

# 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：普通物理学实验 I

课程代码：061Z0090

课程类别：通识课程（竺可桢学院课程）

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	<input checked="" type="checkbox"/> 道德修养 <input checked="" type="checkbox"/> 家国情怀 <input checked="" type="checkbox"/> 全球关切 <input checked="" type="checkbox"/> 浙大精神 (可多选)	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。 ②诺贝尔奖科学家精神。 ③求是创新精神和科学强国精神。 ④做志存高远的国之强者, 要做新发展的主力军。	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	分光计的调整和使用	<input checked="" type="checkbox"/> 道德修养 <input type="checkbox"/> 家国情怀 <input checked="" type="checkbox"/> 全球关切 <input checked="" type="checkbox"/> 浙大精神 (可多选)	①世界灿烂科技与文明, 中国古代灿烂科技与文明, 爱国主义精神。 ②合作精神, 科学家精神。 ③“舍得”哲理, “总分总”学习方法。 ④问题的普遍性与特殊性, 正确处理问题的方法观。 ⑤把握时代特征和规律, 学会数据处理, 从一大堆数据中分析规律, 找到规律。 ⑥处理事情“量”的问题时, 要考虑“度”的问题。 ⑦分析和解决问题的方法论, 求是创新“浙大精神”, 爱国主义精神, 科学强国精神。	案例①: 叙述中国古代科技也有许多“制造”, 比如四大发明、浑天仪、地动仪、司南等。 案例②: 古斯塔夫·基尔霍夫和罗伯特·威廉·本生合作开发分光计仪器的故事。 案例③: 讲解分光计 28 个器件的功能, 及其调节方法。 案例④: 讲述天文望远镜和手术显微镜的性能。 案例⑤: 介绍全球知名咨询公司麦肯锡提出“大数据”时代到来的故事。 案例⑥: 讲述分光计读数窗的设计。 案例⑦: 浙大学子林俊德大胆借鉴钟表工作机理研制出了我国第一台钟表式压力自记仪的故事。 (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。) (通过 PPT 授课、师生讨论和学生课外阅读的方式实现。)
3	铁磁材料居里温度测量	<input checked="" type="checkbox"/> 道德修养 <input type="checkbox"/> 家国情怀 <input checked="" type="checkbox"/> 全球关切 <input type="checkbox"/> 浙大精神 (可多选)	①增强学生对中国古代科技文化的敬仰之情, 以及民族自豪感。 ②激发学生树立为国家磁性材料发展作出贡献的信念。 ③告诉大家做什么事情都应该坚持不懈, 持之以恒, 坚持目标不能放弃。 ④“量变”和“质变”哲学思想。	案例①: 中国古代关于磁学的文献以及中国古代四大发明中“指南针”。 案例②: 我国磁性材料发展状况。 案例③: 讲述居里夫妇锲而不舍、日以继夜提炼钋和镭样品的故事。 案例④: 讲解居里温度点是铁磁性材料的磁性性质发生转变的转折点。 (通过 PPT 授课、师生讨论和学生课外阅读的方式实现。)

4	普朗克常数测定	<input type="checkbox"/> 道德修养 <input type="checkbox"/> 家国情怀 <input type="checkbox"/> 全球关切 <input type="checkbox"/> 浙大精神 (可多选)	<p>①科学精神最重要的就是创新，实验是检验真理的唯一标准。</p> <p>②增强学生对中华优秀传统文化的敬仰之情；引导学生体会马克思主义辩证主义哲学思想。</p> <p>③“不断进取，精益求精”的科学态度。</p> <p>④“科学救国、科教兴邦”的爱国精神。</p> <p>⑤“绿色低碳，可持续发展”发展理念，激发学生“民族自豪感”，激励学生今后为国家做出贡献。</p>	<p>案例①：介绍推动量子力学发展的数位科学家。</p> <p>案例②：中国古代儒家和道家共同推崇的经典《易经》。</p> <p>案例③：历史上测量普朗克常数的方法。</p> <p>案例④：讲述叶企孙先生事迹。</p> <p>案例⑤：讲解太阳能电池的发展情况。 (通过 PPT 授课、师生讨论和学生课外阅读的方式实现。)</p>
---	---------	---	--	--

## (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。

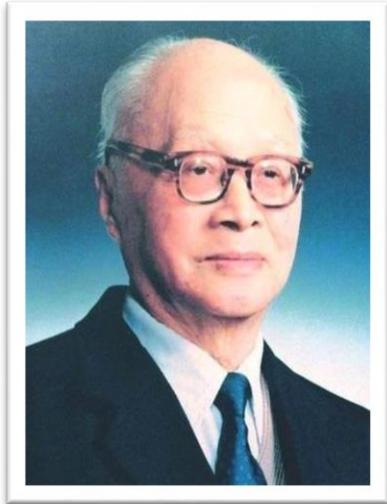
#### (2) 融入点

- 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家国情怀：以介绍获得诺贝尔奖的科学家迈克尔科学研究事迹和成果作为融入点，激发学生的诺贝尔奖科学家精神。
- ③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。
- ④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长者。

#### (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。

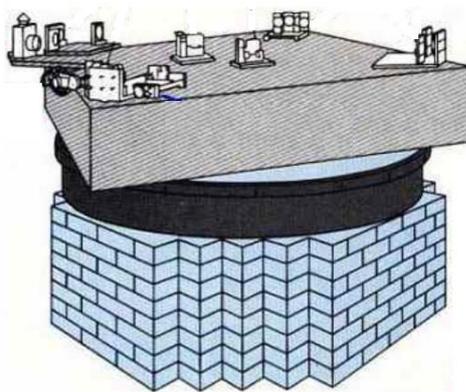
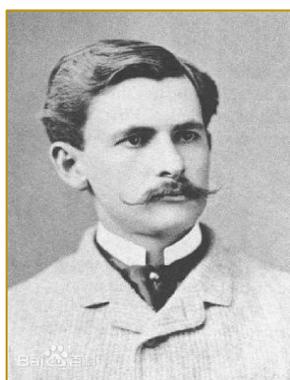
1999年9月，党中央、国务院、中央军委召开大会，对当年为研制“两弹一星”作出贡献的23位科技专家予以表彰，追授王淦昌“两弹一星功勋奖章”。2003年，国际小行星命名委员会把一颗永久编号为14558的小行星命名“王淦昌星”。

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以介绍获得诺贝尔奖的科学家迈克尔科学研究事迹和成果作为融入点，激发学生的诺贝尔奖科学家精神。

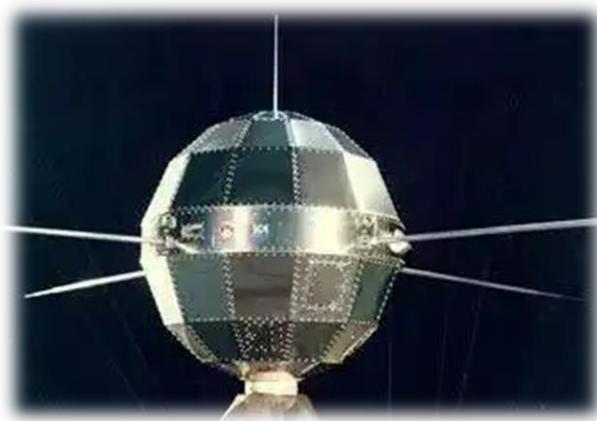
迈克尔逊主要从事光学和光谱学方面的研究，他发明了一种用以测定微小长度、折射率和光波波长的干涉仪，在研究光谱学方面起着重要的作用。他因发明精密光学仪器和借助这些仪器在光谱学和度量学的研究工作中所做出的贡献，被授予了1907年度诺贝尔物理学奖。

1881年迈克尔逊在柏林大学亥姆霍兹实验室发明了高精度的迈克尔逊干涉仪，进行了著名的以太漂移实验。迈克尔逊干涉仪是利用分振幅法产生双光束以实现干涉。通过调整该干涉仪，可以产生等厚干涉条纹，也可以产生等倾干涉条纹。主要用于长度和折射率的测量。在近代物理和近代计量技术中有着重要的应用。



③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炸物理研究，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“程一玻恩”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。”

④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长者。

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长者：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。

④-3 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) 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

The image displays four slides from a PPT presentation for 'General Physics Experiment I' (普通物理学实验 I) at Zhejiang University. The slides are arranged in a 2x2 grid.

- Top-left slide:** Title slide featuring the Zhejiang University logo and the text '普通物理学实验 I' and '浙江大学物理实验教学中心'.
- Top-right slide:** Table of Contents (目录 | CONTENT) listing six sections: 1. Course Basic Information, 2. Course Background Knowledge, 3. Experiment Center Introduction, 4. Course Content Construction, 5. Course Arrangement Implementation, and 6. Course Related Knowledge.
- Bottom-left slide:** Overview (概述) slide. The text states: '本课程是探究物理现象和规律的实验课程。课程内容均为与理工科学生需求关联的现代实验技术或前沿科学技术,学生可根据需求自主选择实验内容。本课程内容具有较强的探究性、创新性和自主性,在教学方法方面也别具一格。希望学生通过本课程的学习,为后续的专业课实验和以后科学研究工作打下扎实的基础。'
- Bottom-right slide:** Requirements for Students (对学生的要求) slide. It lists eight requirements: 1. Learn to use experimental methods to explore physical phenomena and laws. 2. Be able to correctly operate complex instruments and independently explore experimental content. 3. Be familiar with computer software and other experimental methods for data processing. 4. Be proficient in using photometers and oscilloscopes to complete physical experiments. 5. Learn to use virtual simulation and other experimental methods to explore physical phenomena. 6. Write complete experimental reports and analyze experimental content in depth. 7. Master research methods and processes, and learn to defend and write papers. 8. Cultivate team collaboration spirit and learn to complete exploration experiments and topics together.

### 课程目标

**能力目标:** ①能正确操作复杂仪器, 并自主设计研究内容。②掌握混合实验、小课题和科研项目研究方法和过程, 并学会答辩和撰写论文。

**素质目标:** ①强化认真、严肃、刻苦、乐观的科学实验态度。②提升学生追求真理、探索未知领域的责任感, 树立正确的社会主义核心价值观。③为培养专业型、探究型和创新型一流人才打下基础。

**知识目标:** ①学会科学地观察、分析、探究事物物理现象和本质。②熟练掌握现代物理实验技术、手段和方法。

一流人才

### 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人心

- 1937年11月, 日军侵华迫使浙大师生开始南渡流亡。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, 却栽培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理论与实验技巧, 并展示出众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。双喜亭是王淦昌每天都要去的实验室, 虽称实验室, 却没有实验设施, 连最基本的电都没有。在如此简陋的环境下, 他制成的荧光——铀核辐射, 却为国际填补了空白。
- 艰苦的条件下, 王淦昌率先大胆推导出论文《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。美国科学促进会也在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, 王淦昌着手寻找中微子。1943年写出了论文《关于宇宙线粒子的新实验方法》。后来英国物理学家威尔逊用此法发现了 $\mu$ 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同学, 他后来写道: “直到现在, 我还能记得曾有的讨论, 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核科学研究所和苏联杜布纳联合原子核研究所任主任。朝鲜战场上, 他前去探望周恩来总理是否使用原子武器和放射状放射性物质; 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玛负超子存在的证据。
- 1960年12月, 王淦昌回国。4个月前, 二机部副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吻。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有名的王淦昌消失了, 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14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, 王淦昌因北京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! 隐姓埋名, 国家公仆身份的王淦昌却进入了中国核共史。
- 70年代, 原子能研究所及核工业部副部长刘杰和钱三强的委托, 王淦昌通过理论计算做出了开创性贡献。1982年, 王淦昌发现反西格玛负超子荣获国家自然科学基金一等奖。1985年, 他因核武器研制、试验方面的工作, 同时荣获2项国家科技进步奖一等奖。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《关于国防研究外圍战略高技术发展的建议》, 并由此诞生了举世瞩目的战略性高技术发展计划——“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145588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最高目标”, 并在全体党员干部大会上审议通过。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大家。

### 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

### 考生姓名, 以身许国铸核盾

- 程开甲, 中共党员, 中国科学院院士。他牺牲时40年, 一生为国防核盾, 先后参与和主持首次原子弹、氢弹试验。他愿以身许国的时代精神, 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, 一批命令程开甲调入北京, 加入到国防核盾研究的队伍。原子弹研制初期, 程开甲被任命为核武器研究所副所长, 负责材料状态的理论研究和数值物理研究。为原子弹的研制做出了贡献。他第一个采用合理的TMD模型估算原子弹爆炸时弹心的压力和温度, 为原子弹的总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, 开启了军事学研究的新时代。
- 20世纪80年代, 程开甲提出必须提高我国核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, 开创了核辐射加固技术研究新领域。另一方面, 他重新开始基础物理研究, 他进一步发现, 突破了“程一超”超导量子理论, 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 老当益壮**
- 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队伍的肯定。我们核试验研究所、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个脚印去完成的。”

### 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分子

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

大不自多 海纳江河  
惟学无际 际于天地  
躬上深源 研下涪涪  
礼主别异 乐主和同  
知其不二 念所厥瞻  
固有成均 在梁之滨  
昔言求是 实始尔真  
习吹万教 始究经纶  
无日已矣 无日遂真  
靡靡匪图 靡靡匪斯  
何以教之 开物成民  
嗟尔学子 尚其有闻  
念彼典学 思彼艰途  
有文有质 有实有工  
兼总众美 知至知终  
成蹊乃达 若金之在  
典学于野 无若于宗  
树我邦国 天下来同

### 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、贺贤士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。

实验室 → 四校实验室合并 → 普物近代实验合并 → 物理实验教学中心

### 实验室分布

物理实验教学中心

- 电学实验室
  - 物理演示实验室
  - 电学实验室1
  - 电学实验室2
  - 电学实验室3
- 热力学实验室
  - 热力学实验室1
  - 热力学实验室2
  - 热力学实验室3
- 光学实验室
  - 光学成像创新室
  - 光学实验室1
  - 光学实验室2
  - 光学实验室3
- 近代物理实验室
  - 大学生创新实验基地
  - 近代实验室1
  - 近代实验室2
  - 近代实验室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  
研究双缝的影响

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。  
● 他一直是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、折射率和光波波长的干涉仪，在研究光谱学方面起着重要的作用。  
● 他和发明精密光学仪器和测量仪的仪器在光学学制度量学的研究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重要学术奠基人、开拓者和组织领导者，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。  
● 1986年和王淦昌、陈芳允、杨嘉墀联名，提出发展高新技术的建议“863”计划；还与王淦昌联名倡议，促成了激光核聚变重大装备的建设。  
● 王大珩参与了航天测试的研制工作，研制了跟踪经纬仪。

### 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。

迈克尔逊干涉条纹

大国工匠

大国工匠的楷模第一人高凤林：深海“蛟龙”号首席钳工，两次获得中国“蛟龙”号载人潜水器总装钳工高凤林，为“蛟龙”号载人潜水器总装钳工，曾参与制造中国的首艘核潜艇，并三次参加国家核潜艇总装，并三次参加核潜艇的验收工作，手工制作飞机零件的钳工高凤林。

《大国工匠》是中央电视台第八频道播出的人文纪实类片

### 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 162 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

分光计是一种测量光线偏转角的精密光学仪器，因此又叫测角仪。由于不少物理量如光波波长、折射率、光栅常数等都可以通过测量相关角度来获得，因此分光计是光学实验中的一种基本仪器，有着广泛的应用。为了保证测量的精度，减小测量误差，分光计在使用前必须进行调节。本案例以利用分光计测量三棱镜顶角为例，在介绍基尔霍夫和本生利用不同领域的知识共同研制仪器的故事时，教育学生：科学研究要互相协作，互帮互助，会产生“新的化学反应”。在介绍麦肯锡公司对于海量数据的挖掘和运用时，融入新发展精神和时代精神。要求学生学会用发展的眼光看待事物，紧跟时代步伐，做勇立潮头的“弄潮儿”。讲述浙大学子林俊德大胆借鉴钟表工作机理研制出了我国第一台钟表式压力自记仪的故事，指导学生要善于用比较的方法学习，同时融入了“树我邦国”的“浙大精神”，激发学生的报效祖国的使命。

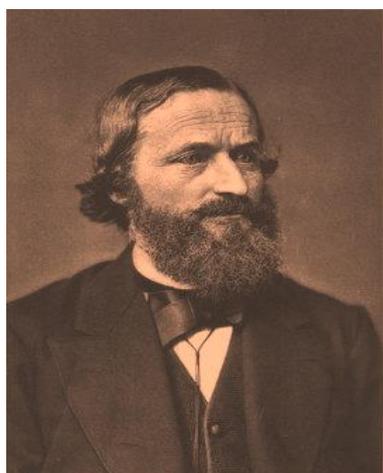
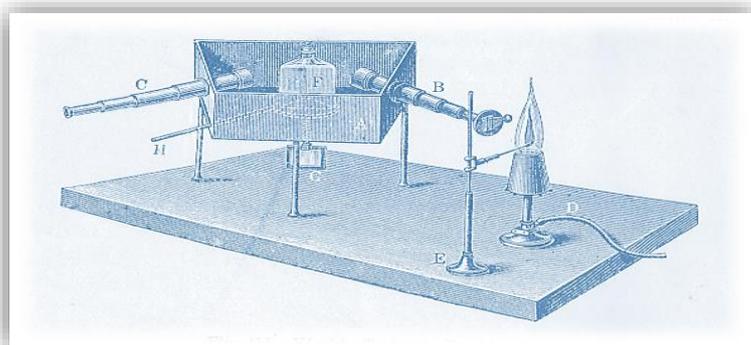
### (2) 融入点

1. 在介绍基尔霍夫和本生共同制造了分光计和对化学元素的特征谱线做了系统研究的故事时，融入“科学家合作精神”，告诉学生“科学需要各个领域科学家互相协作、共同探索”的道理，特别是当今社会许多科学研究项目需要各个领域共同合作才能完成任务，比如制造原子弹、发射卫星、嫦娥奔月工作，等等。
2. 讲述分光计总体示意图故事，融入“舍得”为人处世观，教育学生在面对复杂的仪器时，不要死学，而要活用。就像吃饭一样，人们常常说要吃七分饱，就是同一个道理，因为一口气是吃不成一个大胖子的。
3. 讲授视差、天文望远镜和手术显微镜时，融入“问题的普遍性”哲学。告诉学生再怎么好的科学仪器也达不到完美，误差是普遍存在的，“科学研究永无止境”。
4. 在介绍麦肯锡公司对于海量数据的挖掘和运用时，融入了“耳听为虚，眼见也未必为实”的道理，要让学生学会像大数据分析一样，学会挖掘蕴藏在数据背后的真理。
5. 讲述浙大学子林俊德大胆借鉴钟表工作机理研制出了我国第一台钟表式压力自记仪的故事，融入“浙大精神”，指导学生要善于用比较的方法学习。激励学生学习林俊德善于分析和解决问题的方法，以及“树我邦国”的精神，通过弘扬这些浙大人的，激发学生的报效祖国的使命。

### (3) 实例

教师活动	学生活动
<p>(1) 在介绍实验背景知识时，从基尔霍夫和本生合作开发分光计的故事切入，融入了科学家之间的合作精神，强调不同领域的科学家之间的合作往往能碰撞出更大的火花。</p> <p>介绍本实验的背景知识：1859年，基尔霍夫和本生共同制造了分光计。</p> <p>伟大的发明背后往往有一些伟大的人物和伟大的合作，比如分光计的研制者：基尔霍夫和本生。</p> <p>基尔霍夫在21岁时就发表了第一篇论文，提出了稳恒电路网络中电流、电压、电阻关系的两条电路定律。被称为“电路求解大师”。在海德堡大学期间他制成光谱仪，与化学家本生合作创立了光谱化学分析法（把各种元素放在本生灯上烧灼，发出波长一定的一些明线光</p>	<p>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>

谱，由此可以极灵敏地判断这种元素的存在)，从而发现了元素铯和铷。科学家利用光谱化学分析法，还发现了铈、碘等许多种元素。

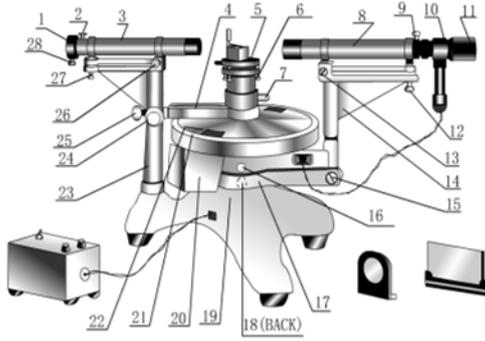


在教学过程中融入了合作精神、科学家精神等“道德修养”课程思政元素。

(2) 在讲解分光计总体结构时，切入中国传统为人处世方法，融入了“舍得”处世哲学，告诉学生在面对复杂事情的时候要学会“舍得”，把握重点，放下次要的，从而提高学生操作复杂仪器的能力，激发学生实验兴趣。总之，做人和做事，都要学会舍得，不能一股脑儿，都要，否则适得其反。

介绍分光计总体结构，展示了分光计总体结构的示意图。分光计有超过 28 个部件，学生通过一堂课全部熟练掌握比较困难。所以分光计调节难度比较大。但是如果只使用 10 个部件，就简单多了，图中 4、7、10、14、15、17、19、20、23、24 基本“不调”，在本次实验中可以先不管，3、5、9、13、16、18、25、26“预调”在合适位置后也基本不去动了，这样只剩下 1、2、6、8、11、12、21、22、27、28 必须调节。所以通过“不调”先舍去 10 个部件，再通过“预调”再舍去 8 个部件，最后只剩下 10 个部件需要仔细调节，因此将复杂事情变成了简单的事情。

聆听讲解，观看实验动画、观看 PPT、思考提问、师生互动。



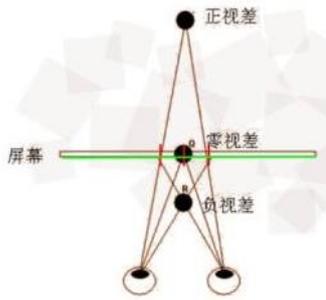
这种学习复杂仪器操作的方法叫做“有舍有得”。

舍得既是一种处世的哲学，也是一种做人做事的艺术，是中国传统的为人处世哲学。倘若真正把握了舍与得的机理和尺度，便等于把握了人生的钥匙和成功的机遇。

教学过程中融入了“舍得”处世哲学等“道德修养”课程思政元素。

(3) 在讲解望远镜“视差”概念时，从天文望远镜和手术显微镜切入，融入问题（矛盾）普遍性哲学，指导学生正确面对问题和解决问题。

聆听讲解，观看实验示意图、观看 PPT、思考提问。



先为学生解读视差概念。视差就是从有一定距离的两个点上观察同一个目标所产生的方向差异。在物理实验中，视差是在光学实验的调整过程中，随着眼睛的观察位置稍微改变，标尺与被测物体像之间产生相对移动，造成难以进行准确的实验测量的一种现象。视差产生的原因是由于标尺与被测物体像不共面，使得当眼睛观察位置稍微改变时，标尺与被测物体像之间会有相对移动。视差必须尽量消除，在分光计实验中，消除视差的办法就是调整目镜，使得观察到的标尺最清晰，调节物镜，使得观察到的亮绿十字像最清晰。鉴别是否已经消除了视差的方法是：眼睛上下移动，标尺与亮绿十字丝不会发生相对位移变化。

视差存在于大多仪器，视差是普遍存在的。

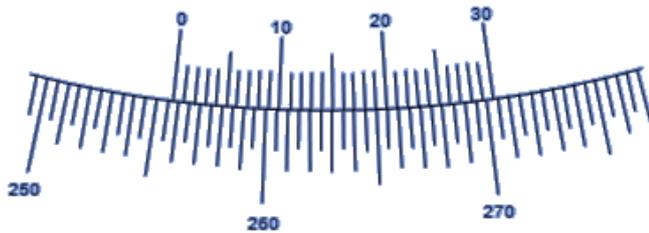
比如天文望远镜和手术显微镜，它们都是非常清晰的大型仪器，大多自动调焦，但是也会有误差，比如软件的缺陷，传感器本身精度的影响，屏幕扫描频率不够，等等。更不要说人工操作的分光计了。所以视差是永远存在，但是不妨碍科学研究和实际应用，关键是如何尽量消除视差。



教学过程中融入了矛盾普遍性哲学、比较学习方法等“道德修养”课程思政元素。

(4) 讲解分光计读数窗时，把大数据时代作为切入点，融入新发展精神和时代精神。要求学生学会用发展的眼光看待事物，紧跟时代步伐，做勇立潮头的“弄潮儿”。

介绍分光计读数窗。分光计主刻度盘只有  $360^\circ$ ，如果望远镜转了  $400^\circ$ ，那么它只能显示  $40^\circ$ ，所以与实际不符，容易产生读数和计算错误。实例分析：测量某角度时，望远镜从  $255^\circ$  转到  $15^\circ$ 。正确处理方法： $(360^\circ - 255^\circ) + (15^\circ - 0^\circ) = 120^\circ$ 。



俗话说：耳听为虚眼见为实，但是通过这个实例可以发现，有时候眼见未必为实，所以数据分析变得非常重要。我们正处于这个日新月异的“大数据”时代。

最早提出“大数据”时代到来的是全球知名咨询公司麦肯锡，詹姆斯·麦肯锡称：“数据，已经渗透到当今每一个行业和业务职能领域，成为重要的生产因素。人们对于海量数据的挖掘和运用，预示着新一波生产率增长和消费者盈余浪潮的到来。”“大数据”在物理学、生物学、环境生态学等领域以及军事、金融、通讯等行业存在已有时日，却因为近年来互联网和信息行业的发展而引起人们关注。

“大数据”是一场革命，庞大的数据资源使得各个领域开始了量化进程，无论学术界、商界还是政府，所有领域都将开始这种进程。“大数据”时代已经降临，在商业、经济及其他领域中，决策将日益基于数据和分析而作出，而非基于经验和直觉，所以我们看到的未必就是真的。就像分光计一样，你看到的  $40^\circ$ ，其实是  $400^\circ$ 。

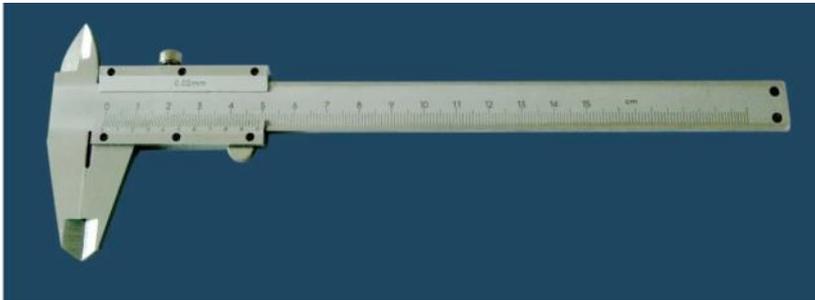
笔记记录、聆听讲解，观看实验示意图、观看PPT、思考提问、师生互动。



教学过程中融入了新发展精神和时代精神等“道德修养”和“全球关切”课程思政元素。

(5) 在讲解“分光计刻度盘与游标卡尺设计结构和读数方法类似”时，从浙大学子林俊德大胆借鉴钟表工作机理研制出了我国第一台钟表式压力自记仪的故事切入。融入“浙大精神”，培养学生学习林俊德“树我邦国”的爱国主义精神，通过弘扬这些浙大人的“浙大精神”，激发学生的报效祖国的使命。

笔记记录、观看照片、观看PPT、观看实验仪器、思考提问、归纳总结。



介绍读数窗：

- (1) 类似游标卡尺。
- (2) 主刻度盘逆时针方向读数。
- (3) 保留有效数，最小为1分。

最小分度值

- (1) 1分等于主刻度盘最小一格减去游标最小一格
- (2) 主刻度盘29格弧长等于游标30格弧长
- (3) 设计角游标，比如：20分和30秒

常见错误

- (1) 未修正数据就计算
- (2) 游标窗1读数减去游标窗2读数
- (3) 未算B类不确定度
- (4) 计算后出现几秒
- (5) 顺时针读数

<p>(6) 未固定牢游标盘或望远镜与主刻度盘，乱数</p> <p>(7) 未消除视差，大于1度</p> <p>(8) 计算错误</p> <p>分光计读数窗的设计利用了游标卡尺的原理，大大提高了测量精度。林俊德就是这样的学以致用专家。</p> <p>林俊德，1938年3月出生于福建省永春县的一个小山村。由于父亲早逝，家庭贫困，林俊德上到小学就被迫辍学。新中国成立后，依靠政府助学金，林俊德重返学校，并以优异成绩考入浙江大学。1960年，大学毕业的林俊德携笔从戎，被分配到国防科委下属某研究所。由于表现优异，林俊德被选派到哈尔滨军事工程学院进修深造。</p> <p>1963年，正在进修的林俊德接到通知，紧急赶赴被称为“死亡之海”的新疆罗布泊地区从事核试验研究，负责研制测量核爆炸冲击波的压力自记仪。面对西方国家的技术封锁，林俊德大胆借鉴钟表工作机理，经过一年半的艰苦攻关，研制出了我国第一台钟表式压力自记仪。1964年6月，林俊德加入中国共产党。1964年10月16日，随着罗布泊一声巨响，中国第一颗原子弹爆炸成功。林俊德研制的压力自记仪，为测量核爆炸冲击波参数提供了宝贵数据。</p> <p>教学过程中融入了林俊德“树我邦国”等“家国情怀”和“浙大精神”课程思政元素。</p>	
--	--

#### (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>

**1 实验背景 EXPERIMENT BACKGROUNDS**

现代分光计，是一种测量**光线偏转角**的仪器，又称测角仪。应用于：折射率、光波波长、棱镜偏向角、光栅常数等的测量。

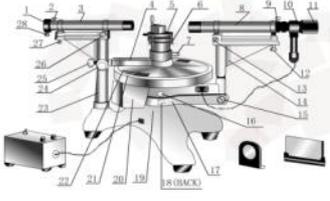


**2 实验目的 EXPERIMENT OBJECTIVE**

- 熟悉分光计各部分功能
- 熟练掌握分光计的调整
- 反射法测量三棱镜顶角

**3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE**

**分光计构造**

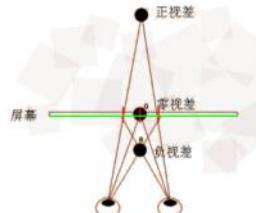


操作复杂仪器经验  
循规蹈矩：按步骤  
有舍有得：学需要



**3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE**

**1、视差**



精密仪器



**3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE**

**2、角度修正**



案例分析：测量时从255°转到15°  
处理方法：15°+360°-255°=120°

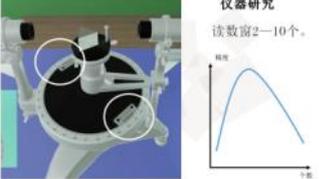


**3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE**

**3、偏心差**



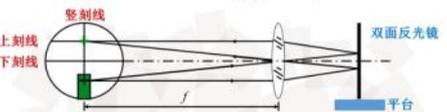
仪器研究  
读数窗2—10个。



$\varphi = (\varphi_1 + \varphi_2) / 2$

**3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE**

**4、望远镜自准直光路**



上刻线  
下刻线

深控、透视



**3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE**

**5、游标窗读数方法**



$\theta = 255^\circ + 30' + 17' = 255^\circ 47'$

- (1) 类似游标卡尺
- (2) 主刻度盘逆时针方向读数
- (3) 保留有效数，最小为1分

2001年当选为中国工程院院士  
2012年度感动中国十大人物  
2013年第四届全国道德模范  
2018年全国脱贫攻坚楷模



林永盛大胆创新钟表工作机理，经过一年半的艰苦攻关，研制出了我国第一台钟表原子力显微镜，为测量精确到15位有效数字提供了空前的精度。

**3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE**

**5、游标窗读数方法**



善于全面分析问题和解决问题的意识

**最小分度值**

- (1) 1分等于主刻度盘最小一格减去游标最小一格
- (2) 主刻度盘29格等于游标30格
- (3) 设计角游标，比如：20分和30秒

**常见错误**

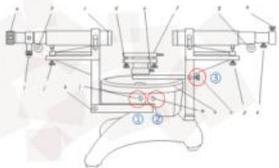
- (1) 未修正数据就计算
- (2) 游标窗1读数减去游标窗2读数
- (3) 未算B类不确定度
- (4) 计算后出现几秒
- (5) 顺时针读数
- (6) 未固定游标窗或望远筒与主刻度盘，乱数
- (7) 未消除视差，大于1度
- (8) 计算错误

**3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE**

**1、预调 (1)**

**三个制动螺钉**

- ①制动望远镜（带主刻度盘）。
- ②制动主刻度盘。
- ③制动游标盘（带光学平台）。



**(目的：组合工作)**

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

### 1. 预调 (2)

**三个紧固螺钉**

- ①推到底，转动轴套使刻线摆正。
- ②使望远镜筒不会晃动。
- ③使平行光管镜筒不会晃动。

(目的：防止晃动)

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

### 1. 预调 (3)

**三个调直螺钉**

- ①调节望远镜。
- ②调节平行光管。
- ③调节升降平台。

(目的：等高共轴)

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

### 2. 粗调

**三个中值**

- ①载物台处旋钮螺钉中间。
- ②望远镜处旋钮螺钉中间。
- ③物镜处旋钮中间（一指宽）。

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

### 3. 细调

**三个垂直**

- ①望远镜光轴垂直于仪器主轴
- ②载物台平面垂直于仪器主轴
- ③平行光管光轴垂直于仪器主轴

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

### ①望远镜光轴垂直于仪器主轴

目标：调整望远镜到无视差

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

### ②载物台平面垂直于仪器主轴

目标：亮绿十字在上刻线处（反光镜正反2面观察）

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

### 调脚①②脚：反光镜垂直①②脚连线

口诀1：都上或都下调望远镜螺钉。  
 口诀2：一上一下调平台螺钉①②。  
 口诀3：1/2调节法（减半法）

注意：与前面转过的反光镜的像比较；且相对于上刻线比较。

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

### 调③脚：反光镜平行①②脚连线

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

### ③平行光管光轴垂直于仪器主轴

目标：平行光管发出的平行光与下刻线重合

调节狭缝和透镜间的距离，从望远镜中可见清晰的狭缝的像；调节狭缝大小，目视约1mm。

调节平行光管倾斜，使平行光与下刻线重合。

4 实验内容 EXPERIMENT CONTENT

### 反射法

- 1.调整分光计
- 2.反射法测三棱镜顶角
- 3.计算顶角不确定度

$$\angle A = \frac{|\angle_{右I} - \angle_{左I}| + |\angle_{右II} - \angle_{左II}|}{4}$$

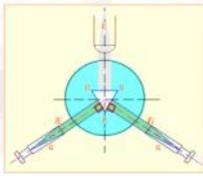
### 5 数据处理 DATA PROCESSING

实验次数	左		右		左 <sub>I</sub> -右 <sub>I</sub>	左 <sub>II</sub> -右 <sub>II</sub>	∠A
	I窗	II窗	I窗	II窗			
1							
2							
3							
4							
5							
6							

求总不确定度。

### 6 实验思考 EXPERIMENT INSPIRATION

自准直法测量三棱镜顶角





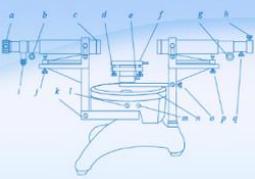
## 2. 挂图

# 分光计的调整和使用

### 实验简介

分光计是一种测量光线偏转角的精密光学仪器，因此又叫测角仪。由于不少物理量如光波长、折射率、光栅常数等都可以通过测量相关角度来获得，因此分光计是光学实验中的一种基本仪器，有着广泛的应用。为了保证测量的精度，减小测量误差，分光计在使用前必须进行调整。

### 分光计结构示意图



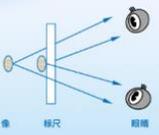
(a-目镜调焦, b-十字叉丝, c-物镜, d-载物台调平螺钉, e-载物台升降旋钮螺钉, f-平台, g-平行光管角螺钉, h-狭缝大小调节螺钉, i-灯罩, j-望远镜俯角调节螺钉, k-转动水平方向微动螺钉, l-望远镜止动螺钉, m-转盘与底座锁紧螺钉(在背面), n-刻度盘, o-游标盘止动螺钉, p-平行光管俯角调节螺钉, q-平行光管狭缝锁紧螺钉)

### 望远镜结构示意图

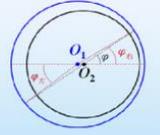


(a-高十字叉丝, b-目镜, c-可动镜筒, d-物镜, e-十字叉丝, f-电池, g-叉丝分划板)

### 视差解读图



### 消除偏心差



### 自准直法调焦光路图



### 背景知识

1859年, 古斯塔夫·莫尔豪夫和罗伯特·威廉·本生共同制造了第一台分光计, 首次对化学元素的特征谱线做了系统研究。



### 分光计调整方法

- 粗调: 用目视的方法调整分光计, 分三步。调光学小平台下的三个螺钉, 使平台水平; 调望远镜倾斜角调节螺钉, 使望远镜水平; 调物镜焦距旋钮, 使连接目镜、刻度盘和光源的可动镜筒伸出的1cm。
- 细调: 调三个螺钉, 望远镜与分光计垂直桌面的主轴垂直, 目标屏调到焦距; 光学小平台与主轴垂直, 目标屏通过望远镜看到反射镜正反两面反射的绿十字像在上刻线上; 平行光管与主轴垂直, 目标是平行的光与下刻线重合。

### 读数窗及读数方法



读得:  $255^{\circ}30' + 18'' = 255^{\circ}48''$

浙江大學 物理实验教学中心

## 3. 照片（授课现场）



### 3. 案例 3

#### (1) 教学内容

磁性材料是一种既古老又年轻的基础功能材料，在家电、通讯、电子仪器、汽车、计算机和信息存储等领域有着十分广泛的应用。铁磁性材料的磁性性质随温度的变化而改变，当铁磁性材料的温度上升至某一温度时，其磁性性质就会由铁磁状态转变为顺磁状态，这个表征变化点的温度称为居里温度。本案例以交流电桥法对软磁铁氧体材料居里温度进行测量为例，在介绍铁磁材料发展简史时，突出中国古代四大发明中“指南针”对人类的贡献，突出铁磁材料在促进高新技术发展和人类文明进步，以及国防和国民经济中的重要作用。用磁性材料的重要性以及我国的发展形势，进而鼓励学生树立为国家发展作出贡献的信念。在介绍“居里温度”概念时，告诉大家做什么事情都应该坚持不懈，持之以恒，坚持目标不能放弃。通过学习“居里点”，体会“量变”和“质变”的哲学思想。

## (2) 融入点

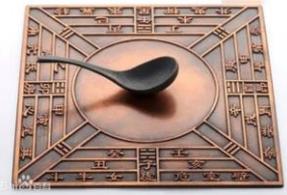
1. 在介绍铁磁材料的发展简史时,讲述了中国古代关于磁学的文献以及中国古代四大发明中“指南针”。早在三千多年前,中国古代,就用天然磁石三氧化二铁制造了司南,也就是“指南针”的始祖。“指南针”是中国古代四大发明之一,指南针的发明推动了世界航海业的发展。通过此部分的介绍,增强学生对中国古代科技文化的敬仰之情,以及民族自豪感。

2. 在介绍铁磁材料的应用时,讲述了铁磁材料在促进高新技术发展和人类文明进步中中得分重要性。目前,我国磁性材料产量位居世界第一,已成为世界磁性材料产业中心。但还需进一步优化,需要努力,我国的磁性材料也正处于“从大到强”的阶段,用磁性材料的重要性以及我国的发展形势,进而激发学生树立为国家磁性材料发展作出贡献的信念。

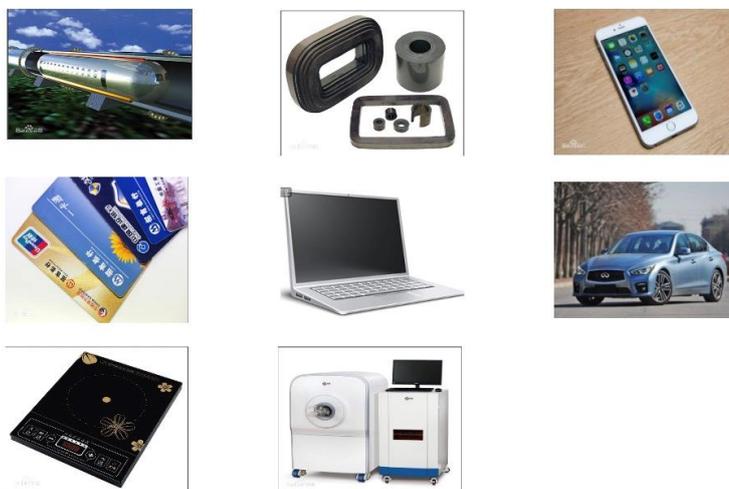
3. 在介绍“居里温度”概念时,通过讲述居里夫妇锲而不舍、日以继夜提炼钋和镭样品的故事,告诉大家做什么事情都应该坚持不懈,持之以恒,坚持目标不能放弃。

4. 在讲解“居里温度”时,引入“量变”和“质变”哲学思想。居里温度点是铁磁性材料的磁性性质发生转变的转折点。

## (3) 实例

教师活动	学生活动
<p>(1) 在介绍铁磁材料发展简史时,讲述了中国古代关于磁学的文献以及中国古代四大发明中“指南针”。</p> <p>在春秋战国时期,就有了“慈石”的记载,《管子·地数篇》中说:“上有慈石者,下有铜金”。《吕氏春秋·精通》中说:“慈石召铁,或引之也”。在《论衡》书中“司南之杓,投之于地,其柢指南”。司南,也就是“指南针”的始祖,是传统上认为的最早的磁性指南仪器。“指南针”是中国古代四大发明之一,在北宋时期,中国古代人民将指南针用于航海,而阿拉伯人和欧洲人是在100年后。指南针的发明推动了世界航海业的发展。通过此部分的介绍,增强学生对中国古代科技文化的敬仰之情,以及民族自豪感。</p>  <p>“上有慈石者,下有铜金” 《管子·地数篇》</p> <p>“慈石召铁,或引之也” 《吕氏春秋·精通》</p> <p>“司南之杓,投之于地,其柢指南” 《论衡》</p> <p>教学过程中融入中国古代科技成果等“家国情怀”课程思政元素。</p>	<p>聆听讲解,观看图片,观看PPT。</p>
<p>(2) 在介绍铁磁材料的应用时,讲述了铁磁材料在促进高新技术发展和人类文明进步中中得分重要性。</p> <p>磁性材料作为一种功能材料,在全球发展中发挥着越来越重要的作用。磁性材料在电力、通讯、电子仪器、汽车、计算机和信息存储等领域有着十分广泛的应用。例如:发动机和电动机等设备,以磁性材料和磁场的作用为基础进行能量转换;在信息存储中,各种磁性卡片、笔记本电脑、打印机等需要以磁性材料为存储设备;在生活中,家庭厨房里的电磁炉、生物学里的核磁共振成像仪,磁悬浮列车等等,都需要用到磁性材料。</p> <p>另外,磁性材料在军事、考古、地质等方面也有很广泛的应用。是“全球关切”的一种功能材料。</p>	<p>聆听讲解,观看实验挂图、观看PS图片、观看PPT。</p>

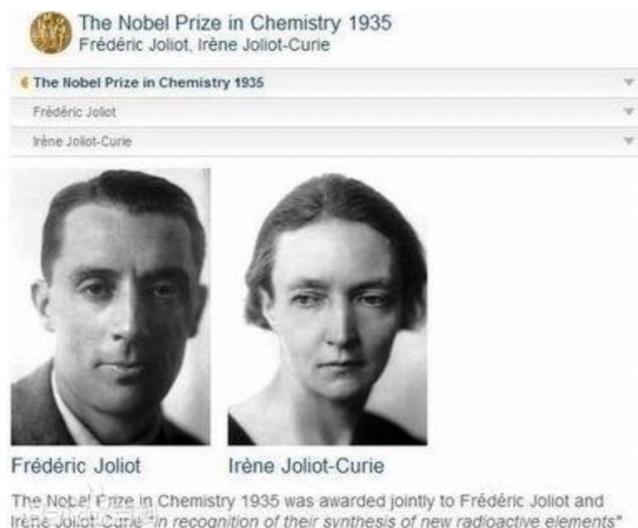
目前，我国磁性材料产量位居世界第一，已成为世界磁性材料产业中心。但还需进一步优化，需要努力，我国的磁性材料也正处于“从大到强”的阶段，用磁性材料的重要性以及我国的发展形势，进而鼓励学生树立为国家发展作出贡献的信念。



教学过程中融入了磁性材料发展状况等“全球关切、家国情怀”课程思政元素。

(3) 在介绍居里温度概念时，通过讲述居里夫妇锲而不舍、日以继夜提炼钋和镭样品的故事，告诉大家做什么事情都应该坚持不懈，持之以恒，坚持目标不能放弃。

聆听讲解，观看实验动画、观看 PPT。



1895年，皮埃尔·居里发现了居里定律，即：顺磁体的磁化率反比于其绝对温度。为了纪念他在磁性方面研究的成就，后人将铁磁性转变为顺磁性的温度称为居里温度（居里点）。

1895年，皮埃尔·居里和玛丽·居里结婚后，两人决定研究放射性，发现了新元素钋和镭。为了提炼出钋和镭的样品，他们在条件极其简陋的破棚子里，经过居里夫妇锲而不舍、日以继夜的长期努力，经过一次又一次的提炼，处理了近一吨矿石残渣，终于得到了0.1克的镭，并测定出了它的原子量是226。由于发现放射性物质，1903年，

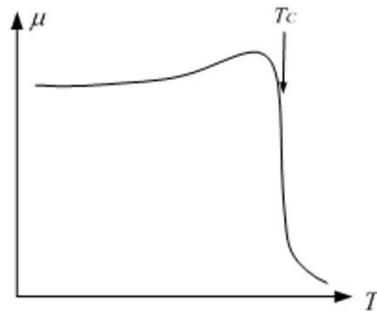
居里夫妇和 A. -H. 贝克勒尔共同获得诺贝尔物理学奖。

教学过程中融入了坚持不懈，持之以恒的科学家精神等“道德修养”课程思政元素。

(4) 在讲解“居里温度”时，引入“量变”和“质变”哲学规律。居里温度点是铁磁性材料的磁性性质发生转变的转折点。

量变和质变是事物发展变化过程中的两种基本状态。一切事物的变化都是从量变开始的，量变达到一定程度就会发生质变，没有量变就没有质变。铁磁材料磁性随温度变化情况，就是一个非常典型的量变—质变过程，可以很好地阐释“量变”和“质变”哲学规律。

在一定范围内，铁磁质的磁性会随温度发生一定的，不太明显的变化（此时为量变）。但是，当温度升高到某一范围时，磁性随温度的变化变快。当温度升高到某一特定值（居里温度）时，铁磁物质的磁性消失，变成顺磁质，其磁性发生了质变。



教学过程中融入了量变质变哲学规律等“道德修养”课程思政元素。

聆听讲解，观看实验动画、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://zjuphylab.zju.edu.cn/实验教学/课程思政教学案例>



# 1 EXPERIMENT BACKGROUNDS 实验背景

## 1 实验背景 EXPERIMENT BACKGROUNDS

### 磁性材料

#### 1. 磁性材料发展

“上有慈石者，下有铜金”  
《管子·地数篇》

“慈石召铁，或引之也”  
《吕氏春秋·精通》

“司南之杓，投之于地，其抵指南”  
《论衡》



4

## 1 实验背景 EXPERIMENT BACKGROUNDS

### 磁性材料

#### 1. 磁性材料发展



铝镍钴 (AlNiCo)



铁氧体  
非金属，磁性瓷



稀土永磁 钕铁硼  
磁性最高的永磁材料

5

## 1 实验背景 EXPERIMENT BACKGROUNDS

### 磁性材料

#### 3. 磁性材料的应用



7

## 1 实验背景 EXPERIMENT BACKGROUNDS

### 磁性材料

#### 3. 我国的磁性产业

我国磁性材料产量位居世界第一

全球磁体产业的中心

从“大”做“强”

8

## 1 实验背景 EXPERIMENT BACKGROUNDS

### 磁性材料

#### 4. 磁性材料的居里温度

居里温度



磁性材料的磁性参数之一。

本实验根据铁磁物质磁矩随温度变化的特性，采用交流电桥法测量铁磁物质自发磁化消失时的温度。

9

# 2 EXPERIMENT OBJECTIVE 实验目的

## 2 实验目的 EXPERIMENT OBJECTIVE

- 利用交流电桥法测定铁磁材料样品居里温度。
- 了解铁磁物质由铁磁性转变为顺磁性的微观机理。
- (选作) 分析实验时加热速率和交流电桥输入信号频率对居里温度测试结果的影响。

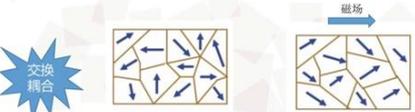
11

# 3 EXPERIMENT PRINCIPLE 实验原理

## 3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

### 一、铁磁质的磁化规律

交换耦合



左图：未加磁场多晶磁畴结构

右图：加磁场多晶磁畴结构

13

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

### 二、基本磁学量

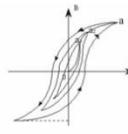
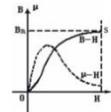
对于处于外磁场中的磁体，磁介质的磁化规律可用磁感应强度 $B$ 、磁化强度 $M$ 和磁场强度 $H$ 来描述：

$$B = \mu_0(H + M) = (\chi_m + 1)\mu_0 H = \mu_r \mu_0 H = \mu H$$

其中，参数 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ 为真空磁导率， $\mu$ 为绝对磁导率， $\mu_r$ 为相对磁导率，是表征磁体磁化难易程度的一个磁学量， $\chi_m$ 为磁化率，表征磁体磁性强弱。

顺磁性： $\chi_m > 0$ ,  $\mu$ 略大于1  
 抗磁性： $\chi_m < 0$ ,  $\mu$ 略小于1  
 铁磁性： $\chi_m \gg 1$ ,  $\mu \gg 1$

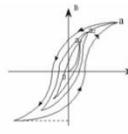
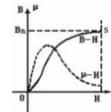
非铁磁性各向同性磁介质： $B = \mu H$  (线性)  
 铁磁性介质： $B, \mu, H$ 关系非线性

左图：磁滞回线      右图：基本磁化曲线和 $\mu$ - $H$ 曲线

14

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

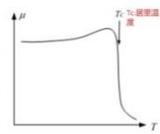
左图：磁滞回线      右图：基本磁化曲线和 $\mu$ - $H$ 曲线

15

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

### 三、磁性材料的磁性参数

- ✓ 饱和磁感应强度
- ✓ 矫顽力
- ✓ 剩磁
- ✓ 居里温度
- ✓ ...



图： $\mu$ - $T$ 曲线

16

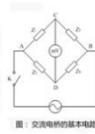
3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

### 四、用交流电桥测量居里温度

交流电桥的基本电路：

**四臂阻抗电路**

电桥达到平衡时，复数等式  $\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_4}{Z_3}$  的模量和辐角分别相等。

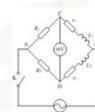


图：交流电桥的基本电路

17

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

### 五、用交流电桥测量居里温度



右图：RC交流电桥

当其中一个电感放入铁氧体后，电感大小发生了变化，引起电桥不平衡。随着温度上升，直到某一个值时，铁氧体的铁磁性转变为顺磁性，CD两点的电位差发生突变并趋于零，电桥又趋向于平衡，这个突变的点对应的温度就是居里温度。可通过桥路电压与温度的关系曲线，求其曲线突变处的温度（居里温度）。

18

4 EXPERIMENT CONTENT 实验内容

4 实验内容 EXPERIMENT CONTENT



19

20

4 实验内容 EXPERIMENT CONTENT

- ◆ 样品架加热时温度较高，实验时勿用手触碰，以免烫伤。放入样品时需要在铁氧体样品棒上涂上导热脂，以防止受热不均。
- ◆ 实验时应该将输出信号频率调节在1000Hz，否则电桥输出太小，不容易测量。实验测试过程中，不允许调节信号发生器的幅度，不允许改变电感线圈的位置。
- ◆ 实验中用到的铁氧体样品的居里温度的大概值标注在样品盖上，表明其真正的距离温度在标记值的附近，可高可低。根据这个标记值选择测温区间，从室温到高于标记值的30℃左右，但不允许超过120℃，否则容易损坏其他器件。（注意合理地调整记录数据的间隔）。

21

4 实验内容 EXPERIMENT CONTENT

- ◆ 电压量程选择200mV，请注意，此时，非常难调到1.0mV一下，“慢”、“左右微调”、“耐心”、“别急躁”要找那个点。尽可能在1.0mV一下。
- ◆ 做同一个样品的升温 and 降温曲线，（做完升温，关掉电源，就开始降温数据记录了）如果时间允许，可以考虑改变信号频率的情况。
- ◆ 在居里温度标称值的正负20℃，合理调整温度间隔，比如1.0℃，0.5℃，在这个区间可以用手机拍摄视频。

22

5 DATA PROCESSING 数据处理

## 5 数据处理 DATA PROCESSING

- (1) 室温: \_\_\_\_\_ °C, (2) 信号频率: \_\_\_\_\_ Hz, (3) 测量样品: 铁磁体样品, 居里温度参数: \_\_\_\_\_ °C, \*

表1 铁磁体样品交流电桥输出电压与加热温度关系

TC/°C	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°
UVV (桥差) /%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
UVV (桥差) /%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TC/°C <th>76°</th> <th>77°</th> <th>78°</th> <th>79°</th> <th>80°</th> <th>81°</th> <th>82°</th> <th>83°</th> <th>84°</th> <th>85°</th>	76°	77°	78°	79°	80°	81°	82°	83°	84°	85°
UVV (桥差) /%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
UVV (桥差) /%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TC/°C <th>86°</th> <th>87°</th> <th>88°</th> <th>89°</th> <th>90°</th> <th>91°</th> <th>92°</th> <th>93°</th> <th>94°</th> <th>95°</th>	86°	87°	88°	89°	90°	91°	92°	93°	94°	95°
UVV (桥差) /%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
UVV (桥差) /%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

## 6

## EXPERIMENT INSPIRATION 实验思考

## 6 实验思考 EXPERIMENT INSPIRATION

- 测出的V~T曲线, 为什么与横坐标没有交点?
- 除了交流电桥法, 你还知道哪些测量居里温度的方法?

26

## 文献目录 BIBLIOGRAPHY

## 参考文献

- [1] 李海洋, 等. 大学物理实验[M]. 高等教育出版社, (2014)
- [2] 彭家明, 惠洪强. 王彭庆. 磁性材料与磁性测量. 北京: 化学工业出版社, 2020.
- [3] 铁磁材料居里温度测量实验讲义.

27

## 2. 挂图

# 铁磁材料居里温度测量

### 实验简介

铁磁材料的磁性随温度的变化而变化。当温度上升至某一温度时, 铁磁材料就由铁磁状态转变为顺磁状态, 即丧失铁磁性物质的特性而转变为顺磁性物质, 这个温度称为居里温度。居里温度是表征磁性材料基本特性的物理量, 它不仅与材料的化学成分和晶体结构有关, 而且铁磁材料的质量还与不同材料、磁电器件的研究和研制, 而且对工程技术的应用都具有十分重要的意义。

### 2. 用交流电桥测量居里温度

铁磁材料的居里温度可用如图3所示的阻抗电桥进行测量。调节电桥的桥臂参数, 使得CD两点的电位差为零, 电桥达到平衡, 则有阻抗的模值和幅角分别满足

$$\frac{|Z_1|}{|Z_2|} = \frac{|Z_3|}{|Z_4|} \quad (1) \quad \varphi_1 + \varphi_2 = \varphi_3 + \varphi_4 \quad (2)$$

由此可见, 交流电桥平衡时, 除了阻抗大小满足(1)式外, 阻抗的相角还要满足(2)式, 这是它和直流电桥的主要区别。

### 实验内容及步骤



1. 用交流电桥测量空心线圈电感, 按图5连接导线。
2. 将“加热选择”开关置于“断”位置, 右侧空心电感线圈中不要插入铁磁体待测样品。
3. 接通电源, 按“频率调节”按钮显示1000Hz, “幅度调节”按钮处于中间位置, 按“波形选择”按钮按下“正弦波”档; 交流电压表“量程选择”按钮按下“2000mV”档。
4. 调节电桥的直流电压表显示值最小, 一般为1.0mV以下, 表示电桥平衡。
5. 将待测样品均匀涂上导热硅脂放入加热腔右侧空心线圈中间的加热腔中, 此时电桥平衡, 交流电压表显示值变化应记录显示值。
6. 将“加热选择”开关置于“低”档位置, 加热器开始加热, 根据当时的室温, 设置一个起始加热温度, 然后观察温度控制仪数字显示窗口, 加热过程中, 温度每升高5°C, 记录电压表的读数, 这个过程中要仔细观察电压表的读数, 当电压表的读数在每5°C变化较大时, 再改为每隔0.5°C左右记下电压表的读数, 直到将加热器的温度升高到100°C左右为止, 关闭加热器开关。
7. 根据记录的数据作V~T图, 计算样品的居里温度。

### 实验原理

#### 1. 铁磁质的磁化规律

铁磁质中相邻电子间存在着一种很强的交换耦合作用, 在无外磁场的情况下, 它们的自旋磁矩能在一个微小区域内自发地整齐排列起来而形成自发磁化小区域, 称为磁畴。



图1 未加磁场的多晶磁畴结构



图2 加磁场的多晶磁畴结构

由于在每个磁畴中磁矩已完全排列整齐, 因此具有很强的磁性。这就是为什么铁磁质的磁性比顺磁质强的原因, 任何铁磁物质都有一个临界温度, 超过这个温度铁磁性就消失, 变为顺磁性, 这个临界温度叫做铁磁质的居里点。

### 背景知识

皮埃尔·居里 (1859 — 1906), 法国著名的物理学家, 也是“居里定律”的发现者, 1903年和居里夫人、贝克勒尔共同获得诺贝尔物理学奖。



### 图3 交流电桥的基本电路



本实验采用如图4所示的RL交流电桥原理线路, 在电桥中输入电源由信号发生器提供, 在实验中应选择较高的输出频率(1000Hz),  $\omega$ 为信号发生器的角频率。

### 图4 RL交流电桥



图中 $R_1, R_2$ 均为纯电阻, 分别为实验平台中的 $R_1, R_2$ , 测量时设置 $R_1 = R_2$ , 结合图3和图4, 其阻抗为:

$$Z_1 = R_1, Z_2 = R_2, Z_3 = r_1 + j\omega L_1, Z_4 = r_2 + j\omega L_2$$

当电桥平衡时有:  $R_1(R_1 + L_2) = R_2(R_1 + L_1)$

$$\text{得: } R_1 = \frac{R_2}{R_1} R_1 \quad (实验平台图中) \quad L_2 = \frac{R_1}{R_2} L_1$$

选择合适的电子元件相匹配, 在未放入铁磁体时, 可直接使电桥平衡, 但当其中一个电感放入铁磁体后, 电感大小发生了变化, 引起电桥不平衡, 随着温度的上升到一个值时, 铁磁体的铁磁性转变为顺磁性, CD两点的电位差发生突变并趋于零, 电桥又趋于平衡, 这个突变的点所对应的温度就是居里温度。

## 3. 照片 (授课现场)



## 4. 案例 4

### (1) 教学内容

金属在光的照射下释放电子的现象称为光电效应。19 世纪末物理学家赫兹在用实验验证电磁波的存在时偶然发现了这一现象，随后人们对它进行了大量的实验研究，总结出了一系列的实验规律，然而这些实验规律在当时却无法用大家所熟知的电磁波理论来加以解释。1905 年爱因斯坦发展了普朗克的量子假说，提出“光量子”的概念，给出了爱因斯坦方程，从而成功地解释了光电效应现象，使人们对光的本性认识有了一个新的飞跃。约十年后美国物理学家密立根以精确的实验定量验证了爱因斯坦的光电效应方程，并测定了普朗克常数。密立根用光电效应测定普朗克常数是近代物理学发展史上重要实验之一，它对爱因斯坦光量子理论的验证，推动了量子力学的发展，同时也树立了验证科学理论的良好典范。在介绍实验背景时，融入“科学家精神”，告诉学生“科学的进步往往来自于对前人的理论提出质疑，科学精神最重要的就是创新”以及“实验是检验真理的唯一标准”；在介绍“光的波粒二象性”时，弘扬中国传统文化，引导学生体会马克思主义辩证主义哲学思想；在讲普朗克常数时，通过介绍人们对基本物理常数的测量，融入“不断进取，精益求精”的科学态度。通过讲述叶企孙先生事迹，引导学生学习叶企孙先生“科学救国、科教兴邦”的爱国精神。在讲光电效应的应用时，通过讲解太阳能电池的发展情况，融入“绿色低碳，可持续环保”发展理念，激发学生“民族自豪感”，激励学生今后为国家做出贡献。

### (2) 融入点

1. 在介绍实验背景时，通过介绍推动量子力学发展的数位科学家，融入“科学家精神”，告诉学生“科学是无国界”的道理。告诉学生“科学的进步往往来自于对前人的理论提出质疑，科学精神最重要的就是创新”以及“实验是检验真理的唯一标准”。
2. 在介绍“光的波粒二象性”时，融入中国古代儒家和道家共同推崇的经典《易经》。在《易经》中，太极中的阴阳是相互对立的统一体，阴中有阳，阳中有阴，即是对立，又可相互转换。光的波粒二象性认为光即是“粒子”又是“波”，但又不是经典的粒子，也不是经典的波，而是这两种特性的对立统一。光的波粒二象性类似于太极中的阴阳，这样的类比弘扬了

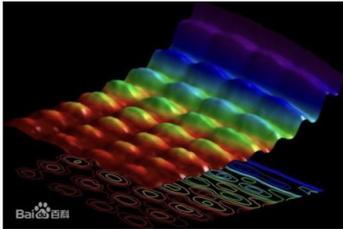
中国传统文化，增强学生对中国传统文化的敬仰之情；引导学生体会马克思主义辩证主义哲学思想。

3. 在讲解普朗克常数时，通过介绍人们对基本物理常数的测量，融入“不断进取，精益求精”的科学态度。历史上测量普朗克常数的方法有：光电效应法、X 射线谱以及电子衍射法等。随着科技的进步，人们在追求精确的道路上不会止步，实验技术不断提高，测量精度也会越来越高。

4. 在讲解普朗克常数时，通过讲述叶企孙先生事迹，学习叶企孙先生“科学救国、科教兴邦”的爱国精神。

5. 在讲光电效应的应用时，通过讲解太阳能电池的发展情况，融入“绿色低碳，可持续环保”发展理念，激发学生“民族自豪感”，激励学生今后为国家做出贡献。

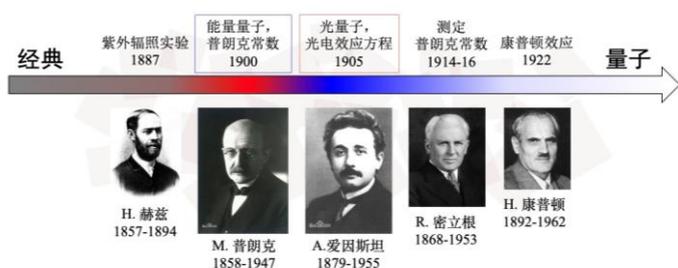
### (3) 实例

教师活动	学生活动
<p>(1) 在实验背景，介绍“光的波粒二象性”时，融入中国古代儒家和道家共同推崇的经典《易经》中的阴阳思想，以及“对立统一”的哲学思想，即可以弘扬中国传统文化，增强学生对中国传统文化的敬仰之情；又可以引导学生体会马克思主义辩证主义哲学思想。</p> <p>太极是中国文化史上的一个重要概念。在《易经》中，太极中的阴阳是相互对立的统一体，阴中有阳，阳中有阴，即是对立，又可相互转换。光的波粒二象性认为光即是“粒子”又是“波”，但又不是经典的粒子，也不是经典的波，而是这两种特性的对立统一。光的波粒二象性类似于太极中的阴阳，这样的类比弘扬了中国传统文化，增强学生对中国传统文化的敬仰之情。另外，可以引导学生体会马克思主义辩证主义哲学思想。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p><b>光的波粒二象性</b></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><b>太极</b></p> </div> </div> <p>教学过程中融入了中国传统文化等“家国情怀”以及哲学思想等“道德修养”课程思政元素。</p>	<p>聆听讲解，观看图片，观看 PPT。</p>
<p>(2) 在介绍实验背景时，通过介绍推动量子力学发展的数位科学家，融入“科学家精神”，告诉学生“科学是无国界”的道理。同时告诉学生“科学的进步往往来自于对前人的理论提出质疑，科学精神最重要的就是创新”以及“实验是检验真理的唯一标准”。</p> <p>19 世纪末物理学家赫兹在用实验验证电磁波的存在时偶然发现了这一现象，随后人们对它进行了大量的实验研究，总结出了一系列的实验规律，然而这些实验规律在当时却无法用大家所熟知的电磁波理论来加以解释。而是遇到了不可调和的矛盾：(a) 经典理论认为光电效应的产生必须要有一定的光强，当光强低于某一临界值时，就不</p>	<p>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>

会发射电子。但是实验的结果和预测完全相反，根本不存在光强的阈值，只要能产生发射电子，无论光强多么小，均能继续发射电子。(b) 经典理论认为发射电子的能量与光强有关，随光强的增大而增大。但实验发现出射电子的能量与光强无关，却与光照的频率有关，并存在一个阈值频率，在阈值频率以上，能量随频率线性增大。(c) 光电效应的发生具有瞬时性，金属只要一经光照，立刻就能发射光电子，时间约为  $10^{-9}$ s。但如果用经典的光波动理论解释金属受光照到发射光电子，需要有能量的积累时间，据计算以钾金属为例是 88 分钟，这显然与实验不符。

1905 年爱因斯坦发展了普朗克的量子假说，提出“光量子”的概念，给出了爱因斯坦方程，从而成功地解释了光电效应现象，使人们对光的本性认识有了一个飞跃。

约十年后美国物理学家密立根以精确的实验定量验证了爱因斯坦的光电效应方程，并测定了普朗克常数。密立根用光电效应测定普朗克常数是近代物理学发展史上重要实验之一，它对爱因斯坦光量子理论的验证，推动了量子力学的发展，同时也树立了验证科学理论的良好典范。



教学过程中融入科学家创新精神等“道德修养”课程思政元素。

(3) 在讲解普朗克常数时，通过介绍人们对基本物理常数的测量，融入“不断进取，精益求精”的科学态度。

普朗克常数是 1900 年普朗克在研究黑体辐射时，引入的一个非常重要的一个基本物理常数，记为  $h$ ，表示量子大小，是联系微观粒子波粒二象性的桥梁。最基本的物理常数有：真空中的光速  $c$ ，基本电荷  $e$ ，阿伏伽德罗常数等。

对于这些基本的物理常数，人们不断对其进行精益求精的测量和重新定义。比如：历史上测量普朗克常数的方法有：光电效应法、X 射线谱以及电子衍射法等。随着科技的进步，人们在追求精确的道路上不会止步，实验技术不断提高，测量精度也会越来越高。

人们对基本物理常数的测量，体现了“不断进取，精益求精”的科学态度。

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$c = 2.99 \times 10^8 \text{ m/s}$$

教学过程中融入了科学精神等“道德修养”课程思政元素。

(4) 在讲普朗克常数时，通过讲述叶企孙先生事迹，学习叶企

聆听讲解，观看实验动画、观看 PPT、思考提问、师生互动。

笔记记录、聆听讲

孙先生“科学救国、科教兴邦”的爱国精神。

叶企孙先生被称为中国近代物理学的奠基人，为我国乃至世界的科学发展做出了巨大的贡献。叶企孙先生在物理学上的重要研究成果之一就是：与合作者用 X 射线精确地测定了普朗克常数，被物理学界沿用 16 年之久。他积极创办了清华大学物理系、理学院和北京大学磁学专门组，并与竺可桢先生一起创办了自然科学史研究所，培养出一大批著名科学家，为我国高等教育事业和科学事业做出卓越贡献。清华大学评他“对开拓、促进中国物理学及整个自然科学的发展、培育科学技术人材作出了不可磨灭的贡献，他得天下英才而育之，所提倡的教育思想结出了丰硕的果实”，李政道先生评他“是现代中国科教兴国的先驱者”。



叶企孙

教学过程中融入叶企孙先生科学救国、科教兴邦等“家国情怀”课程思政元素。

[1]中国科学院学部

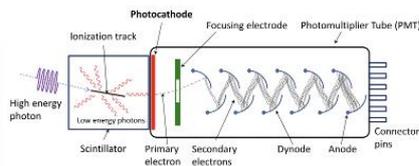
[https://baike.baidu.com/reference/3396742/651eaUPiMPyFOICtbtdvKgSYg9KYUWQDM1\\_Xme3uW2iMxAN1It6DTVgrw9iLdy9uKdKHEvk24FAkCZb8a8amYCK9mCw4Sq3CComGRt5GNMrNU760IZTUPOaT8FO4ut0-gXsJndc pNqb8-L2dyVc](https://baike.baidu.com/reference/3396742/651eaUPiMPyFOICtbtdvKgSYg9KYUWQDM1_Xme3uW2iMxAN1It6DTVgrw9iLdy9uKdKHEvk24FAkCZb8a8amYCK9mCw4Sq3CComGRt5GNMrNU760IZTUPOaT8FO4ut0-gXsJndc pNqb8-L2dyVc)

解，观看实验示意图、观看 PPT、思考提问、师生互动。

(5) 在讲光电效应的应用时，通过讲解太阳能电池的发展情况，融入“绿色低碳，可持续环保”发展理念，激发学生“民族自豪感”，激励学生今后为国家做出贡献。

光电效应在现代生产、生活、科研甚至是国防方面，都有广泛的应用。例如：光控制电器、光电倍增管、光电传感器、太阳能电池等。例如：光电太阳能电池是通过光电效应或者光化学效应直接把光能转化成电能的装置，具有绿色，可持续发展等优势。常见的太阳能电池有多晶硅、单晶硅、硅带和超薄涂层。随着全球能量需求的日趋紧张，太阳能这种零污染且取之不尽的能源更应该加以大力利用。太阳能光伏发电不仅会越来越重要，而且还会替代一些常规能源，成为能源的主要供体，其市场非常广阔。我国对太阳能电池的研究起步于 1958 年，在 20 世纪 80 年代首次实现工业化。目前已成为全球主要的太阳能电池生产国。光伏发电，绿色环保，在过去的 10 年里，光伏发电产业通过降低成本、提高质量等途径，从被“卡脖子”到全球领先，为中国可再生能源跨越式发展作出重要贡献。2022 年，点亮世界杯的光伏电站-卡塔尔阿尔卡萨 800 兆瓦光伏电站是中国制造。这些内容

融入了“绿色低碳，可持续环保”发展理念，激发学生“民族自豪感”，鼓励学生今后为国家做出贡献。



(教学过程中融入绿色环保、可持续发展等“道德修养”以及“家国情怀”课程思政元素。)

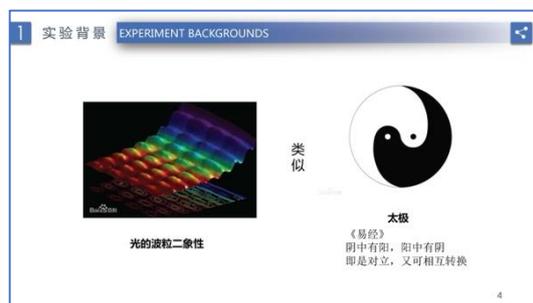
#### (4) 融入方式

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>



1 实验背景 EXPERIMENT BACKGROUNDS

### 物理学史上的两片乌云

以太是否存在?  
黑体辐射紫外灾难

相对论  
量子力学

5

1 实验背景 EXPERIMENT BACKGROUNDS

经典 紫外辐射实验 1887 能量量子, 普朗克常数 1900 光子, 光电效应方程 1905 测定 普朗克常数 1914-16 康普顿效应 1922 量子

H. 赫兹 1857-1894  
M. 普朗克 1858-1947  
A. 爱因斯坦 1879-1955  
R. 密立根 1868-1953  
H. 康普顿 1892-1962

6

5 实验背景 EXPERIMENT INSPIRATION

### 测定普朗克常数

$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$   
 $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$   
 $c = 2.99 \times 10^8 \text{ m/s}$

光电效应法  
X射线谱法  
电子衍射法  
•••

叶企孙

7

1 实验背景 EXPERIMENT BACKGROUNDS

### 应用广泛

▶ 太阳能电池  
▶ 光电开关  
▶ 光电倍增管  
▶ 光电子能谱

8

1 实验背景 EXPERIMENT BACKGROUNDS

光电效应实验规律:

- ▶ 能否发射电子与光强无关, 存在光频率阈值;
- ▶ 发射电子的能量与光强无关, 与光频率有关; 在光频率阈值之上, 能量线性增加
- ▶ 瞬时性 (<10ns)

矛盾

麦克斯韦经典理论:

- ▶ 能否发射电子与光强有关, 存在光强阈值;
- ▶ 发射电子的能量与光强有关;
- ▶ 能量积累 (需时间)

9

2 EXPERIMENT OBJECTIVE 实验目的

2 实验目的 EXPERIMENT OBJECTIVE

- ▶ 光的量子性
- ▶ 光电效应基本规律
- ▶ 爱因斯坦光电效应方程
- ▶ 测定普朗克常数 $h$

11

3 EXPERIMENT PRINCIPLE 实验原理

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

光电效应方程:  $h\nu = \frac{1}{2}mv^2 + W$

光子能量 → 电子最大动能 → 逸出功 (功函数)

"光子"假设解释:

1. 光由能量为  $h\nu$  的粒子组成的粒子流, 光子;
2. 光的强弱决定于光子多少, 故光电流与入射光的强度成正比;
3. 金属中的自由电子通常只能吸收一个光子的能量;
4. 电子获得的能量与光强无关, 而只与频率成正比;
5.  $h\nu > W$ , 存在临界频率 (极限频率);
6. 逸出光电子的最大初动能与入射光的频率成正比, 与光强无关。

13

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

### 截止电压 (同一种金属)

1. 光照阴极K, 释放光电子, AK之间形成光电流
2. 加速电压差  $U_{AK}$  为负时, 光电子逆着电场力方向运动;
3. 随着  $U$  的增大, 光电流迅速减小;  $U_{AK} = -\frac{1}{2}mv^2$
3. 当  $i=0$ ,  $|U_{AK}| =$  截止电压  $U_c$ ;
4. 一种频率对应一个截止电压,  $U_c$  与金属材料有关。

$$U_c = \frac{h\nu - W}{e}$$

光电效应实验示意图

GD: 光电管  
K/A: 光电管阴极/阳极  
G: 微电流计  
V: 电压表  
R: 电阻  
E: 电源  
S: 滑线变阻器

14

### 3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

➢ 红限频率 (光电阈)

只有光子的能量  $h\nu$  大于等于逸出功  $A$  时, 光电子才能有初动能, 才会产生光电效应。即当光的频率  $\nu < \nu_0$  时, 不论用多强的光照射到物质都不会产生光电效应, 称为截止频率 (又称红限)。

$U_0 - \nu$  关系图

$U_0 = \frac{h\nu}{e} - \frac{W}{e}$

斜率:  $\frac{h}{e}$     截距:  $-\frac{W}{e}$

15

### 4 EXPERIMENT CONTENT 实验内容

### 4 实验内容 EXPERIMENT CONTENT

- 光的频率与截止电压
- 光电流伏安特性
- 影响光电流的因素

18

### 4 实验内容 EXPERIMENT CONTENT

1. 调整光具座光路等高共轴

仪器: 光电管、单色仪 (或滤光片)、汞灯、微检流计  
直流电源、直流电压计  
单色光源: 汞灯+滤光片 365, 405, 436, 546, 579nm

汞灯光谱

19

### 4 实验内容 EXPERIMENT CONTENT

2. 不同滤光片, 测量截止电压

波长 $\lambda$ (nm)	365	404	465	546	579
频率 $\nu$ ( $10^{14}$ Hz)	8.216	7.410	6.882	5.492	5.181
截止电压 $U_{0k}$ (V)					

3. 绘制  $U_{0k} - \nu$  图, 计算  $h$ 、确定  $W$ 、以及  $\nu_{min}$

• 最小二乘线性拟合

$$U_0 = \frac{h\nu}{e} - \frac{W}{e}$$

20

### 4 实验内容 EXPERIMENT CONTENT

4. 不同光源, 测量光电效应伏安特性

5. 同一光源, 探究饱和电流与光强的关系 (如光源距离、通光面积)

光电流伏安特性  
不同频率

饱和光电流与光强  
同一频率

21

### 4 实验内容 EXPERIMENT CONTENT

#### 注意事项

注意事项:

- 汞灯起辉: 低温易, 高温难
- 滤光片避手触
- 光电管少光照, 延寿命

### 4 实验内容 EXPERIMENT CONTENT

#### ➢ 实际测量的讨论

✓ 实测电流包含

- 阳极正向电流
- 阳极反向电流, 阴极材料污染
- 暗电流: 热电子 (温度)、管壳漏电流 ( $\propto U_0$ ) 等
- 本底电流: 杂散光

✓ 截止电压的确定

- 交点法 (零电流法): 通常  $\geq$  截止电压真值
- 补偿法: 测定暗电流、本底电流, 消除影响
- 拐点法: 电流饱和, 速度快时误差小

23

### 6 文献目录 BIBLIOGRAPHY

#### 参考文献

- [1] 李海祥, 等, 大学物理实验 I [M]. 高等教育出版社 (2014)
- [2] 郑述平, 普通物理实验 [M]. 高等教育出版社 (2000)
- [3] 李耀光, 光电效应中饱和光电流与入射光频率的关系研究 [J]. 大学物理实验, 15, 2002 (2)
- [4] 张凤羽, 王福刚, 等, 不同光源对普朗克常数实验测量的影响 [J]. 大学物理实验, 29, 2016 (4)
- [5] 周春敏, 郑晓东, 光电效应法测量普朗克常数的数据处理及误差分析 [C]. 中国光学会2006年学术大会论文集摘要, 2006
- [6] Baumberger F, Cuk T, et al. Coupling Of The 81g Phonon To The Anti-Nodal Electronic States Of Bi2Sr2Ca0.92Y0.08Cu2O(8+delta) [J]. Phys.rev.lett. 2004. 93(11):117003.
- [7] [https://en.m.wikipedia.org/wiki/Photoelectric\\_effect](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Photoelectric_effect), etc.
- [8] <https://wenku.baidu.com/view/e6f47e586f6b6f1a#00bed5b9f9f9077c64d448.html> 百度百科

24

2. 挂图

# 光电效应测定普朗克常数

## 实验简介

金属在光的照射下释放电子的现象称为光电效应。19世纪末物理学家赫兹在用实验验证电磁波的存在时偶然发现了这一现象。随后人们对它进行了大量的实验研究，总结出了一系列的实验规律。1905年爱因斯坦发展了普朗克的量子假说，提出“光子”的概念，给出了爱因斯坦方程，从而成功地解释了光电效应现象。约十年后美国物理学家密立根以精确的实验定量验证了爱因斯坦的光电效应方程，并测定了普朗克常数。普朗克常数 $h$ 是一个重要的物理常数，凡事涉及到普朗克常数的物理现象，都是量子现象。

## 实验仪器



1. 电流量程; 2. 光电管输出微电流表; 3. 光电管工作电压表; 4. 调零(微电流表); 5. 光电管工作电压调节(微调); 6. 光电管工作电压调节(微调); 7. 光电管工作电压转换按钮(测量截止电位或测量伏安特性); 8. 光电信号开关; 9. 滤色片, 光阑(可调节); 10. 遮光罩; 11. 汞灯电源; 12. 汞灯; 13. 光电管暗箱。

## 背景知识

普朗克 (1858—1947), 德国著名物理学家, 量子力学的重要创始人之一。大约1894年起, 他研究黑体辐射定律, 并得出量子概念和常数。



海因里希·鲁道夫·赫兹 (1857—1894), 德国物理学家。于1888年首先证实了电磁波的存在, 并对电磁学有很大的贡献, 故频率的国际单位制单位赫兹以他的名字命名。



爱因斯坦 (1879—1955), 出生于德国, 1921年, 他对量子力学的成就, 特别是对光电效应研究而获得诺贝尔物理学奖, 他的研究推动了量子力学的发展。



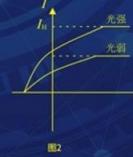
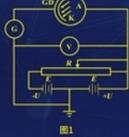
罗伯特·安德鲁·密立根 (1868年—1953), 美国实验物理学家, 他进行了一系列测定电子电荷以及光电效应的工作, 包括著名的油滴实验, 1923年诺贝尔物理学奖得主。



浙江大学 物理实验教学中心

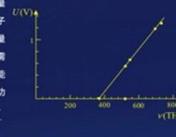
## 光电效应原理

光电效应的实验示意图如图1所示, 当用光照射阴极时, 由于阴极释放出电子而形成阴极光电流, 加速电压 $U_{AK}$ 越大, 阴极电流越大, 当 $U_{AK}$ 增加到一定数值后, 阴极电流不再增大而达到某一饱和值 $I_{m}$ ,  $I_{m}$ 的大小和照射光的强度成正比(如图2所示), 加速电压 $U_{AK}$ 为负值时, 阴极电流会迅速减少, 当加速电压 $U_{AK}$ 负到一定数值时, 阴极电流变为“0”, 与此对应的电位差称为截止电压 $U_{c0}$ , 它的大小与光的强度无关, 而是随着照射光的频率的增大而增大(如图3所示)。



## 普朗克常数测量

1905年爱因斯坦提出光是由“光子”构成的大胆设想, 并认为“一个光子将其全部能量给予一个电子”, 具有能量为 $h\nu$ 的光量子打在金属表面时, 电子需要做功克服金属内正电荷的吸引力才能逸出金属表面, 这部分能量称为逸出功



$$h\nu = \frac{1}{2} m v^2 + W \quad U_{c0} = \frac{h\nu}{e} - \frac{W}{e}$$

### 3. 照片 (授课现场)

