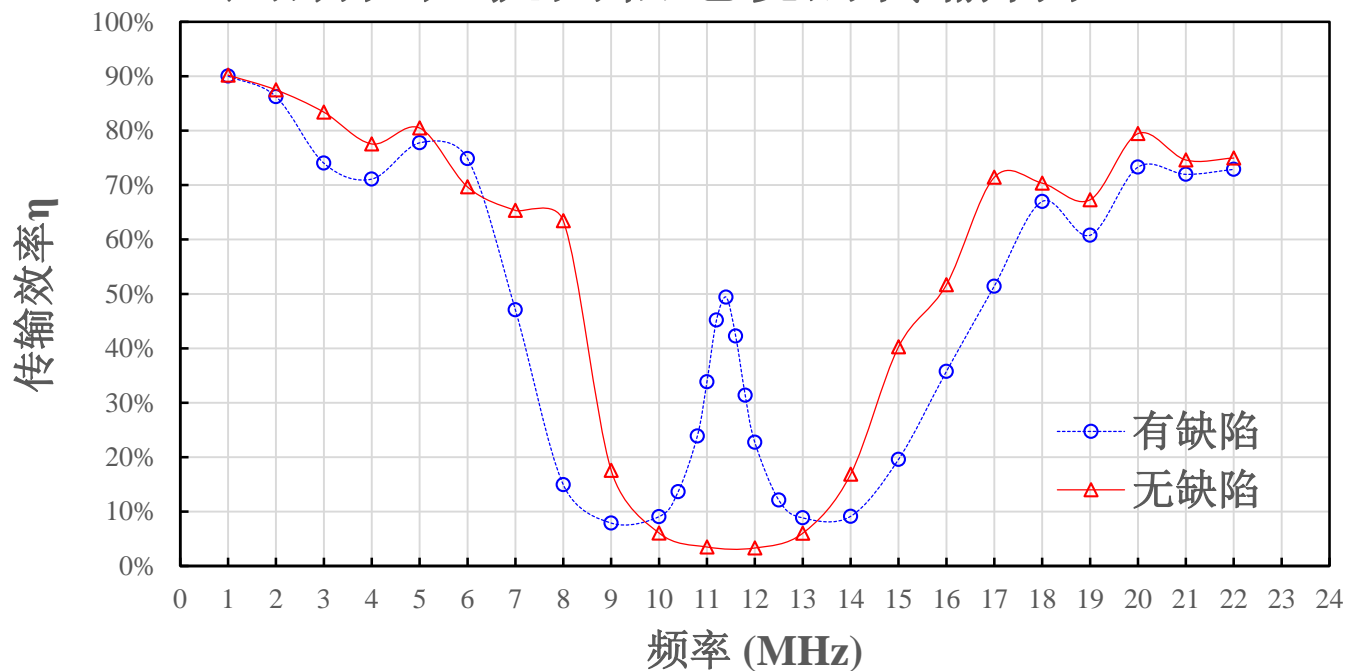
研究测量传输效率随频率的变化关系

通带 禁带 正常色散 反常色散 群速度

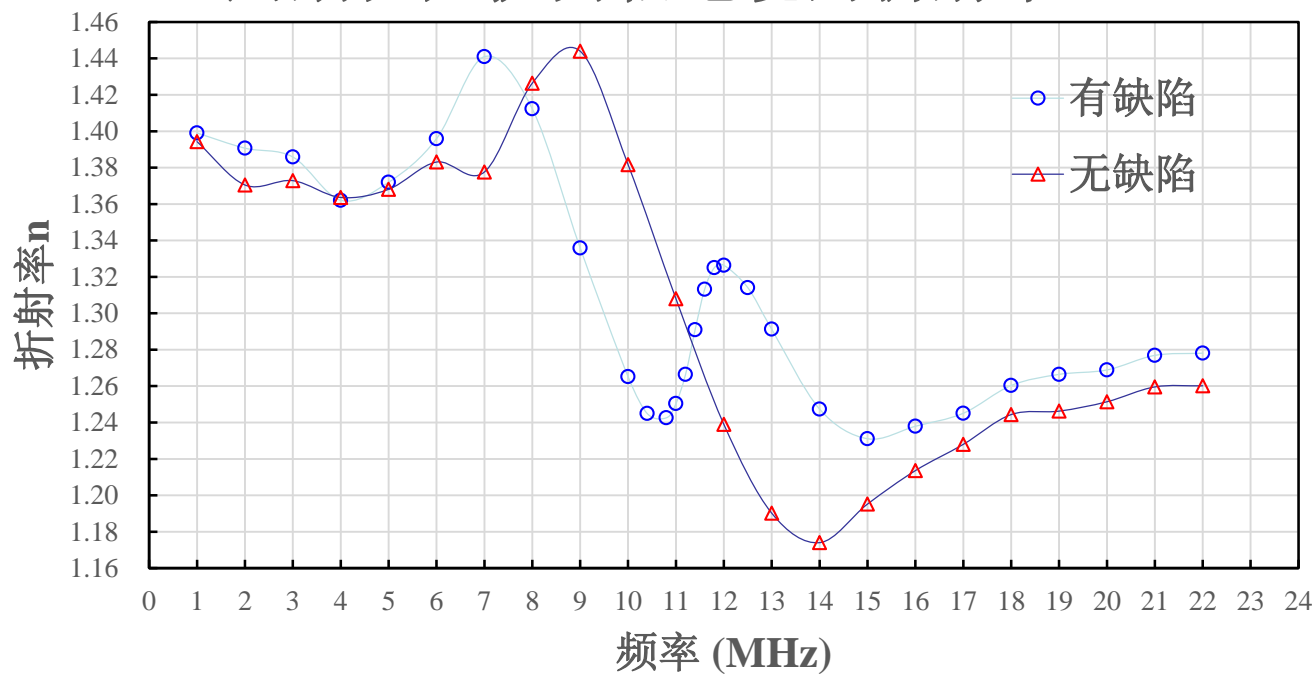
Part 5 研究缺陷对电磁带隙特性的影响



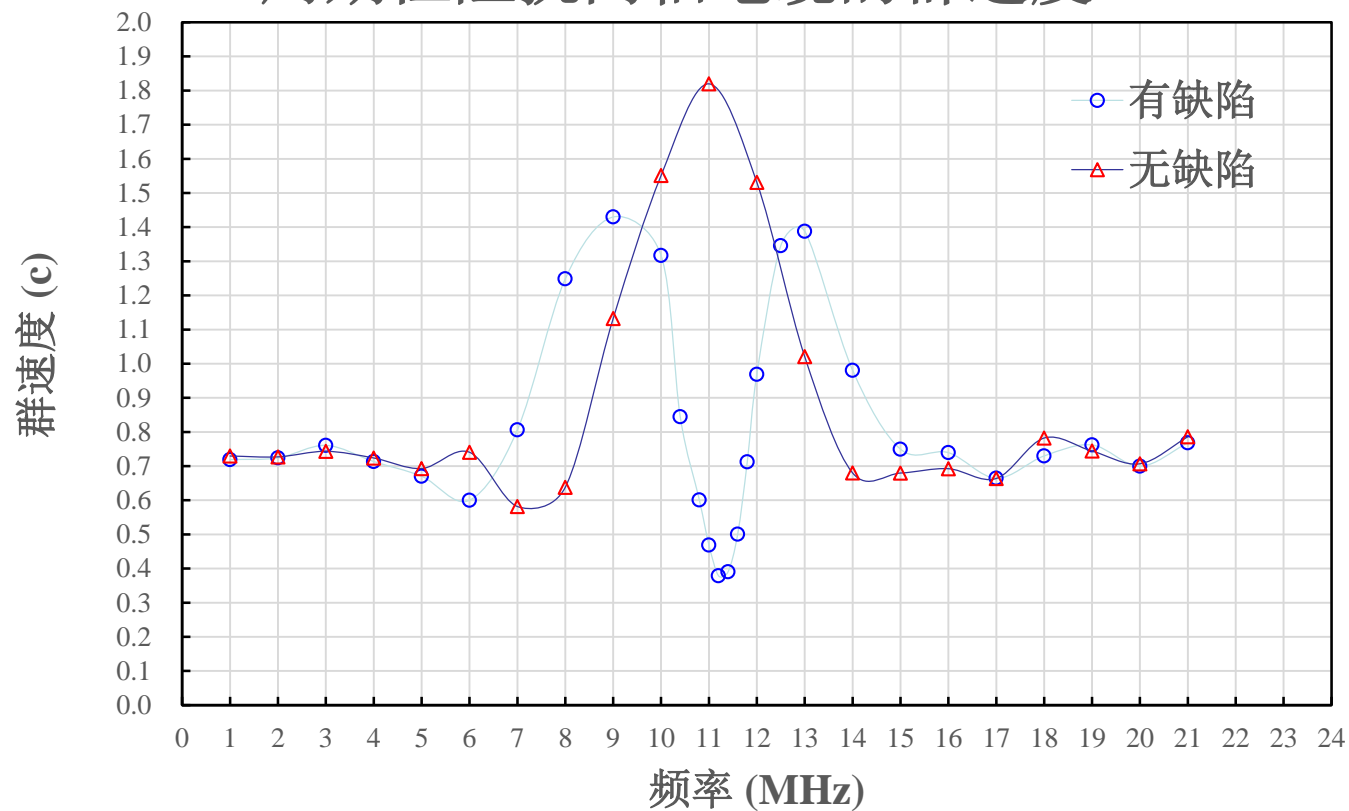
周期性阻抗同轴电缆的传输特性



周期性阻抗同轴电缆的折射率



周期性阻抗同轴电缆的群速度



谢谢大家