

# 浙江大学“求是创新”系列 课程思政·教学案例

## 一、课程基本信息

课程名称：物理学实验 I

课程代码：761T0110

课程类别：通识课程

学院：物理学院

学分：1.5

周学时：3.0-0.0

## 二、课程简介（不超过 300 字）

本课程内容主要由物理量的测量及误差分析、力学、热学、电磁学等基础实验、设计性实验和一系列获得诺贝尔物理学奖的实验组成。强调实验素养的培养和提高，提高学生分析问题和解决问题的能力。通过本课程教学能使学生在物理实验的基本知识、基本方法和基本技能方面受到较系统的训练。培养学生实验能力和良好的实验习惯以及严谨的科学态度。学习用实验的方法去观察、分析、研究物理现象和物理规律。通过实验加深对某些物理现象和规律的认识和理解。本课程是实验教学的入门课程，在培养学生实验技能和实验基础知识之外，还注重学生创新能力的培养，能为后继的实验类课程，以及走向社会后的工作打好基础。

## 三、课程思政教学设计

(一) 简表 (不少于 3 个)

序号	教学内容	课程思政融入点	课程思政融入点	融入方式
1	绪论课	<ul style="list-style-type: none"> <li>■道德修养</li> <li>■家国情怀</li> <li>■全球关切</li> <li>■浙大精神</li> </ul> (可多选)	<ul style="list-style-type: none"> <li>①艰苦朴素的品德、学为人师的风范、求是创新的科研精神和爱国主义精神。</li> <li>②诺贝尔奖科学家精神。</li> <li>③求是创新精神和科学强国精神。</li> <li>④做志存高远的国之强者，要做新发展的主力军。</li> </ul>	案例①：介绍王淦昌科学研究成绩和成果，讲述“创造力来源于实验实践”。 案例②：介绍获得诺贝尔奖的科学家迈克尔科学研究事迹和成果。 案例③：介绍程开甲科学强国事迹。 案例④：以竺可桢校长的两个问题作为切入点。 (通过 PPT 授课、师生讨论和学生课外阅读的方式实现。)
2	示波器的应用	<ul style="list-style-type: none"> <li>■道德修养</li> <li>■家国情怀</li> <li>■全球关切</li> <li>□浙大精神</li> </ul> (可多选)	<ul style="list-style-type: none"> <li>①创新精神。</li> <li>②要善于思考，在遇到难题时不要钻牛角尖，要通过转换思维，学会化难为易，化繁为简。</li> <li>③激发投身祖国相关科研领域的热情。</li> <li>④保护环境，节约能源。</li> </ul>	案例①：介绍了基于不同原理的示波器迭代过程。 案例②：讲述示波器的应用。 案例③：介绍示波器在半导体测量中的重要地位，介绍中国当前发展半导体的重要战略以及中美在芯片领域的国家竞争。 案例④：介绍目前大规模使用的发光二极管并且与之相关的 2014 年诺贝尔物理学奖成果——蓝色发光二极管的发明。 (通过 PPT 授课、师生讨论和学生课外阅读的方式实现。)
3	旋转液体综合实验	<ul style="list-style-type: none"> <li>■道德修养</li> <li>■家国情怀</li> <li>■全球关切</li> <li>□浙大精神</li> </ul> (可多选)	<ul style="list-style-type: none"> <li>①任何成功都不是一蹴而就的，只有不断探索、勤奋好学才能勇攀高峰。</li> <li>②学习我们国家老一辈科学家的爱国和奉献精神，激发学生的爱国情怀。</li> <li>③水滴石穿的道理和一丝不苟的工匠精神。</li> <li>④提升创新创造能力的激情。</li> </ul>	案例①：介绍牛顿水桶实验。 案例②：讲述我国的天眼工程和天眼之父南仁东。 案例③：播放央视“大国工匠”记录片的报道-火箭“心脏”焊接人高凤林。 案例④：讲述浙大人钱三强科学强国故事。 (通过 PPT 授课、师生讨论和学生课外阅读的方式实现。)
4	直流双臂电桥	<ul style="list-style-type: none"> <li>■道德修养</li> <li>■家国情怀</li> <li>■全球关切</li> <li>■浙大精神</li> </ul> (可多选)	<ul style="list-style-type: none"> <li>①学有所成，报效祖国。</li> <li>②在任何时候都要不要因为害怕失败而畏首畏尾，对困难必须正视，不能回避，每个困难一定有解决的办法。</li> <li>③一生为国做贡献的决心。</li> <li>④科技强国，为国贡献。</li> </ul>	案例①：讲述爱迪生借鉴电话发明了留声机，汤姆孙借鉴单臂电桥理论，创造出直流双臂电桥。 案例②：前浙大校长、我们著名核物理学家钱三强的事例。 案例③：讲述浙大学子唐孝威科学实验四十年故事。 案例④：温控器在工业、通信业、储能、新能源汽车等多个领域中的应用。 (通过 PPT 授课、师生讨论和学生课外阅读的方式实现。)

## （二）具体教学设计（每个案例不少于 500 字）

### 1. 案例 1

#### （1）教学内容

绪论课主要介绍物理实验的地位、作用、目的，物理实验的数据处理方法、不确定度、误差分析，物理实验内容，实验室建设情况，课程建设情况，教学安排，安全知识，等情况。同时融入浙大物理学院的好老师-王淦昌的事迹，以及浙大物理学院培养的卓越学子-程开甲的事迹。介绍世界著名物理学家，融入科学家精神。

#### （2）融入点

- ①以王淦昌科学研究成绩和成果作为融入点，讲述“创造力来源于实验实践”，教育学生要学习王淦昌艰苦朴素的品德、学为人师的风范、求是创新的科研精神和爱国主义精神。
- ②以程开甲事迹作为融入点，再次讲述“创造力来源于实验实践”，教育学生要学习程开甲求是创新精神和科学强国精神。
- ③以竺可桢校长的两个问题作为切入点，教育学生要做新发展的主力军；要做志存高远的国之大大者。
- ④介绍世界著名物理学家，融入科学家精神。

#### （3）实例

①以王淦昌科学研究成绩和成果作为融入点，讲述“创造力来源于实验实践”，教育学生要学习王淦昌艰苦朴素的品德、学为人师的风范、求是创新的科研精神和爱国主义精神。

王淦昌，（1907 年 5 月 28 日—1998 年 12 月 10 日），中共党员。“两弹一星功勋奖章”获得者。王淦昌参与了中国原子弹、氢弹原理突破及核武器研制的试验研究和组织领导，是中国核武器研制的主要奠基人之一。王淦昌先到德国柏林大学读研究生，回国后在浙江大学物理系任教授，培养出一批优秀的青年物理学家，其中包括诺贝尔物理奖获得者李政道。

“把科学的星辰留在浙大人心中”

1937 年 11 月，日军侵略迫使浙大师生开始向西流亡。一年前，王淦昌受竺可桢校长邀请到浙江大学物理系任教，成为学校最年轻的教授。之后 14 年他与学校一同在危难中颠沛求存，却栽育出一朵朵惊艳世界的科学之花。

王淦昌是 20 世纪实验物理学三大女杰之一的迈特内教授唯一的中国学生。在德国柏林大学，王淦昌学习了最新的物理学理论与实验技巧，并展示出非凡的科学见解和宽阔的实验思路。但他却毅然选择回到苦难深重的祖国。

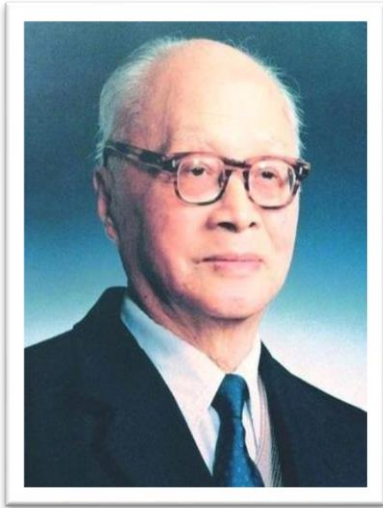
王淦昌随浙大途径浙江建德，江西泰和、广西宜山等地。最终在遵义湄潭这座小山城里，王淦昌获得了宝贵的科研时间。双修寺是王淦昌每天都要去的实验室，虽称实验楼，却没有实验设施，连最基本的电都没有。在如此简陋的环境里，他制成的荧光粉——磷光硫化锌，却为国家填补了空白。

艰苦的条件下，王淦昌单凭大脑推算写出了论文《关于探测中微子的建议》，中微子是当时最具挑战性的物理学界难题。论文 1941 年在美国《物理学报》发表。次年，美国学者阿伦教授按照论文中的建议成功完成了 Be7 的 K 电子实验，命名为“王淦昌·阿伦实验”，是国际物理学界 1942 年最重要的成就之一。后来，美国科学家奥本·海默教授根据这个实

验制造出了美国第一颗原子弹。美国科学促进协会在 1947 年发行纪念刊《近百年来科学之进步》，王淦昌被列为贡献人之一。

发现中微子后，王淦昌又着手寻找宇宙线粒子。1943 年写出了论文《关于宇宙线粒子的一种新实验方法》。后来英国物理学家鲍威尔用此法发现了  $\pi$  介子，获得了 1950 年度的诺贝尔奖。王淦昌的一生多次与诺贝尔奖失之交臂，但他未间断过科学研究。

由于师资紧缺，王淦昌除了教授热学和近代物理外，还为化学系三年级学生开设了物理化学课。1945 年，日本广岛原子弹爆炸后，王淦昌给学生讲解原子弹的原理，吸引了更多学生转到物理系。诺贝尔奖获得者李政道曾是当时的浙大学子，他后来写道：“直到现在，我还能记得曾有过的讨论，以及他们激起的我对物理的热情。”



“隐姓埋名 17 载，以身许国铸科技长剑”

1950 到 1960 的十年间，王淦昌先后在北京中国科学院原子能所和苏联杜布纳联合原子核研究所任任职。朝鲜战场上，他前去探测美军是否使用原子武器和投掷放射性物质；在苏联，他领导的研究小组首次成功发现了一种反物质反西格马负超子存在的证据。

1960 年 12 月，王淦昌回到祖国。4 个月后，二机部部长刘杰和时任副部长兼原子能研究所所长钱三强向王淦昌传达了中央要求自力更生发展核武器的指示和周恩来总理的口信。王淦昌便坚定地说：“我愿以身许国！”从此，在世界物理学界鼎鼎大名的王淦昌仿佛消失了。他的名字变成了“王京”；他放弃了功成名就的基本粒子研究，改方向为他不熟悉但国家迫切需要的核应用研究；……1964 年 10 月 16 日，中国成功爆炸第一颗原子弹。1967 年 6 月 17 日，中国成功爆炸第一颗氢弹。

1978 年，王淦昌调回北京任核工业部副部长兼原子能研究所所长。人们才知道，核武器研究基地那个沉默寡言的“王京”就是王淦昌！同年，获准公开身份的王淦昌如愿加入了中国共产党。

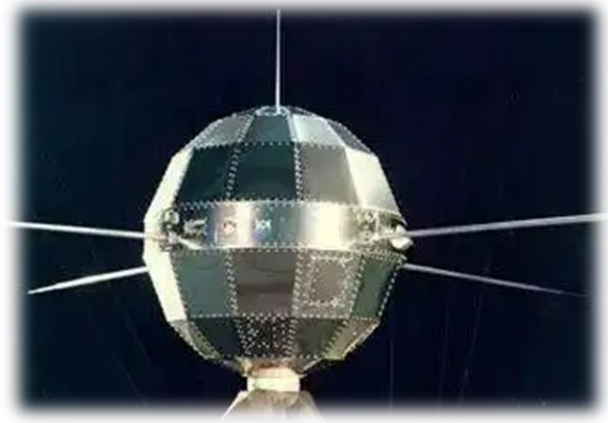
70 年代末，原子能研究所及时开展电子束和激光约束核聚变基础性研究，为通过受控核聚变获取核能做出了开创性贡献。1982 年，王淦昌因发现反西格马负超子荣获国家自然科学奖一等奖。1985 年，他因核武器研制、试验方面的工作，同时荣获 2 项国家科技进步奖特等奖。1986 年 3 月，王淦昌与王大珩、陈芳允、杨嘉墀联名向中央提出了《关于跟踪研究外国战略性高技术发展的建议》，并由此催生了举世瞩目的战略性高科技发展计划——“863”计划，为中国高技术发展开创了新局面。

1999 年 9 月，党中央、国务院、中央军委召开大会，对当年为研制“两弹一星”作出贡献的 23 位科技专家予以表彰，追授王淦昌“两弹一星功勋奖章”。2003 年，国际小行星命名委员会把一颗永久编号为 14558 的小行星命名“王淦昌星”。

2017年，浙大物理系提出“在教师中树立起成为‘王淦昌’式的好老师的职业理想，把培养‘程开甲’式的卓越学子凝练成为我们的教育教学最高目标”，并在全体党员大会上正式通过。在此理念指导下，依托学院拔尖创新人才培养的探索，以期造就更多的国际一流人才和科学家。

②以程开甲事迹作为融入点，再次讲述“创造力来源于实验实践”，教育学生要学习程开甲求是创新精神和科学强国精神。

程开甲是六份荣誉第一人，中国科学院院士，“两弹一星”功勋奖章，国家最高科学技术奖获得者，“八一”勋章获得者，“改革先锋”称号，“人民科学家”国家荣誉称号。



- 半生埋名，以身许国铸核盾

程开甲，中共党员，中国科学院院士。他隐姓埋名40年，一生为国铸核盾，先后参与和主持首次原子弹、氢弹试验，他是以身许党许国的时代楷模。荣获“八一勋章”、“两弹一星”功勋奖章和国家最高科学技术奖。

1960年，一纸命令将程开甲调入北京，加入到我国核武器研究的队伍。原子弹研制初期，程开甲被任命为核武器研究所副所长，分管材料状态方程的理论研究和爆轰物理研究，为原子弹的研制做出了贡献。他第一个采用合理的TFD模型估算出原子弹爆炸时弹心的压力和温度，为原子弹的总体力学计算提供了依据。

- 生命不息 创新不已

1984年程开甲离开核武器试验基地，他的科研工作转入国防科技发展战略研究，开启了他学术研究的新时期。

20世纪80年代，程开甲提出必须提高我国战略武器抗辐射能力的思想，并亲自担任该研究方向的专业组组长，开创了抗辐射加固技术研究新领域。另一方面，他重新开始基础研究课题，他进一步发展、完善了“程—玻恩”超导电性双带理论。他提出并建立了系统的“TFDC（托马斯—费米—狄拉克—程开甲）”电子理论。为材料科学的发展提出了新的研究思想与方法。

- 努力不懈 不老常青

程开甲是中国科学院资深院士。他的研究成果，荣获国家科技进步奖特等奖、一等奖，国家发明奖二等奖和全国科学大会奖、何梁何利基金技术进步奖等多项奖励。1999年，被党中央、国务院、中央军委授予“两弹一星”功勋奖章。2013年，党中央、国务院为他颁发了国家最高科学技术奖。

对于这些崇高的荣誉，程开甲有他自己的诠释。他说：“我只是代表，功劳是大家的。功勋奖章是对‘两弹一星’精神的肯定，最高科学技术奖是对整个核武器事业和从事核武器事业团队的肯定。我们的核试验是研究所、基地所有参加者，有名的、无名的英雄们在弯弯曲曲的道路上一步一个脚印去完成的。”

③以竺可桢校长的两个问题作为切入点，教育学生要做新发展的主力军；要做志存高远的国之大大者。



竺可桢校长的两个问题：诸位在校，有两个问题应该自己问问第一，到浙大来做什么？第二，将来毕业后做什么样的人？

a 要做新发展的主力军：第一是坚定“立德树人”和“价值观”。第二是坚持“求是创新”，①是要做到求真；②是要做到求新；③是要做到求是。第三是坚守“理想信念”。

b 要做志存高远的国之大大者：名校为镇国重器，不是为了让你找工作的，而是培养是让国家相信真理，这才是一名在校生的风范。

以浙江大学校歌作为融入点，讲述：大学使命-海纳百川；浙大人使命-求是创新；浙大使命-树我邦国。教育学生要有使命感。

浙江大学校歌，马一浮作词

大不自多 海纳江河  
惟学无际 际于天地  
形上谓道兮 形下谓器  
礼主别异兮 乐主和同  
知其不二兮 尔听斯聪  
国有成均 在浙之滨  
昔言求是 实启尔求真  
习坎示教 始见经纶  
无曰已是 无曰遂真  
靡革匪因 靡故匪新  
何以新之 开物前民  
嗟尔髦士 尚其有闻  
念哉典学 思睿观通  
有文有质 有农有工  
兼总条贯 知至知终  
成章乃达 若金之在熔  
尚亨于野 无吝于宗  
树我邦国 天下来同

④介绍世界著名物理学家，融入科学家精神。



费米与曼哈顿计划。李政道、杨振宁和吴健雄的宇称不守恒定律。诺贝尔物理学奖。伦琴与 X 射线的发明、卢瑟福与原子模型。等等。



一张汇聚了物理学界智慧之脑的“明星照”则成了这次会议的见证，数十个涵盖了众多分支的物理学家都留下了他们的身影，爱因斯坦、玻尔更是照片的灵魂人物。被称为是物理学的“全明星”合影！梦之队。



<b>物理诺奖 113次 135项</b> (1916、1931、1934、1940、1941、1942年无)		
<b>物理理论</b>	<b>16项</b>	<b>11.9%</b>
<b>物理实验</b>	<b>119项</b>	<b>88.1%</b>

## 第五届索维尔会议 1927



A. PICCARD E.HENRIOT P.EHRENFEST Ed.HERZEN Th.DE DONER E.ECHRODINGER E.VERSCHAFFELT W.PAULI W.HEISENBERG  
R.H.FOWLER L.BRILLOUIN  
P.DEBYE M.KNUDSEN W.L.BRAGG H.A.KRAMERS P.A.M.DIRAC A.H.COMPTON L.de BROGLIE  
M.BORN N.BOHR  
LLANGMUIR M.PLANCK Mme CURIE H.A.LORENTZ A.EINSTEIN P.LANGEVIN Ch.E.GUYE C.T.R.WILSON  
O.W.RICHARDSON

### (4) 融入方式

通过 PPT 授课、实验室挂图展示、师生讨论、总结归纳和学生课外阅读的方式实现。

### (5) 教学资料：若干相关教学活动照片或 PPT、视频等材料

**物理实验绪论课**

浙江大学物理实验教学中心 TEL: 86205098-8409 F-MAIL: shiexiang@zju.edu.cn

### 目录

1 背景介绍	6 数据处理方法
2 课程概述	7 常用仪器
3 实验测量	8 重点实验
4 不确定度	9 实验须知
5 有效数字	10 实验室安全

### 物理学首先是一门实验科学

“科塞”墨子第一个进行光学实验。光与影，光沿直线传播，小孔成像。  
“近代物理学之父”牛顿提出了万有引力定律和三大运动定律，发明了反射望远镜。  
“开创以实验事实为根据”伽利略通过实验总结出了自由落体定律和惯性定律。  
“世界发明大王”爱迪生发明了电话、电灯、电影、电报、留声机等。  
瓦特、法拉第、麦克斯韦、狄拉克，等等。

现代物理学研究是一个周期性的过程：

```
graph LR; A[观测] --> B[假设]; B --> C[验证]; C --> D[预言]; D --> A;
```

### 创造力来源于实验实践


争做“王淦昌”式的好老师，  
培养“程开甲”式卓越学子。

**物理学院理念**



### 王淦昌

王淦昌，（1907年5月28日—1998年12月10日），中共党员。“两弹一星功勋奖章”获得者。王淦昌参与了我国原子弹、氢弹原理突破及核武器研制的试验研究和组织领导，是中国核武器研制的主要奠基人之一。



### 把科学的星辰留在浙大入心中

- 1937年11月，日军侵略迫使浙大师生开始向西流亡。一两年前，王淦昌受竺可桢校长邀请到浙江大学物理系任教，成为学校最年轻的教授。随后14年他与学校一同在流亡中颠沛流离，却教育出一朵朵傲视世界的科学之花。
- 王淦昌是20世纪实验物理学三大杰杰之一的迈特内教授唯一的中国学生。在德国柏林大学，王淦昌学习了最新的物理学理论与实验技巧，并展现出非凡的科学见解和宽阔的实验思维，但他却毅然选择回到祖国深爱的祖国。
- 王淦昌随浙大途径浙江建德、江西泰和、广西宜山等地，最终在遵义落脚这座小山城里。王淦昌获得了宝贵的科研时间。双修导师王淦昌每天都要去的实验室，虽称实验室，却没有实验设施，连基本的电都没有。在如此简陋的环境下，他制成的荧光粉——磷光磷化铀，即为国家填补了空白。
- 艰苦的条件下，王淦昌大胆推举出了论文《关于探测中微子的建议》。中微子在当时最具挑战性的物理学界难题。论文1941年在美国《物理学报》发表。次年，美国学者阿伦教授按照论文的建议成功完成了 $8\pi^2$ 的 $\mu$ 子电子实验，命名为“王淦昌-阿伦实验”，是国际物理学界1942年最重要的成就之一。后来，美国科学家奥本海默教授根据这个实验制造出了美国第一颗原子弹。美国科学促进会于1947年发行纪念刊《近百年科学之进步》，王淦昌被列为贡献者之一。
- 发现中微子后，王淦昌又着手寻找宇宙线粒子。1943年写出了论文《关于宇宙线粒子的新一种实验方法》，后来美国物理学家威尔逊由此发现了 $\pi$ 介子，获得了1950年诺贝尔物理学奖。王淦昌的一生多次与诺贝尔奖失之交臂，但他未闻过科学研究的苦。
- 由于师资紧缺，王淦昌除了教授热学和近代物理外，还为化学系三年级学生开设了物理化学课。1945年，日本广岛原子弹爆炸后，王淦昌给学生讲原子弹的原理，吸引了更多学生转到物理系。诺贝尔奖获得者李政道曾是当时的浙大弟子，他后来写道：“直到现在，我还能记得曾有过的讨论，以及他们激起的我对物理的热情。”

### 隐性埋名17载，以身许国铸科技长剑

- 1950到1960的十年间，王淦昌先后在苏联中国科学院原子能和苏联杜布纳联合原子核研究所任任职。朝鲜战场上，他去探测美原子弹是否使用原子弹和放射核性质物质；在苏联，他领导的研究小组首次成功发现了一种放射性西格玛负离子存在的证据。
- 1960年12月，王淦昌回国。4个月后，二机部部长刘杰和时任副部长兼原子能研究所所长钱三强向王淦昌传达了中央要求自力更生发展核武器的指示和周恩来总理的嘱托。王淦昌坚定地回答：“我愿以身许国！”从此，在物理学界鼎鼎有名的王淦昌消失了。他的名字变成了“王刚”；他放弃了功名成就的基本粒子研究，改方向他不熟悉但国家迫切需要的核应用研究；1964年10月16日，中国成功爆炸第一颗原子弹。1967年6月17日，中国成功爆炸第一颗氢弹。
- 1978年，王淦昌调回北京任核工业部副部长兼原子能研究所所长。人们才知道，核武器研究基地那个沉默寡言的“王刚”就是王淦昌！同年，获准公开身份的王淦昌加入了中国共产党。
- 70年代末，原子能研究所及时开展电子束和激光的聚核聚变基础性研究，为通过受控核聚变获取能源做出了开创性贡献。1982年，王淦昌发现西格玛负离子来自国家自然科学一等奖。1985年，他应核工业部、试验局的工作，同时兼任2项国家科技进步奖答辩。1986年3月，王淦昌在王刚、陈伟、杨惠群联名向中央提出了《关于原子能研究所聚核聚变技术发展的建议》，并由此诞生了举世瞩目的核能科技发展规划——“863”计划，为中国核技术发展开创了新局面。
- 1999年9月，党中央、国务院、中央军委召开大会，对当年为研制“两弹一星”作出贡献的23位科技专家予以表彰，追授王淦昌“两弹一星”功勋奖章”。2003年，国际小行星命名委员会把一颗永久编号为14558的小行星命名为“王淦昌星”。
- 2017年，浙大物理系提出“在教师中树立起成为‘王淦昌’式的好老师的职业理想，把培养‘程开甲’式的卓越学子凝练成为我们的教育教学生育目标”，并在全体教职工大会上正式通过。在此理念指导下，依托学科突破创新人才培养的探索，以期造就更多的国际一流人才和科学家。

### 程开甲

六份荣誉

- 中国科学院院士
- “两弹一星”功勋奖章
- 国家最高科学技术奖获得者
- “八一”勋章获得者
- “改革先锋”称号
- “人民科学家”国家荣誉称号




### 半生埋名，以身许国铸核盾

- 程开甲，中共党员，中国科学院院士。他隐姓埋名40年，一生为国铸核盾。先后参与和主持首次原子弹、氢弹试验，他以身许国的时代楷模。荣获“八一勋章”、“两弹一星”功勋奖章和国家最高科学技术奖。
- 1960年，一纸命令将程开甲调入北京，加入到我国核武器研制的队伍。原子弹研制初期，程开甲被任命为核武器研究所副所长，分管材料状态方面的理论研究和数值模拟。为原子弹的研制做出了贡献。他第一个采用合理的T7D模型估算出原子弹爆炸时弹心的压力和温度，为原子弹的总设计量提供了依据。
- 生命不息 创新不止
- 1984年程开甲离开核武器试验基地，他的科研工作转入国防科技发展战略研究，开启了他在学术研究的新时期。
- 20世纪80年代，程开甲提出必须提高我国战略武器抗辐射能力的思想，并亲自担任该研究方向的专业组组长，开创了抗辐射加固技术研究新领域。另一方面，他重新开始基础研究，他进一步发展、完善了“程—张”超导非线性理论，他提出并建立了系统的“TFDC（托马斯—戴米—狄拉克—程开甲）”电子理论。为材料科学的发展提出了新的研究思想与方法。
- 努力不懈 不老教育
- 程开甲是中国科学院资深院士。他的研究成果，荣获国家科技进步奖特等奖、一等奖，国家发明二等奖和全国科学大会奖、何乐利基金科技进步奖等多项奖励。1995年，被党中央、国务院、中央军委授予“两弹一星”功勋奖章。2013年，党中央、国务院为他颁发了国家最高科学技术奖。
- 对于这些荣誉的荣誉，程开甲有自己的诠释。他说：“我只是代表，功勋章是大家的。功勋奖章是对‘两弹一星’精神的肯定，最高科学技术奖是对整个核武器事业和从事核武器事业人员的肯定。我们试验基地研究所、基地所有参加者，有名的、无名的英雄们在弯弯曲曲的道路上一步一步脚印去完成的。”

### 竺可桢校长的两个问题

诸位在校，有两个问题应该自己问自己第一，到浙大来做什么？第二，将来毕业后做什么样的人？



### 要做新发展的主力军

- 第一是坚定“立德树人”和“价值观”。
- 第二是坚持“求是创新”。
  - ①是要做到求真；
  - ②是要做到求新；
  - ③是要做到求是。
- 第三是坚守“理想信念”。

### 要做有使命感的浙大子


大学使命-海纳百川  
浙大人使命-求是创新  
浙大使命-树我邦国

### 实验物理与理论物理密切相关

“理论学家费钱，实验学家费电，理论实验物理学家费米” 费曼计划

This imagining process is so difficult that there is a division of labor in physics: there are theoretical physicists who imagine, deduce, and guess at new laws, but do not experiment, and then there are experimental physicists who experiment, imagine, deduce, and guess.

— The Feynman Lectures on Physics, Volume 1, Chapter 1 Atoms in Motion



### 实验在物理学中的地位

正确理解实验在物理学中的地位：  
当实验观测到现有理论无法解释的现象，物理学就要面临前所未有的挑战，有可能产生重大突破、诞生的新理论。

宇称不守恒定律



### 物理实验在科学领域中的地位

1901年-2019年  
118年  
“走进诺贝尔”



物理诺奖	113次 135项 (1916, 1931, 1934, 1940, 1941, 1942年无)
物理理论	16项 11.9%
物理实验	119项 88.1%

### 实验是检验理论的唯一判据

实验可以发现新的事实，为物理规律的建立提供依据

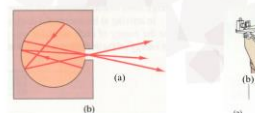
X射线、放射性和电子的发现等为原子物理学和核物理学的发展奠定了基础。卢瑟福从大角度粒子散射实验提出了原子模型。实验是检验理论的唯一判据。



卢瑟福 波尔 爱因斯坦

### 物理实验的作用

在20世纪的前夕，当物理学家们正高兴地认为，在已经基本建成的科学大厦中，后辈物理学家只要做一些零碎的修补工作就行了的时候，是迈克耳逊-莫雷和热辐射实验两个实验的结果——“两朵乌云”，使物理学发生了巨大的革命，建立了现代物理学的两大基石——量子论和相对论。



### 物理实验的作用

#### 第五届索尔维会议 1927



一张汇集了物理学界智慧之脑的“明星”们构成了这次会议的见证。数十个涵盖了众多分支的物理学家都留下了他们的身影。爱因斯坦、波尔更是照片的灵魂人物。被称为物理学界的“全明星”合影！

会议讨论的核心是有关量子力学

普朗克是创始人，世界上第一位科学哲学家  
 玻尔是量子力学之父  
 海森堡是量子力学和现代物理学上最杰出的科学家  
 薛定谔是量子力学创始人之一  
 德布罗意是量子力学创始人之一  
 狄拉克是量子力学创始人之一  
 泡利是量子力学创始人之一  
 索尔维会议是物理学史上最重要的会议之一

三才兼备  
 基本物理学 (波尔、海森堡)  
 量子力学 (薛定谔、狄拉克)  
 实验 (海森堡和薛定谔)


### 实验中心历史变迁

浙江大学物理学院成立于1928年，王淦昌、束星北、顾功叙、胡宁、吴健雄、胡济民、卢鹤绂、程开甲、李政道、吕敏、唐孝威、贺贤土等物理学家先后在此工作和学习。物理实验室始于1933年，1998年四校合并后组建成“物理实验教学中心”，是国家理科人才培养基地和国家工科基础课程物理教学基地。

```

    graph LR
    A[实验室] --> B[四校实验室合并]
    B --> C[普物近代实验合并]
    C --> D[物理实验教学中心]
    
```


### 实验室分布



物理实验教学中心

- 物理学系
  - 物理演示实验室
  - 物理实验室1
  - 物理实验室2
  - 物理实验室3
- 热力学系
  - 热力学实验室1
  - 热力学实验室2
  - 热力学实验室3
- 光学系
  - 光学实验室1
  - 光学实验室2
  - 光学实验室3
- 近代物理系
  - 近代物理实验室1
  - 近代物理实验室2
  - 近代物理实验室3

### 实验分布



大学物理实验

- 基础实验
- 混合实验
- 课题实验
- 近代实验
- 演示实验
- 仿真实验
- 天文实验

### 教学设计方案



混合实验

- 课前预习
  1. 教材学习
  2. 资料查阅
  3. 预习报告
- 教师授课
  1. 课程思政
  2. 实验背景
  3. 相关知识
  4. 实验原理
  5. 实验内容
- 操作与实验
  1. 仪器分析
  2. 实验设计
  3. 仪器调整
  4. 数据处理
  5. 实验报告
- 教学评价
  1. 实验过程
  2. 实验报告
  3. 仪器整理
  4. 对学生评价
  5. 对教师评价

### 实验背景(1)

(诺贝尔奖科学家)

迈克尔逊干涉仪调整和使用  
干涉法测量光波波长的影响  
研究钠双线的影




迈克尔逊 1852-1931  
Albert Abraham Michelson

- 主要从事光学和光谱学方面的研究，他以毕生精力从事光速的精密测量。
- 他一直从事光速测定的国际中心人物。他发明了一种用以测定微小长度、位移和微小变化的干涉仪，在研究物理学方面起着重要的作用。
- 他发明精密光学仪器和借助这些仪器在光谱学和量子学的工作中所做出的贡献，被授予了1907年度诺贝尔物理学奖。

### 实验背景(2)

王大珩的工匠精神及爱国梦想：为祖国争光。




王大珩 1915年—2011年

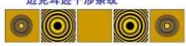
- 中共党员，江苏吴县人，“两弹一星”功勋奖章获得者，著名光学家，中国近代光学工程的奠基人、开拓者、组织领导者，被誉为“中国光学之父”。
- 领导早期研制中国第一辆光学玻璃、第一台电子显微镜、第一台激光器。
- 1980年和王淦昌、陈开先、杨嘉墀联名，提出发展高技术建设的“863”计划，还与王淦昌联名倡议，促成激光技术国家重大项目的建设。
- 王大珩参与了航天测试的研制工作，研制了跟踪望远镜。

### 实验背景 (3)

**精密仪器与测量精度**

卷尺：10mm。  
米尺：1mm。  
游标卡尺：0.02mm。  
螺旋测微计：0.01mm。  
光栅尺：0.01mm。  
迈克尔逊干涉仪：0.0001mm。  
纳米尺：10<sup>-9</sup>mm。

**迈克耳逊干涉条纹**



大国工匠：大国工匠以精湛技艺，为民族、国家、社会、世界做出卓越贡献。他们爱岗敬业、精益求精、勇于创新、甘于奉献，是社会主义核心价值观的生动体现，是中国特色社会主义事业的合格建设者和可靠接班人。他们是国家工匠精神的代表，是时代精神的楷模，是社会主义核心价值观的生动体现，是中国特色社会主义事业的合格建设者和可靠接班人。他们是国家工匠精神的代表，是时代精神的楷模，是社会主义核心价值观的生动体现，是中国特色社会主义事业的合格建设者和可靠接班人。

### 实验室守则

1. 没有完成预习报告不能做实验。
2. 按要求操作。
3. 不得穿拖鞋和背心进入，不得抽烟和吃东西。
4. 。
5. 遇到自己不能解决的问题应及时报告老师。
6. 做完实验要整理桌、凳，实验数据须经指导老师签字后才能离开实验室。
7. 实验报告（原始数据付后）在下次实验开始前投入报告箱，迟交扣分，不合要求要重写。

### 实验室安全学习

**实验室主要危害种类：**

1. 人为因素：不安全行为等
2. 化学类：火灾、爆炸、腐蚀、中毒等
3. 物理类：强光、强电、辐射等
4. 生物类：细菌、微生物等
5. 环境类：实验室废弃物等
6. 设备类：高温、高压、强场等
7. 用电、压力容器：触电、火灾、爆炸

安全最危险因素是“人”！

（部分展示，共有 190 页 PPT。详见浙江大学物理实验教学中心网站。）

## 2. 案例 2

### (1) 教学内容

示波器是一种用途广泛的电子测量仪器，不仅能观测电信号的波形，还能直接测量电信号的幅度、周期、频率和相位等参数。配合各类传感器，可以测量各类可转化为电压信号的物理量。本实验通过了解阴极射线双踪示波器的基本原理和使用方法，为今后在其他实验中使用示波器打下基础。本案例通过引入示波器的近两百年的发展历史，介绍了基于不同原理的示波器迭代过程，引入了人们在发展示波器方面的创新精神，并且融入了“靡革匪因，靡故匪新”的浙大精神。在介绍示波器应用特点时，教育学生遇到难题要转换思维，融入化难为易，化繁为简等“道德修养”思政元素。在讲述示波器在电学测量中的重要地位时，介绍中美芯片之争，激发同学们的爱国热情，报效国家，融入了“家国情况”思政元素。在讲述测量二极管导通电压时，介绍诺贝尔物理学奖成果——蓝色二极管的发明，引导学生要注意节能减排，为中国碳达峰和碳中和目标作出自己的贡献，融入了保护环境，节约能源等“全球关切”思政元素。

### (2) 融入点

1. 通过引入示波器的近两百年的发展历史，介绍了基于不同原理的示波器迭代过程，引入了人们在发展示波器方面的创新精神，并且融入了“靡革匪因，靡故匪新”的浙大精神，教育学生任何事物都需要不断革新，而革新又需要继承；在介绍阴极射线示波器时，还介绍了诺贝尔奖和阴极射线管的发明者布劳恩，讲述他在半导体、阴极射线管和无线电领域中的创新精神。
2. 在讲述示波器的应用时，介绍可以将一些难以测量的物理量转化为电压信号再通过示波器进行测量，在此基础上指导学生要善于思考，在遇到难题时不要钻牛角尖，要通过转换思



维，融入化难为易，化繁为简等“道德修养”思政元素。

3. 在讲述示波器在各个领域中的广泛应用时，着重介绍示波器在半导体测量中的重要地位，介绍中国当前发展半导体的重要战略以及中美在芯片领域的国家竞争，激发学生投身祖国相关科研领域的热情，融入了“家国情况”思政元素。

在讲述测量二极管导通电压时，介绍目前大规模使用的发光二极管并且与之相关的2014年诺贝尔物理学奖成果——蓝色发光二极管的发明。介绍该发明可以大大提高人们的照明效率，为人类的节能减排作出了重大贡献，并且号召学生们平时要注意节能减排，为中国碳达峰和碳中和目标作出自己的贡献，融入了保护环境，节约能源等“全球关切”思政元素。

### (3) 实例

教师活动	学生活动
<p data-bbox="240 658 1082 898">(1) 在介绍示波器的发展历史时，从基于不同原理的示波器迭代过程切入，引入了人们在发展示波器方面的创新精神，融入了“靡革匪因，靡故匪新”的浙大精神，教育学生任何事物都需要不断革新，而革新又需要继承。在介绍阴极射线示波器时，还介绍了诺贝尔奖和阴极射线管的发明者布劳恩，讲述他在半导体、阴极射线管和无线电领域中的创新精神。</p> <div data-bbox="338 920 1015 1397"></div> <p data-bbox="240 1402 1082 1559">在教学中，讲述了示波器的历史，从两百年前的使用检流计和机械系统耦合手动记录波形、机械自动绘制波形、基于阴极射线管的模拟示波器至数字示波器，并且还介绍了阴极射线管的发明者以及诺贝尔奖获得者布劳恩。</p> <div data-bbox="300 1570 659 1973"></div> <p data-bbox="296 1980 1082 2013">研制示波器的历史是人们在继承前代示波器的基础上不断创新</p>	<p data-bbox="1109 658 1355 815">聆听讲解，观看实验挂图、观看PS图片、观看PPT、思考提问、师生互动。</p>

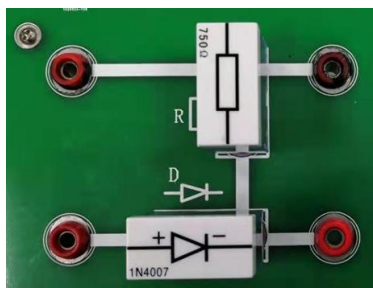
<p>的过程。示波器的发展史展现了事物需要在继承的基础上不断革新，也显示了事物的螺旋型发展。</p> <p>在教学过程中融入“靡革匪因，靡故匪新”的“浙大精神”课程思政元素。</p>	
<p>(2) 在讲述示波器的应用时，从可以将一些难以测量的物理量转化为电压信号再通过示波器进行测量切入，融入了化难为易、化繁为简的方法论，指导学生要善于思考，在遇到难题时不要钻牛角尖，要通过转换思维，想办法化难为易，化繁为简来解决难题，取得事半功倍的效果。</p> <p>示波器是一种用途广泛的电子测量仪器，可以直接测量电信号的幅度、周期、频率和相位等参数。配合各种传感器，一切可以转化为电压的电学量（如电流、电功率、电抗等）和非电学量（如温度、位移、速度、压力、光强和磁场等）都可以用示波器来测量。</p> <p>这就类比于学习生活中的很多难题，如果选择直接解决，往往会事倍功半，但是如果尝试转换思维，从另一个角度去看待问题，解决问题，则往往会事半功半。</p> <div data-bbox="343 907 837 1142" data-label="Diagram"> </div> <p>教学过程中融入了化难为易、化繁为简和转换思维等“道德修养”课程思政元素。</p>	<p>聆听讲解，观看实验动画、观看 PPT、思考提问、师生互动。</p>
<p>(3) 在讲述示波器在各个领域中的广泛应用时，从示波器在半导体测量中的重要地位切入，介绍中国当前发展半导体的重要战略以及中美在芯片领域的国家竞争，融入家国情怀，激发学生们投身祖国相关科研领域的热情。</p> <p>示波器在电学测量中有着重要地位。例如本实验中将对二极管中 PN 结的导通电压以及 RC 电路中输入信号与输出信号的相位差进行测量。</p> <div data-bbox="338 1579 986 1944" data-label="Image"> </div> <p>示波器可以对各类半导体以及芯片的性能进行测试。由于芯片在各个行业均有重要地位，当前我国正大力发展半导体芯片领域，正</p>	<p>聆听讲解，观看实验示意图、观看 PPT、思考提问。</p>



需要各类人才投身其中，因此激励学生以此为方向报效国家。

教学过程中融入了激励学生投身祖国芯片行业等“家国情怀”课程思政元素。

(4) 在讲述测量二极管导通电压时，从 2014 年诺贝尔物理学奖成果——蓝色发光二极管的发明切入，介绍该发明可以大大提高人们的照明效率，为人类的节能减排作出了重大贡献，融入节能减排的号召，为中国碳达峰和碳中和目标作出自己的贡献。



晶体二极管具有单向导通的作用，因此在交流电路中有整流的作用。由于二极管内 PN 结中具有内建电场，因此输入电压需要大于导通电压来克服电建电场，从而使二极管导通。

而发光二极管与普通二极管一样是由一个 PN 结组成，也具有单向导电性。当给发光二极管加上正向电压后，从 P 区注入到 N 区的空穴和由 N 区注入到 P 区的电子，在 PN 结附近数微米内分别与 N 区的电子和 P 区的空穴复合，产生自发辐射的荧光。蓝色发光二极管是能发出蓝光的发光二极管，其发明获誉为“爱迪生之后的第二次照明革命”。蓝光 LED 的发明，使得人类凑齐能发出三原色光的 LED，得以用 LED 凑出足够亮的白光。白光 LED 灯的发明，大幅提高了人类的照明效率，并且有助于节能减排。当前中国担负大国责任，提出了碳达峰和碳中和的目标，此融入点可以鼓励学生平时注意节能减排，为中国早日达成目标贡献力量。

教学过程中融入了节能减排等“全球关切”课程思政元素。

笔记记录、聆听讲解，观看实验示意图、观看 PPT、思考提问、师生互动。

#### (4) 融入方式

整个教学过程使用问答式、操作讲解、叙事讲述的教学方法，兼以挂图、白板书写、视频、实物展示、讨论互动等辅助教学手段。

#### (5) 教学资料：若干相关教学活动照片或 PPT、视频等材料

1. PPT (全部)

链接地址：<http://z.juphylab.zju.edu.cn/实验教学/示波器的使用>

# 示波器的使用

物理实验教学中心 杨楠斌

## 一、实验背景：示波器的历史



Hospitaler 阴极记录器



(Braun KF, 1890-1918)

诺贝尔奖获得者，德国物理学家K.F. 布劳恩



CRT Oscilloscope



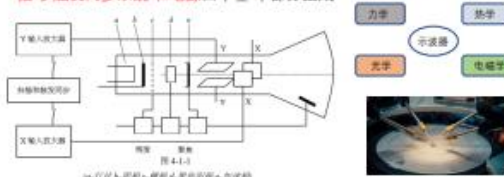
ART-Analog Real Time Oscilloscope



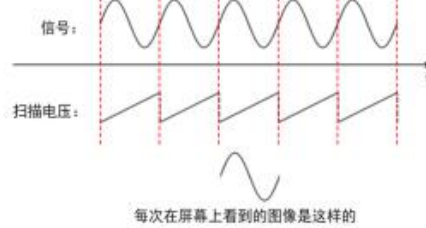
DSO-Digital Storage Oscilloscope

## 二、示波器及应用原理

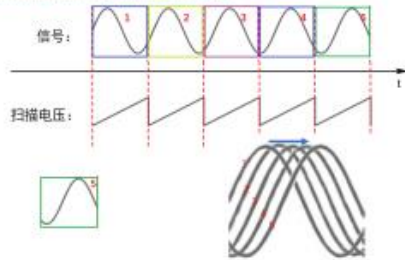
示波器能将振荡信号以波形（正弦波、方波、锯齿波）显示在荧光屏上。它由示波管、放大器（包括X轴放大和Y轴放大）、扫描与触发同步系统和电源四个基本部分组成



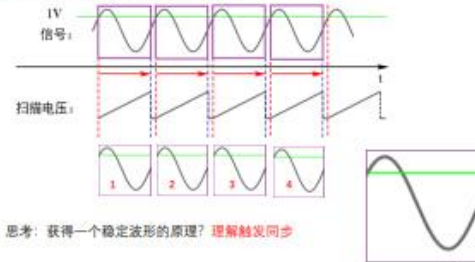
信号周期为扫描周期的整数倍时，例如信号周期等于扫描周期时



信号周期略大于扫描周期时，波形右移



触发扫描同步，可获得稳定的波形



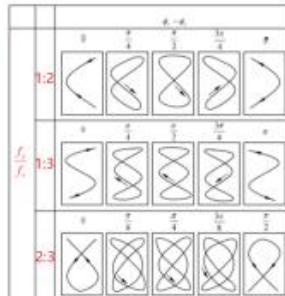
## 李萨如图

相互垂直的两个振动的叠加，出现李萨如图。

当相位差恒定，两者的振动频率是整数比时，可以获得一个稳定的李萨如图，可用于测量频率。

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{T_x}{T_y} = \frac{N_x}{N_y}$$

$$f_y = \frac{N_x}{N_y} f_x$$

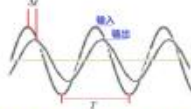
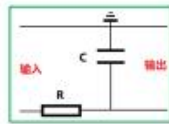
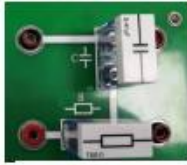


A模式（扫描模式，触发源CH2）  
CH1: DC/  $\Gamma=2V/DIV$   
CH2: AC/  $\Gamma=1V/DIV$   
 $\Phi=0.1ms/div$



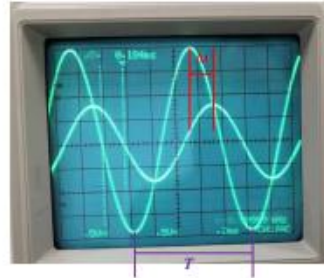
X-Y模式（李萨如图模式）

### RC电路的相位差测量



$$\Delta\varphi = \frac{\Delta t}{T} \times 360^\circ$$

思考： $\Delta\varphi$ 的大小与什么有关？



光标法： $\Delta\varphi = \frac{\Delta t}{T} \times 360^\circ$   
直读法： $\Delta\varphi = \frac{\Delta x}{X} \times 360^\circ$

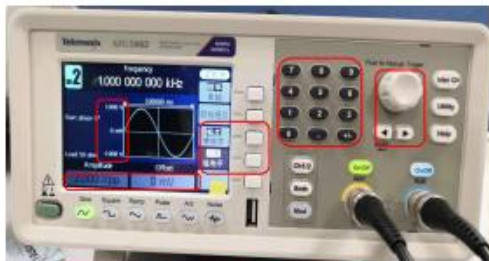
### 三、仪器介绍--GOS-6051示波器(界面)



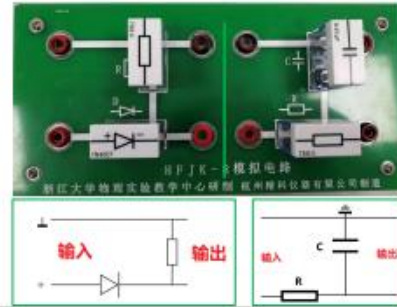
- TRIGGER(触发):
1. SOURCE (触发源) --选CH1/CH2
  2. COUPLING (触发方式) --选AC
  3. LEVEL (触发电平) --旋转选择合适的电平



正位置、拨通或拨出开关、输出电平调节设置



正位置、拨通或拨出开关、输出电压调节设置、偏置电压Offset设置为0mV



### 四、实验内容

实验一、用直接测量法、光标测量法、测量信号电压  
实验二、用直接测量法、光标测量法、测量信号周期或频率  
调整示波器信号发生器、观察稳定的信号波形、体会触发同步、熟悉基本操作。

#### 实验三、用比较法验证： $f_s = \omega_s$

选择扫描时基信号：0.5ms/div, 相当于扫描频率为 $f_s = 200\text{Hz}$ 。  
细心调节信号发生器的输出频率，使示波器全屏显示1个、2个、...完整周期的波形。

波形个数n	1	2	3	4	5	6
测量 $f_s$ (Hz)		401.3				
计算 $f_s$ (Hz)		200.6				

结果： $\bar{f}_s = \frac{\sum f_{s_i}}{6} = \dots$  和  $E = \frac{|\bar{f}_s - 200|}{200} = \dots$

理解：用信号发生器验证示波器扫描时基的精度。注意 $f_s$ 的有效位数和百分误差的位数选取。



实训考核白瓷赛题：每一毫米的细心

#### 实验四、用李萨如图测量未知信号的频率

1. 用信号发生器的CH2输出200Hz (或50Hz) 信号作为未知信号输入示波器的“CH2”通道。作为Y信号源。
2. 用信号发生器的CH1输出信号作为频率已知的信号源。输入示波器的“CH1”通道。作为X信号源。改变信号发生器CH1信号的输出频率，细心调节输出频率，观察李萨如图的变化，并由此测量Y信号源的频率。

$f_x : f_y$	1:1	1:2	1:3	2:1	3:1	2:3
图形						
垂直交点数 $n_y$						
水平交点数 $n_x$						
读出 $f_x$ (Hz)		400.000±0.006				
计算 $f_y$ (Hz)		200.000±0.003				

思考：测量精度可达多少位有效数字

#### 实验五、二极管的导通电压测量

	光标法	直读法 (D=)
$U_{D_{on}}$		
$U_{D_{off}}$		

$$U_{D_{on}} = \frac{1}{2} U_{D_{off}} - U_{D_{off}}$$

#### 实验六：RC电路的相位测量 $R = \dots C = \dots f = \dots$

	光标法	直读法 (Q=)
$\Delta t$		
T		

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta t}{T} \times 360^\circ$$

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta x}{X} \times 360^\circ$$

要求：用光标测量法和直接测量法，并作对比。

- 思考：
- (1) 测量值与输入信号源的相关性？
  - (2) 分析误差来源、如何提高测量精度？
  - (3) 有效数字位数的选取？

#### “示波器的使用”实验预习思考：

1. 示波器的工作原理、CRT的工作原理
2. 何谓“直读法”“光标法”测量电压和周期？
3. 示波器扫描信号的特征？
4. 示波器呈现稳定波形的机理？触发同步的理解
5. 有哪些方法可以检验示波器扫描时基的准确度？
6. 何谓李萨如图，什么情况下示波器可以观察到稳定的李萨如图？
7. 李萨如图测量未知信号频率的原理
8. 什么是二极管的导通电压？示波器测量二极管导通电压的原理？
9. RC电路相位延迟的机理，相位差与哪些因素相关？



## 2. 挂图

**示波器的调整和使用**

**实验简介**

示波器是一种用途广泛的电子测量仪器。不仅能观测电信号的波形,还能直接测量电信号的幅度、周期、频率和相位等参数。采用双踪示波器还可以测量两个信号之间的时间差。示波器具有多种类型,就显示方式来说,主要有阴极射线示波器和液晶显示示波器两种,但它们的基本原理大致相同。本实验通过了解阴极射线双踪示波器的基本原理和使用方法。

**扫描原理**

示波器工作时,需要在X轴偏转板(即水平偏转板)上加有一个锯齿波形的电压,称为扫描电压。在X轴上加扫描电压信号的同时,如果在Y轴上加上待测的正弦变化电压 $y$ 信号,就可以使正弦变化电压 $y$ 信号沿水平轴展开。当锯齿波电压信号与被测电压信号的周期成整数倍关系时,波形显示稳定。

$$T_x = nT_y$$

**李萨如图形**

如果在示波器的X轴和Y轴上都输入正弦变化的电压信号,两信号的频率 $f_x/f_y$ 能取成简单的整数比,则电子束的偏转将是两个相互垂直的简谐运动的合运动,荧光屏将描绘出合运动的图形,这种合成图形称为李萨如图形。

$$f_x : f_y = N_x : N_y$$

**示波器的基本结构**

Y输入放大器  
扫描同步信号  
X输入放大器  
偏转  
荧光屏

(a) 灯丝, (b) 栅极, (c) 聚焦阳极, (d) 加速极

**背景知识**

卡尔·费迪南德·布劳恩(1850—1918),德国物理学家。1909年诺贝尔物理学奖获得者,阴极射线管的发明者。

**示波器发展历程**

- 1869年,希托夫发明阴极射线。
- 1880年,爱迪生重新发现热电子发射现象。
- 1897年,汤姆森首次提出电子的概念。
- 1897年,布劳恩发明了基于阴极射线管CRT的示波器。
- 1899年,泽纳克在CRT中装入扫描磁体。
- 1930年前后,A.C. Cosor's公司推出一台双踪CRT示波器。
- 1960年代后期,数字示波器的发明推广。
- 1990-2000年中期,Nicolet和HP公司推出了基于个人电脑的数字示波器。

浙江大學 物理实验教学中心

## 3. 案例 3

### (1) 教学内容

在力学创建之初,牛顿的水桶实验就发现,当水桶中的水旋转时,水会沿着桶壁上升。旋转的液体表面形状为一个抛物面,该抛物面也可成为一个很好的光学元件。美国的物理学家乌德就创造了液体镜面,他在一个大容器里旋转水银,得到了一个理想的抛物面,由于水银能很好地反射光线,所以能起反射镜的作用。随着现代技术的发展液体镜头正在向“大”“小”两极发展。“大”,可以作为大型天文望远镜的镜头,反射式液体镜头已经在大型望远镜中得到了应用,代替传统望远镜中使用的玻璃反射镜。当盛满液体(通常采用水银)的容器旋转时,向心力会产生一个光滑的用于望远镜的反射凹面。通常这样一个光滑的曲面,完全可以代替需要大量复杂工艺并且价格昂贵的玻璃镜头,而哈勃空间望远镜的失败已经让我们认识到玻璃镜头是何等的脆弱。“小”,则可以作为拍照手机的变焦镜头。美国加利福尼亚大学的科学家发明的液体镜头,通过改变厚度仅为8mm的两种不同的液体交接处月牙形表面的形状,实现了焦距的变化。这种液体镜头相对于传统的变焦系统而言,兼顾了紧凑的结构和低成本两方面的优势。本案例通过牛顿水桶实验思想出发,介绍科学家们对时空观认识 and 发展的过程,提高学生的科学素养。在利用旋转液面设计天文望远镜时,介绍中国天眼工程和天眼之父-南仁东,增强学生的爱国热情。在介绍利用旋转液体测量重力加速度时,介绍重力加速度精确测量的重要性及测量方法,播放大国工匠视频,教育学生不同行业都有精密测量的需求和意义。在比较不同方法测量误差时,让学生理解同一问题有多种不同解决方法,要学会多方面多角度看问题。

### (2) 融入点

1. 在介绍牛顿水桶实验时,融入“科学家精神”,告诉学生“科学是无国界”的道理,基础科学的进步都是一代代科学家在不断思考,质疑和辩论中取得的。任何成功都不是一蹴而就

的，只有不断探索、勤奋好学才能勇攀高峰。

2. 在介绍旋转液体表面可以设计成天文望远镜和镜头时，引入我国的天眼工程和天眼之父南仁东，学习我们国家老一辈科学家的爱国和奉献精神，激发学生的爱国情怀。

3. 在介绍重力加速度精确测量时，播放央视“大国工匠”记录片的报道-火箭“心脏”焊接人高凤林，融入水滴石穿的道理和一丝不苟的工匠精神。告诉学生科学是用来服务社会、服务人民的，越是困难的事情，越要像“高凤林”们一样，坚持不懈，用学到的科学知识来分析问题和解决问题，服务社会，报效祖国。

4. 在讲解实验中不同方法测量重力加速度时，讲述浙大人钱三强科学强国故事，融入“科学无国界，但是科学家是有国界”的道理，教育学生要不断思索、惟学无际，在实验中，要能够多角度多方面思考和分析问题。通过介绍钱三强的科学贡献和科学探索故事，提升学生创新创造能力的激情。

### (3) 实例

教师活动	学生活动
<p>(1) 从牛顿木桶实验出发，简介近代物理史关于时空观的认识，引入爱因斯坦的狭义相对论时空观。</p> <p>水桶实验是英格兰物理学家、数学家、天文学家、自然哲学家艾萨克·牛顿爵士所做过的一个实验，用以证明绝对空间的存在。牛顿对于该实验的解释，在一百年后遭到奥地利物理学家、哲学家、心理学家、生物学家马赫的批判和犹太裔理论物理学家、思想家及哲学家爱因斯坦的颠覆。</p> <p>牛顿就把前人的各不相关的独立成果系统化，综合在一起，形成了有逻辑联系的整体。在这个理论体系的框架中，有一些必不可少的基本要素。牛顿以注释的方式写在定义的后面，这就是他对空间、时间和运动的观点。关于时间，他写道：“绝对的、真正的和数学的时间自身在流逝着，而且由于其本性而在均匀地、与任何外界事物无关地流逝着，它又可名为‘期间’；相对的、表观的和通常的时间，是期间的一种可感觉的、外部的或者是精确的，或者是变化着的量度，人们通常就用这种量度，如小时、日、月、年来代表真正的时间。”关于空间，牛顿写道：“绝对空间，就其本性而言，是与外界任何事物无关而永远是相同的和不动的。相对空间是绝对空间的某一可动部分或其量度，是通过它对其他物体的位置而为我们的感觉所指示出来的，并且通常是把它当作不动的空间的。”关于运动，牛顿写道：“绝对运动是一个物体从某一绝对的处所向另一绝对处所的移动。”“真正的、绝对的静止，是指这一物体在不动的空间的同一个部分继续保持不动。”这就是牛顿的绝对时空观。牛顿引入绝对时间和绝对空间的概念是完全必要的，由此可以提供一个标准来判断宇宙万物所处的状态，究竟是处于静止、匀速运动还是加速运动，才能使“力学有明确的意义”，（爱因斯坦语）。为了证明“绝对运动”的存在，牛顿举了水桶旋转的例子。</p> <p>根据牛顿第一定律，在没有其他力介入的情况下，运动的物体总是保持匀速直线运动，要想使（匀速直线运动的）物体转为做匀速圆周运动，就必须再给予一个垂直方向的力，这就是向心力。</p> <p>所谓的离心力，仅是缺乏向心力的表现。即我们的主观意愿是做匀速</p>	<p>聆听讲解，观看图片，观看PPT。</p>



圆周运动，而物体运动的天性是匀速直线运动。如果我们停止提供向心力的话，物体会沿切线方向做匀速直线运动。

对于水桶实验而言，可将其中的每一滴水看做一个粒子。当桶壁旋转时，会以摩擦力的方式传递切向力给水粒子。而水粒子受到切线力后试图做直线运动，所以逐渐远离了转轴。但很快就遇到了桶壁，没法再做直线运动。当越来越多的粒子挤到桶壁边缘时，因为左右也挤满了粒子，它们只有朝上下方向扩散。由于有桶底，下面走不了，那么只有朝上面运动。因为受到引力影响，碰撞所产生的速度很快就被引力抵消，所以边缘的水面只能维持一定的高度。

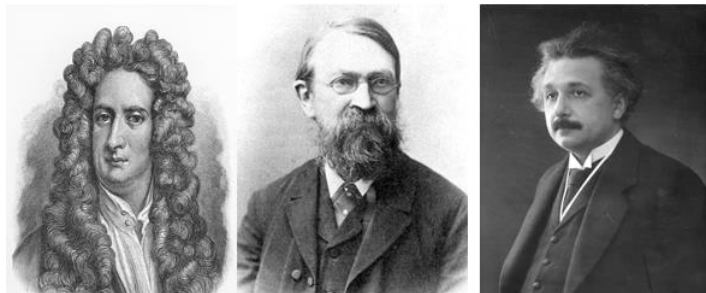
如果没有桶底、仍有引力。不论是否旋转，水肯定会沿着引力方向流走。如果没有桶底，也没有引力，但仍有桶壁(无限长)，且旋转速度足够快。那么水粒子会向上下两个方向挤压，最终会全部会附在桶壁内面，桶的中间没有水。而当没有桶壁，也没有引力时，若旋转速度足够快，水团所需的向心力大于水自身的引力时，那么水滴会朝外飞出去，永远不会回来(无限三维空间);若旋转速度较慢，维持水团做匀速圆周运动所需的向心力小于水自身的引力时，那么水团会因旋转形成一个椭球体(扁球状)。

综上所述，在真空中的一团水，如果是静止的，会因引力而形成正圆球体。而牛顿观点的本质是:根据圆周运动的特性，真空中的水球，如果是椭球体，那么能够推出水球在转动;如果是正圆球体，那么可推论水球没有转动。可是运动是相对的，茫茫太空(真空)中一个变扁的水球，是在相对于什么参照物转动?牛顿认为是相对于绝对的空间。

马赫则认为:没有绝对的空间，水球中心即为宇宙中心，宇宙中各星体(宇宙四面八方的所有质量)提供的作用力，正好使水球成椭球体形状。水球转动的参照物，是宇宙中除水球外的所有物质。如果水球不动，宇宙间除水球外的所有物质(各类天体)，以水球为中心转动起来，那么按照马赫的观点，水球相对于星辰们在转动，就会变扁;按照牛顿的观点则不会，因为这时，水球相对于绝对空间，仍然是静止的。

所以马赫把宇宙间所有的星辰和物质都拿来作一个小小水球的参照物，看似很夸张，可是实质上，牛顿更夸张，牛顿是把整个宇宙(排除其间的一切星辰和物质)空间作为参照物。

马赫的解释启发了爱因斯坦，牛顿的绝对时空观因而受到颠覆。



教学过程中融入了科学家精神、为人类做贡献等“道德修养”和“全球关切”课程思政元素。

(2) 从水桶旋转形成抛物面型的凹面镜, 及其基本应用, 可以做成液体镜头, 用于天文观测, 再联想到我们国家的天眼工程和南仁东。强调大国重器和中国科学家的爱国情怀。

500 米口径球面射电望远镜 (Five-hundred-meter Aperture Spherical radio Telescope) 英文简称刚好是 FAST 天眼。是世界已经建成的最大射电望远镜, 借助天然圆形溶岩坑建造。FAST 的反射镜边框是 1500 米长的环形钢梁, 而钢索则依托钢梁, 悬垂交错, 呈现出球形网状结构。FAST 的反射面总面积约 25 万平方米, 用于汇聚无线电波、馈源接收机接收。

2016 年 9 月 25 日, 500 米口径球面射电望远镜落成启用。2017 年 10 月 10 日 FAST 发现 6 颗脉冲星; 12 月又新发现 3 颗脉冲星, 共已经发现 9 颗脉冲星。2020 年 1 月 11 日, fast 通过国家验收正式开放运行。

南仁东(1945 年 2 月 19 日-2017 年 9 月 15 日), 男, 满族, 群众, 吉林辽源人, 中国天文学家、中国科学院国家天文台研究员, 曾任 FAST 工程首席科学家兼总工程师, 主要研究领域为射电天体物理和射电天文技术与方法, 负责国家重大科技基础设施 500 米口径球面射电望远镜(FAST)的科学技术工作。2017 年 5 月, 获得全国创新争先奖; 2017 年 7 月, 入选为 2017 年中国科学院院士增选初步候选人。

南仁东 1963 年就读于清华大学, 于中国科学院研究生院获硕士、博士学位。后在日本国立天文台任客座教授, 1982 年, 他进入中国科学院北京天文台工作。1994 年起, 一直负责 FAST 的选址、预研究、立项、可行性研究及初步设计。作为项目首席科学家、总工程师, 负责编订 FAST 科学目标, 全面指导 FAST 工程建设, 并主持攻克了索疲劳、动光缆等一系列技术难题。2016 年 9 月 25 日, 其主持的 FAST 落成启用。

2017 年 9 月 15 日晚, 南仁东因肺癌逝世, 享年 72 岁。2018 年 12 月 18 日, 党中央、国务院授予南仁东同志改革先锋称号, 颁授改革先锋奖章, 并获评“中国天眼”的主要发起者和奠基人。2019 年 9 月 17 日, 国家主席习近平签署主席令, 授予南仁东“人民科学家”国家荣誉称号。2019 年 9 月 25 日, 被评选为“最美奋斗者”。



教学过程中融入了“大国重器”、热爱祖国等“家国情怀”课程思政元素。

(3) 从播放央视“大国工匠”纪录片作为融入点, 在分析重力加速度精密测量的意义, 步步深入, 告诉学生实验测量要有“工匠精

聆听讲解, 观看实验挂图、观看 PS 图片、观看 PPT、思考提问、师生互动。

观看视频, 观看 PPT, 思考提问, 归纳总

神”。

先讲解重力加速度测量的一些常规方法，从最开始伽利略利用斜面粗略测量，到现在冷原子干涉法精密测量。

夏立，男，1971年生，汉族，群众，中国电子科技集团公司第五十四研究所钳工，高级技师，单位航空、航天通信天线装配责任人，中国电科首届高技能带头人，于2016年6月成立夏立创新工作室。荣获2016年全国技术能手、河北省金牌工人、河北省五一劳动奖章、河北军工大工匠、2017年北京世纪坛国防邮电产业大国工匠代表。他是一名钳工，但在博士扎堆儿的研究所，博士工程师设计出来的图纸能不能落到实处，都要听听他的意见。二十多年的时间里，夏立天天和这些半成品通信设备打交道，在生产、组装工艺方面，夏立攻克了一个又一个难关，创造了一个又一个奇迹。

挑战0.004毫米的齿轮间隙——装配亚洲第一射电望远镜超高精度天线的故事

384400千米，是地球到月球的平均距离。

0.004毫米，是亚洲最大射电望远镜的天线齿轮间隙的距离，相当于一根头发丝的1/20粗细。

这两个差距以亿来计算的数字，由于“嫦娥落月”工程，被紧紧连在一起，而将它们连在一起的，是中国电子科技集团公司第54所的高级钳工夏立。

上海65米射电望远镜，名列全球第四、亚洲第一。银色的望远镜矗立在上海佘山脚下，在蓝天下雄伟壮观。由于建设中涉及多个技术领域，这种大型射电望远镜是国家科技实力的体现。

要实现灵敏度高、指向精确等性能，望远镜天线的核心部件方位俯仰控制装置的齿轮间隙要达到0.004毫米。完成这个“不可能的任务”的，就是有着近30年钳工经验的夏立。

“现代科技使许多精密制造实现了自动化，但要实现这种超高精度的装配，离不开高技能工人的手工操作，夏立完全‘融’进了卫星天线的装配。”夏立的同事们由衷赞叹。

走进夏立所在的54所天线伺服专业部工艺与制造室的车间，上千平方米车间内，满是正在装配中的各型号卫星天线。54所承揽的卫星天线基本上都在这里制造，夏立是技能带头人。

从1987年进入54所至今，近30年的钳工工作中，夏立参与了许多国家重大工程中卫星天线的预研与装配。“最难的是上海65米射电望远镜天线的装配。”他说。

射电望远镜，通过接收天体的射电波来确定遥远天体的结构。嫦娥三号月球软着陆、嫦娥五号飞行试验器测定轨……不仅在我国探月工程中接收信号、发送指令，上海65米射电望远镜还“凝望”着更遥远的深空，被形象地称为“天马望远镜”。

让“天马行空”，是夏立的骄傲。因为装配难度太大，54所将任务交给他。

宇宙中的射电波有不同波段，望远镜的天线就如同鼻子和耳朵，通过左右上下扫描，精确找到、接收不同波段的信号，哪怕只偏离了百分之几的角度，就可能找不到目标。控制天线对各角度进行扫描的

结。

装置，被称作方位俯仰控制装置，其核心是一个直径 200 毫米、厚度 10 毫米的圆形钢码盘。

确保望远镜精准探测，安装钢码盘成为关键，齿轮间隙要有 0.004 毫米，如果太小，天线转不动，大了，天线会松动。

一丝，是 0.01 毫米。一根头发丝大约有 8 丝粗细，而 0.004 毫米只有一根头发丝的 1/20。实现精确装配，夏立说最重要的是“心静”，眼里、心里只有设备。拧螺丝时，屏住呼吸，手稍微重一点，会过紧，手的力量不够，达不到精度要求。“要反复测算，寻找零件的移动变形量，找到规律，就容易达到装配精度要求了。”在反复尝试中，他凭着多年积累的手感，寻找那无法言说的“偶遇”。

安装钢码盘，夏立面临着不止一个难题。钢码盘要安装到一个托盘上，托盘的平面度要求极高，为千分之几毫米，当时磨床设备的加工能力只能达到百分之几毫米，精度等级相差 10 倍。他决定手工磨出来。用 2 个千分表一点点测量托盘表面，比较分析所有数据，3 天时间，他将托盘平面高低相差 0.02 毫米，磨到相差 0.002 毫米，顺利完成装配任务。

护航舰船通信、“天眼”上的工匠追求

安装陆地上超高精度的天文望远镜天线，很难。安装海上的天线，难题更多。

中国海军赴亚丁湾、索马里海域执行护航任务，展示了我国作为一个负责任大国的形象。护航舰艇同样离不开卫星通信。除了精度上的苛刻要求，夏天在索马里海域，舰艇甲板温度能达到 50℃，舰载通信天线处于高温之中，护航舰艇在海浪冲击下晃动幅度大，空气的腐蚀性也比较强。在复杂海况下，保持天线稳定运行，夏立带领团队设计出了全新的 1.2 米天线的核心部件，体积更小，数据传输量却相当于以前两三台舰载天线之和。由于创造了 6 个月不停机连续工作的记录，他们受到使用方赞扬。

作为一名钳工，只要按照设计师的图纸将设备精确装配，就算圆满完成任务。但夏立不止于此，作为技术带头人，他经常出现在新产品预研定型的技术分析会上。

世界最大单口径射电望远镜——500 米口径球面射电望远镜，正在贵州一个“大窝凼”里安装。建成后，它将在未来 20 至 30 年保持世界一流设备的地位。这台望远镜的天线也包含着夏立的智慧。54 所中标了这一超级望远镜天线的装配。在投标时，54 所需要提供一个天线结构件。在结构件的预研装配中，夏立他们对不少不合理的地方提出修改意见，让装配顺利进行。

这些组装机器人无法代替

“现在机械设备自动化程度很高，但钳工工种没有消失，就是因为特殊环境、特殊结构上需要超高精度装配，这是机械做不到的。”夏立说。

通信天线的安装，就是将各个部件组装起来。在外人看来，工业化时代，工业产品的组装应该在流水线上完成，或由机器人完成。像夏立和工人师傅们这样，仍旧用双手将一个个零部件组合到一起，显得似乎不够现代化。

“流水线上的工作是纯机械劳动，不需要动脑，这里则不然。”夏立说，他们这里和大家所认知的流水线不同，这些组装工作也无法由机器人代替。

生产组装车间，就是要把设计师的图纸变成产品，实际上，很多时候，设计师设计的图纸在实际生产、加工中会遇到诸多问题。

因此，工人师傅们不仅要会看图纸，在将图纸内容落地的过程中，会遇到种种问题，这些问题是最直接的拦路虎。甚至，一些个别部件旋转的频率和速度都是靠工人师傅们长期积淀形成的手感来确定的。

少年时期的夏立就表现出动手能力强，对事物好奇心重的特点，并成长为邻居和同事们眼中的“巧手”。机缘巧合，夏立从事了他感兴趣的工作，不到17岁，夏立就进入54所，成为一名学徒钳工。到今天，二十多年的时间里，夏立一直待在54所的钳工操作台上，用电钻、扳手、钳子确保经手的军工品质——合格率100%。



(4) 从一套仪器能够实现多种方法测量重力加速度重力加速度，告诉学生在科研中要不断探索，遇到困难要能够从多方面多角度去解决问题。杰出的浙大校友钱三强在新中国一穷二白的情况下，克服种种困难，带领科研人员研制中国人自己的核武器。这种“浙大精神”值得每个同学学习。

1937年夏秋之交，在卢沟桥的炮声响起之际，24岁的钱三强以报国之志远赴欧洲，进入世界上原子核科学研究最先进的机构之一巴黎大学居里实验室做研究生。

“学以致用，报效祖国”，这是他在异国他乡的座右铭。

1945年，钱三强在伦敦见到了邓发将军，他们从共产党人的革命理想谈到抗日战争和延安的大生产运动。临走前，邓发同志取出一份剪报集，那是毛主席在党的第七次代表大会上的报告《论联合政府》，那也是钱三强第一次读到毛主席的文章。

此后，钱三强对中国命运与前途，以及自己作为中华儿女担负的使命有了新的认识。从伦敦回到巴黎后不久，钱三强在旅法党支部领导下，参加了一次与国民党反动派旅法势力的斗争。虽然当时钱三强还没有在组织上入党，但却以实际行动和党组织紧密联系在一起。

“科学没有国界，科学家却是有祖国的”

1946年12月9日，钱三强领导的科研小组在法国科学院《通报》

聆听讲解，观看PPT、思考提问、师生互动。



上正式公布了铀核三分裂变的研究成果。随后，钱三强的妻子何泽慧在量实验中又发现四分裂变现象。一直以来关于“铀核只有二裂变”的结论被打破了！钱三强夫妇引发了世界核物理研究领域的一次“地震”。

1947年，年仅34岁的钱三强晋升为法国科学研究中心的研究导师。然而，令人艳羡的职位和丰厚的待遇并不能减轻钱三强对祖国的思念，他毅然决定回国。他说：“虽然科学没有国界，科学家却是有祖国的。祖国再穷，是自己的。而且正因她贫穷落后，更需要我们去努力改变她的面貌。”

回国后，钱三强在预备党员《请求转正报告》中写道：“为了使我国的科学从落后的状态快步的赶上我们的需要，我们必须要加强党的领导。我要求党给我努力的机会，允许我转正，我保证今后向达到党员的标准努力奋斗。”

1955年，党中央决定发展我国核力量，钱三强成为了规划制订人。1956年11月，主管原子能工业的二机部正式成立，钱三强任副部长。1960年，党中央决定自力更生发展原子弹，钱三强担任了技术上总负责人、总设计师。

新中国的核科学事业在钱三强等老一辈科学家的谋划和组织下开始起步，一大批科学家从国内外聚集起来。短短几年，近代物理研究所（后改名原子能研究所）就从建所初期的十几个人增加到了上百五十多人，他们日后都成为了新中国核科学的创业者和奠基人。

1964年10月16日，伴随着一声巨响，我国西部上空升腾起第一朵蘑菇云，中国第一颗原子弹试爆成功。仅仅2年零8个月后，我国第一颗氢弹相继爆炸成功，成为世界上从原子弹到氢弹发展最快的国家。

甘为人梯，立德树人

1979年，钱三强以中国科学院副院长身份兼任浙江大学校长。他在继承浙大求是校训的基础上，大力倡导创新精神，为浙大人才培养和国际学术交流做出了卓越的贡献。

1979年4月，当钱三强第一次与浙大师生见面时，就向浙大师生员工提出，必须旗帜鲜明地坚持四项基本原则；坚持又红又专的方向；提倡和发扬艰苦奋斗的精神；继承和发扬“求是”精神，培养和鼓励“创新”精神等。

此外，钱三强还着力提倡新的教育理念，避免学生“读死书，死读书”，重视交叉学科的学习，倡导跨学科学习和研究。

“科学不是为了个人荣誉，不是为了私利，而是为人类谋幸福”。钱三强在浙大兼任校长虽然只有短短三年，但他“以天下为己任，以真理为归依”的高尚品质，以及为浙江大学建设和发展作出的历史贡献，永远铭刻在浙大人的心里。

1982年，年近70的钱三强在接受记者采访时，借用了马克思的一段话回顾了他对原子能事业的坚持与热爱：“如果我们选择了最能为人类福利而劳动的职业，我们就不会为它的重负所压倒，因为这是为全人类所做的牺牲；那时我们感到的将不是一点点自私而可怜的欢乐，我们的幸福将属于千万人。”

1992年钱三强逝世，终年79岁。他身后留下的，是中国原子能事业的巍峨大厦。

如今的浙大紫金港校区的启真畔西岸，还坐立着一尊钱老校长的雕像，静坐沉思。老校长神态和蔼，手捧着翻页书，周围落满的原子状圆形雕塑，是他一生的见证。



教学过程中融入了“浙大精神”课程思政元素。

#### (4) 融入方式

整个教学过程使用问答式、操作讲解、叙事讲述的教学方法，兼以挂图、白板书写、视频、实物展示、讨论互动等辅助教学手段。

#### (5) 教学资料：若干相关教学活动照片或 PPT、视频等材料

##### 1. PPT（全部）

链接地址：<http://z.juphyllab.zju.edu.cn/实验教学/课程思政教学案例>

A collage of four PPT slides related to the 'Rotating Liquid Comprehensive Experiment'.  
Slide 1: Title slide for '旋转液体综合实验' (Rotating Liquid Comprehensive Experiment) by 姚星星 (Yao Xingxing), with contact information and the Zhejiang University Physical Experiment Teaching Center.  
Slide 2: Table of contents listing: 一.实验背景 (Experimental Background), 二.实验目的 (Experimental Purpose), 三.实验原理 (Experimental Principle), 四.实验内容 (Experimental Content), 五.实验思考 (Experimental Thinking).  
Slide 3: Section 1.1 '水桶实验' (Bucket Experiment) with sub-sections: 绝对空间 (Absolute Space) featuring Isaac Newton, 相对空间 (Relative Space) featuring Ernst Mach, and 狭义相对论 (Special Relativity) featuring Albert Einstein.  
Slide 4: Section 1.2 '液体镜头' (Liquid Lens) with text describing the invention of liquid lenses by American physicist Robert W. Doolittle and the development of electronic liquid lenses by Varioptic, along with a diagram and a photo of a person wearing a liquid lens device.

## 一.实验背景

### 1.3 重力加速度

伽利略：约在1590年，他利用斜面将g的测定改为测定微小加速度 $a=g\sin\theta$ ， $\theta$ 是斜面的倾角。

重力加速度g值的准确测定的意义：计量学、精密物理计量、地球物理学、地震预报、重力探矿和空间科学等。

1967年国际重力加速度公式：

$$g = 978.03185(1 + 0.005278895 \sin^2 \varphi + 0.000023462 \sin^4 \varphi)$$

2022-11-24

5

## 二.实验目的

- 1) 了解旋转的液体抛物面成因及原理。
- 2) 学会用旋转液体法测量重力加速度。

2022-11-24

6

## 三.实验原理

### 3.1 旋转液体抛物面公式推导

$$N \cos \theta - mg = 0$$

$$N \sin \theta - F_c = 0$$

$$F_c = m\omega^2 x$$

$$\tan \theta = \frac{dy}{dx} = \frac{\omega^2 x}{g}$$

$$y = \frac{\omega^2}{2g} x^2 + y_0$$



7

## 三.实验原理

### 3.2 重力加速度测量

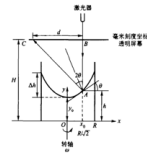
在实验系统中，一个盛有液体半径为R的圆柱形容器，沿轴心以角速度 $\omega$ 匀速稳定转动时，液体的表面形成抛物面，如图

设液体未旋转时液面高度为h，液体的体积为： $V = \pi R^2 h$   
以角速度 $\omega$ 旋转时，液体的体积为：

$$V = \int_0^R y(2\pi x) dx = 2\pi \int_0^R \left( \frac{\omega^2 x^2}{2g} + y_0 \right) x dx$$

$$y_0 = h - \frac{\omega^2 R^2}{4g}$$

当 $x = x_0 = R/\sqrt{2}$ 时， $y(x_0) = h$  即液面在 $x_0$ 处的高度是恒定值。



8

## 三.实验原理

用旋转液体液面最高与最低处的高度差测量重力加速度

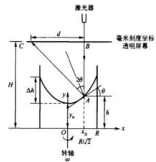
设旋转液面最高与最低处的高度差为h，

$$y_0 + \Delta h = \frac{\omega^2 R^2}{2g} + y_0$$

$$g = \frac{\omega^2 R^2}{2\Delta h} \quad \omega = \frac{2\pi n}{60}$$

$$g = \frac{\pi^2 D^2 n^2}{7200 \cdot \Delta h}$$

D为圆筒直径，n为旋转速度（转/分）



9

## 三.实验原理

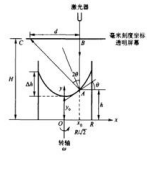
斜率法测重力加速度

$$\tan 2\theta = \frac{d}{H-h} \quad \tan \theta = \frac{dy}{dx} = \frac{\omega^2 x}{g}$$

$$\text{在 } x_0 = R/\sqrt{2} \text{ 处有 } \tan \theta = \frac{\omega^2 R}{\sqrt{2}g}$$

$$\text{因为 } \omega = \frac{2\pi n}{60}, \text{ 则 } \tan \theta = \left( \frac{2\pi n}{60} \right)^2 \frac{R}{\sqrt{2}g} = \frac{4\pi^2 R n^2}{3600\sqrt{2}g} = \frac{2\pi^2 D n^2}{3600\sqrt{2}g}$$

$$g = \frac{2\pi^2 D n^2}{3600\sqrt{2} \tan \theta}$$



10

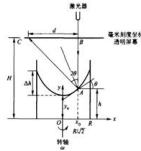
## 三.实验原理

焦距法测重力加速度

旋转液体表面形成的抛物面可看作一个凹面镜。若光线平行于曲面对称轴入射，反射光将全部会聚于抛物面的焦点。

$$f = \frac{g}{2\omega^2}$$

$$g = 2\omega^2 f = 2 \left( \frac{2\pi n}{60} \right)^2 f = \frac{\pi^2 n^2 f}{450}$$



11

## 四.实验内容



2022-11-24

12

#### 四.实验内容



- 1) 改变圆桶转速6次, 测量液面最高与最低处的高度差, 计算重力加速度。
- 2) 将透明屏幕 (1) 置于圆桶上方, 用自准直法调整激光束平行转轴入射, 经过透明屏幕, 对准桶底处  $x_0 = R/\sqrt{2}$  的记号, 测出透明屏幕至圆筒底部的距离H、液面静止时高度h。改变圆桶转速6次, 在透明屏幕上读出入射光与反射光点间距离d, 则  $\tan 2\theta = \frac{d}{H-h}$ , 求出  $\tan \theta$  值, 计算重力加速度。
- 3) 将毫米刻度垂直屏幕通过转轴放入实验容器中央, 激光束平行转轴入射至液面后聚焦在该屏幕上, 改变入射位置再观察聚焦情况。改变圆桶转速共 6 次, 记录焦点位置, 计算重力加速度。

2022-11-24

13

13



谢谢!

15

15

#### 五.实验思考



1. 影响实验测量精度的主要因素有哪些?
2. 分析转速快慢对实验的影响哪个更大?

14

14

14

#### 2. 照片 (授课现场)



#### 4. 案例 4

##### (1) 教学内容

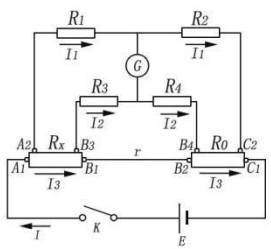

直流双臂电桥又名开尔文电桥, 是一种测量低值电阻 (一般在  $10^{-5}\Omega \sim 1\Omega$  之间) 的常用仪器。例如测量金属材料电阻率、分流器电阻、电机及变压器绕丝电阻等。在测量低电阻时, 连接线的电阻、接头的接触电阻 (一般为  $10^{-3} \sim 10^{-4}\Omega$  的数量级) 都将给测量结果带来

不允许的误差。因此就必须想办法消除或减小接线电阻和接触电阻对测量结果的影响。双臂电桥就是为了解决这些矛盾而设计出来的。本案例以利用直流双臂电桥测量低值电阻为例，在介绍英国科学家 W. 汤姆孙在单臂电桥的基础上，创造出开尔文电桥的故事时，教育学生要善于借鉴已有的成果并突破创新。通过介绍讲述汤姆孙和前浙大校长、核物理学家钱三强院士在科学研究过程中不畏困难，攻克难题的事迹，教导学生在学习或生活中要不怕失败、正视困难，要永远保持着乐观的战斗精神。在讲解双臂电桥的使用时，从“唐孝威科学实验四十年”作为切入点，讲解科学实验的重要性，让学生科学地调节双臂电桥，特别是如何调节检流计灵敏度配合阻值测量，强调要学习唐孝威院士，学习他做了四十年实验的持之以恒的实验精神，强调学生要做好实验就需要这种几十年如一日的实验精神。在讲解如何调节温控器时，通过介绍温控器在各个领域中的应用及重要意义，融入科学强国的爱国精神。

## (2) 融入点

1. 在讲述直流双臂电桥历史背景时，融入借鉴与创新的科学精神，通过讲述爱迪生借鉴电话发明了留声机，汤姆孙借鉴单臂电桥理论，创造出直流双臂电桥，教育学生借鉴不是为了抄袭，而是为了更好的创新，要善于借鉴已有的成果，并在此基础上取得突破，要科学前辈学习，学有所成，报效祖国。
2. 在介绍汤姆孙科学生涯不畏困难、攻克难题事迹时，融入正视困难、乐观战斗的科学精神，通过汤姆孙和前浙大校长、我们著名核物理学家钱三强的事例，告诉学生在任何时候都不要因为害怕失败而畏首畏尾，对困难必须正视，不能回避，每个困难一定有解决的办法。
3. 在讲解如何使用双臂电桥时，融入“浙大精神”，讲述浙大学子唐孝威科学实验四十年故事，教育学生要科学实验，通过介绍唐孝威的科学实验四十年的故事，提升学生学习唐孝威“刻意实验”四十年，一生为国做贡献的决心。
4. 在讲解如何调节温控器时，融入科学强国的爱国精神。从讲解温控器的温控精确度在实验中的作用，拓展到温控器在工业、通信业、储能、新能源汽车等多个领域中的应用，阐述温控器在当今科技发展中的重要地位，勉励学生学好知识，科技强国，为国贡献。

## (3) 实例

教师活动	学生活动
<p>(1) 在介绍实验背景知识时，从汤姆孙借鉴单臂电桥理论，创造出直流双臂电桥切入，融入借鉴与创新的“道德修养”思政课程元素，强调学生要有善于借鉴、勇于创新的精神。</p> <p>1862 年英国的 W. 汤姆孙在研究利用单臂电桥测量小电阻遇到困难时，发现引起测量产生较大误差的原因是引线电阻和连接点处的接触电阻。这些电阻值可能远大于被测电阻值。因此，他提出了新的桥路，想办法消除或减小接线电阻和接触电阻对测量结果的影响，被称为汤姆孙电桥。后因他晋封为开尔文勋爵，故又称开尔文电桥。</p> <div style="display: flex; align-items: center;">   </div> <p>爱迪生借鉴电话发明留声机。爱迪生根据电话传话器里的膜板随</p>	<p>聆听讲解，观看图片，观看 PPT。</p>



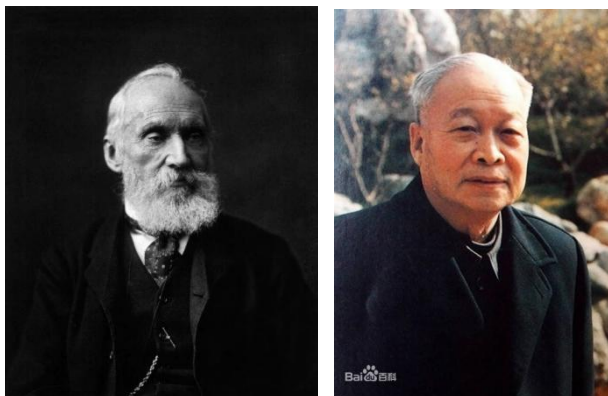
着说话声会引起震动的现象，拿短针作了试验，从中得到很大的启发。说话的快慢高低能使短针产生相应的不同颤动。那么，反过来，这种颤动也一定能发出原先的说话声音。于是，他开始研究声音重发的问题。1877年8月15日，爱迪生让助手克瑞西按图样制出一台由大圆筒、曲柄、受话机和膜板组成的怪机器。爱迪生指着这台怪机器对助手说：“这是一台会说话的机器”，他取出一张锡箔，卷在刻有螺旋槽纹的金属圆筒上，让针的一头轻擦着锡箔转动，另一头和受话机连接。爱迪生摇动曲柄，对着受话机唱起了“玛丽有只小羊羔，雪球儿似一身毛……”。唱完后，把针又放回原处，轻悠悠地再摇动曲柄。接着，机器不紧不慢、一圈又一圈地转动着，唱起了“玛丽有只小羊羔……”。“会说话的机器”诞生的消息，轰动了全世界。爱迪生设计的留声机，是世界上最早的录音装置，是19世纪最引人振奋的三大发明之一。

教学过程中融入借鉴与创新的“道德修养”课程思政元素。

(2) 从汤姆孙以及钱三强不畏困难、艰苦攻坚、乐观战斗的事事例切入，融入“道德修养”思政课程元素，教育学生学习过程中要不怕困难，百折不挠。

威廉·汤姆孙(William Thomson,1824-1907)。英国物理学家。1892年被封为开尔文勋爵(Lord Kelvin)。学于格拉斯哥大学与剑桥大学。格拉斯哥大学教授。英国皇家学会会长。在研究热学和电学及其应用方面最有成就。汤姆孙一生谦虚勤奋，意志坚强，不怕失败，百折不挠。在对待困难问题上他讲：“我们都感到，对困难必须正视，不能回避；应当把它放在心里，希望能够解决它。无论如何，每个困难一定有解决的办法，虽然我们可能一生没有能找到。”他这种终生不懈地为科学事业奋斗的精神，永远为后人敬仰。

中国的核弹研究工作并没有那么一帆风顺。苏联单方面终止中苏两国签定的国防新技术协定，撤走了全部专家作为一个有爱国心的知识分子，钱三强很清楚，原子弹对于中国原子核科学事业，甚至于中国的国防、中国的历史，将意味着什么。摆在面前的道道难关，但他没有退缩，钱三强带领原子能战线上的工作人员，精神抖擞地投入依靠自己的力量发展核科学的伟大事业中。最终，成功研制出原子弹和氢弹。钱三强一生脚踏实地、艰苦攻坚，创造了世界导弹研究领域奇迹，为共和国铸就了不朽的丰碑。



教学过程中融入了不畏困难、乐观战斗的“道德修养”课程思政元素。

聆听讲解，观看实验挂图、观看PS图片、观看PPT。

(3) 在讲解如何使用双臂电桥时，从《唐孝威科学实验四十年》作为融入点，讲解科学实验的必要性和重要性，让学生科学地调节双臂电桥，特别是如何调节检流计灵敏度配合阻值测量。学习唐孝威院士做了四十年实验的科学实验精神，唐孝威“刻意实验”四十年，所以最后为国家作出了杰出贡献，我们也要像“刻意练习”里说的一样“只要训练 1 万遍，也能成为这个领域的专家”，学习唐孝威科学实验四十年，一生为国做贡献。

聆听讲解，观看 PPT、思考提问、师生互动。



教学过程中融入了唐孝威科学实验四十年的事迹，融入了“浙大精神”课程思政元素。

(4) 从如何调节温控器切入，融入科学强国的“家国情怀”课程思政元素。

温控器的温控精度对实验数据测量的准确度起到非常重要的作用，同时温控器在工业、通信业、储能、新能源汽车等多个领域也有广泛的应用，如储能电池系统电池容量和功率大，而高功率密度对散热要求较高，同时储能系统内部容易产生电池产热和温度分布不均匀等问题，因而温度控制对于电池系统寿命、安全性极为重要。美国占有全球温控器市场份额的 46.9%。以森萨塔为代表的美国企业在产品质量、核心技术及市场规模方面处于领先地位，其产品主要面向航天航空、工业设备、汽车、医疗、能源等高端应用领域，而我国主要从事中低端温控器产品的生产，在核心技术方面存在技术壁垒，勉励学生学好知识，科技强国，为国贡献，努力解决科技“卡脖子”问题。



教学过程中融入科技强国的“家国情怀”课程思政元素。

#### (4) 融入方式

整个教学过程使用问答式、操作讲解、叙事讲述的教学方法，兼以挂图、白板书写、视频、实物展示、讨论互动等辅助教学手段。

### (5) 教学资料：若干相关教学活动照片或 PPT、视频等材料

#### 1. PPT（全部）

链接地址：<http://z.juphylab.zju.edu.cn/实验教学/课程思政教学案例>

**直流双臂电桥**  
Kalvin Double Bridge  
2022.11.11

**目录 CONTENTS**

- 1 实验背景
- 2 实验目的
- 3 实验原理
- 4 实验内容
- 5 注意事项
- 6 参考文献

**1 实验背景 EXPERIMENT BACKGROUNDS**

1862年英国的W.汤姆孙在研究利用单臂电桥测量小电阻遇到困难时，发现引线测量产生较大误差的原因是引线电阻和连接点处的接触电阻。这些电阻值可能远大于被测电阻值。因此，他提出了新的桥路，想办法消除或减小引线电阻和接触电阻对测量结果的影响。被称为双臂电桥。后因他被封为开尔文勋爵，故又称开尔文电桥。

**开尔文**  
W. Thomson  
1824-1907

威廉·汤姆孙  
解决困难

开尔文  
W. Thomson  
1824-1907

威廉·汤姆孙(William Thomson, 1824-1907)，英国物理学家。1892年被封为开尔文勋爵(Lord Kelvin)。毕业于格拉斯哥大学与剑桥大学。格拉斯哥大学教授，英国皇家学会会长。在研究热学和电学及其应用方面最有成就。汤姆孙一生谦虚勤奋，意志坚定，不怕失败，百折不挠。在对待困难问题上他讲：“我们那感到，对困难必须正视，不能回避，应当把它放在心里，希望能够解决它。无论如何，每个困难一定有解决的办法。当然我们可能一生没有能找到。”他这种终生不懈地为科学事业奋斗的精神，永远为后人敬仰。

**1843 1865 1891 1912 1940s 如今**

惠斯登电桥  
电线电报  
开尔文电桥：1微欧  
麦克斯韦电桥  
维恩电桥  
... ..

放大器  
阻抗分析仪(LCR表)

1E-4 - 99.99999E6 Ω	1.00000E-18 - 999.99999E18 Ω
1E-17 - 9.999999 F	1.00000E-18 - 999.99999E18 F
1E-12 - 99.99999 H	1.00000E-18 - 999.99999E18 H

**2 实验目的 EXPERIMENT OBJECTIVE**

- 了解单臂电桥与双臂电桥的关系和区别。
- 熟悉双臂电桥测量低电阻的原理。
- 学会QJ-44型双臂电桥测量低电阻的方法。

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

惠斯登电桥

电桥平衡:  $I_G = 0$   
 $R_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_3$

四端法改造

为测小 $R_x$

导线电阻

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

两端连接法  $R \gg$  导线电阻

- $C_1$ 和 $C_2$ : 电压、电流端
- $r_1 \sim r_2 \sim 0.001\Omega$
- $R > 10\Omega$

P端大电阻:  $R_p$

四端连接法  $R \leq$  导线电阻

- $C_1$ 和 $C_2$ : 电流端
- $P_1$ 和 $P_2$ : 电压端
- $r_a \sim r_b \sim 0.001\Omega$
- $R \sim 0.001\Omega, R_p \gg 10\Omega$

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

四端法改造 双臂直流电桥电路

- $I_0$ 通过放大电路
- 粗导线 $< 0.001\Omega$
- $R_1, R_2 > 10\Omega$
- $R_3, R_4 > 10\Omega$

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

双臂直流电桥电路

$$\begin{cases} RI_1 = R_1 I_1 + R_1 I_2 \\ R_2 I_1 = R_2 I_1 + R_2 I_2 \\ (R_3 + R_4) I_2 = r(I_1 - I_2) \end{cases}$$

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3 + \frac{R_1 \cdot r}{R_2 + R_1 + r} \left( \frac{R_3}{R_1} - \frac{R_4}{R_2} \right)$$

$$\frac{R_x}{R_2} \frac{R_1}{R_1} = \frac{R_3}{R_2} \frac{R_1}{R_1}$$

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

双臂直流电桥电路

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3 + \frac{R_1 \cdot r}{R_2 + R_1 + r} \left( \frac{R_3}{R_1} - \frac{R_4}{R_2} \right)$$

$$\frac{R_x}{R_2} \frac{R_1}{R_1} = \frac{R_3}{R_2} \frac{R_1}{R_1}$$

- $R_1$ 和 $R_2, R_3$ 和 $R_4$ 采用同轴调节的电阻箱
- 电阻 $r$ 越小误差越小, 用粗导线

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

金属电阻与温度系数

室温下, 温度变化不大时, 金属电阻表现为线性:

$$R(t) = R_0[1 + \alpha(t)]$$

$\alpha$ 为温度系数 ( $\Omega/K$ )

其中 $R(t)$ 和 $R_0$ 分别表示 $t^\circ C$ 和 $0^\circ C$ 时的电阻, 为了避免在 $0^\circ C$ 时测量 $R_0$ , 可从 $R_1 = R_0(1 + \alpha t_1)$ 及 $R_2 = R_0(1 + \alpha t_2)$ 两式中消去 $R_0$ 得:

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 t_2 - R_2 t_1}$$

从上式可知: 测定 $\alpha$ , 必须先测定 $t_1, R_1, t_2, R_2, t_3, t_4$ 可以从温度控制器上读出,  $R_1, R_2$ 用“QJ-44型直流双臂电桥”来测量。

4 EXPERIMENT CONTENT 实验内容

4 实验内容 EXPERIMENT CONTENT

- 双臂电桥的使用
- 测算金属导体电阻率
- 测算金属导体温度系数

4 实验内容 EXPERIMENT CONTENT

双臂电桥的使用

测量时检流计灵敏度应如何配合阻值测量?

唐亚邦 中国科学院物理研究所 物理学家, 中国科学院学部委员 (院士), 浙江大学物理系教授, 博士生导师。

4 实验内容 EXPERIMENT CONTENT

测算金属导体电阻率

1. 连接待测金属导体, 选择适当倍率, 测量阻值;
2. 分别测量金属导体直径与长度, 计算电阻率;
3. 分析并计算电阻率不确定度, 写出结果表达式。

4 实验内容 EXPERIMENT CONTENT

测算金属导体温度系数

1. 连接待测金属导体;
2. 开启温控器, 设定目标温度不超过 $90^\circ C$ ;
3. 用升温法或降温法每改变 $5^\circ C$ 左右测电阻和温度, 记录10组数据;
4. 利用数据计算温度系数 $\alpha$ , 求相对误差;
5. 作出升温或降温 $R-t$ 特性曲线, 根据曲线求出 $\alpha$ 值并计算相对误差。



4 实验内容 EXPERIMENT CONTENT

温控器



温控器精度对实验数据的影响如何?

21

5 CAUTIONS 注意事项

5 注意事项 CAUTIONS

1. 在加热过程中，加热装置所显示的温度采用即时即读，并将读下的温度作为测量的起始点，然后每增加5度左右，记录一个数据。
2. 在做降温操作时，要关闭加热开关，再开启风扇开关。
3. 测量时如果检流计满量程偏转，则要立即松开“B”、“G”按钮，避免损坏仪器。
4. 实验结束后，关闭检流计，关闭电桥。

23

6 文献目录 BIBLIOGRAPHY

参考文献

- [1] 李海群, 等. 大学物理实验 [M]. 高等教育出版社, (2014)
- [2] <https://literature.cdn.kernel.com/doi/pdf/5909-4435EN.pdf?doi=776077>
- [3] Bid A., Bora A., Raychaudhuri A. K. Temperature dependence of the resistance of metallic nanowires (diameter  $\geq 15$  nm): Applicability of Bloch-Grüneisen theorem. [J]. Physical Review B Condensed Matter, 2006, 74(3):035426.
- [4] Sreedha R., Gollay K. Combination of thermal and electric properties' measurement techniques in a single setup suitable for radioactive materials in controlled environments and based on the '3v, w/v, approach'. Review of Scientific Instruments, 2018, 89(4):043505.
- [5] [https://enm.wikipedia.org/wiki/Kalvin\\_double\\_bridge](https://enm.wikipedia.org/wiki/Kalvin_double_bridge), etc.

24

## 2. 挂图

# 直流双臂电桥

### 实验简介

直流双臂电桥又称开尔文电桥，是一种测量低值电阻 ( $10^{-2} \Omega \sim 10 \Omega$ ) 的常用仪器。例如测量金属材料电阻率、分流器电阻、电机及变压器绕组电阻等。测量低值电阻时，测量导线本身和连接处接触电阻引起的附加电阻 (约  $10^{-2} \Omega \sim 10 \Omega$ ) 将给测量结果带来巨大误差，因此，必须设法消除或减小附加电阻对测量结果的影响。双臂电桥就是为此而设计的。

### 双臂电桥电桥测量电阻的原理

为了消除 (或减小) 接线电阻和引线电阻对测量结果的影响，用四端接入法进行电阻连接。如图 1 所示，C、P、P、C 是一个完整的低值电阻，其中 C 和 C 称为电流接头，而 P 和 P 称为电位接头。介于电位接头之间的电阻才是被测电阻  $R_x$ 。附加电阻  $r_1, r_2$  已被“转移”到被测电阻之外，而新增加的附加电阻  $r_3, r_4$  并不与  $R_x$  直接串联，因此不会改变待测电阻的阻值。把采用四端接入法的低电阻接入原单臂电桥，演变成图 2 所示的双臂电桥，其等效电路如图 3 所示。

### 测量金属导体的电阻率

将待测金属导体接入双臂电桥，测出阻值。利用游标卡尺测出待测金属导体直径  $d$ ，并读出电位接头间的长度  $l$ ，计算出该导体的电阻率：

$$\rho = R \cdot \frac{S}{l} = R \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4l}$$

### 盒式惠斯登电桥

双臂电桥面板图如图所示。C<sub>1</sub>、P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、C<sub>2</sub> 为待测电阻的四端接入端口，B 为检流计电源开关。选择合适的倍率，按下 B<sub>1</sub>、G 按钮，调节“电阻微调”和“电阻细调”旋钮，使电桥达到平衡，继续增加灵敏度，直至最高灵敏度时调得电桥平衡，此时测得的阻值才最接近真值。将“电阻微调”示数加上“电阻细调”示数乘上倍率即可求出待测电阻阻值。







### 测量金属导体的电阻温度系数

当温度不太高时，电阻和温度的关系近似为线性关系。为了避免在 0℃ 测量  $R_0$ ，可测量两个待测电阻  $R_1$  和  $R_2$ ，消去  $R_0$  后，得电阻温度系数：

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 t_2 - R_2 t_1}$$

### 背景知识

开尔文 (1824—1907) 英国物理学家、发明家。是热力学的主要奠基者之一，以他名字命名的开尔文为热力学温度或绝对温标，是国际单位制中的温度单位。开尔文温度常用符号 K 表示。



### 相关知识

开尔文，简称开，国际代号 K，热力学温度的单位。开尔文是国际单位制 (SI) 中 7 个基本单位之一，以绝对零度 (0K) 为最低温度，规定水的三相点的温度为 273.15K，1K 等于水三相点温度的 1/273.15。热力学温度  $T$  与摄氏温度  $t$  的关系是  $T = t + 273.15$ ，因为水的冰点温度近似等于 273.15K，并规定热力学温度的单位开 (K) 与摄氏温度的单位摄氏度 (°C) 完全相同。

在电桥使用过程中始终保持  $(R_1/R_2 = R_3/R_4)$  成立，则： $R_x = \frac{R_1}{R_2} R_4$

