

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 II

课程代码：061Z0100

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）

本课程是混合实验、小课题和科创项目相结合进行的探究物理现象和物理规律的实验实践类课程。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。本课程主要面向浙江大学竺可桢学院本科生开课，培养具有正确社会主义核心价值观的“专业型、探究型和创新型”一流人才。学生学习本课程后，达到如下要求：

- 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和方法。
- 3、能正确操作复杂仪器，并自主设计研究内容。
- 4、掌握课题研究方法和过程，并学会答辩和撰写论文。
- 5、强化认真、严肃、刻苦、乐观的科学实验态度。

6、提升学生追求真理、探索未知领域的责任感。

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	融入方式	
1	绪论课	<ul style="list-style-type: none"> ■道德修养 ■家国情怀 □全球关切 ■浙大精神 (可多选)	<ol style="list-style-type: none"> 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	迈克尔逊干涉仪的应用	<ul style="list-style-type: none"> ■道德修养 ■家国情怀 ■全球关切 ■浙大精神 (可多选)	<ol style="list-style-type: none"> ①科学实验，了解实验与理论一样的重要性。 ②诺贝尔奖的科学家精神。 ③鞠躬尽瘁死而后已精神，科学发明精神，类比法哲学理念，通过孔明锁展示了中国传统文化和科学技术的魅力。 ④求是创新的浙大精神，讲解科学实验的必要性和重要性。 	案例①: 介绍因为研究实验仪器而获得诺贝尔物理学奖的科学家； 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: 介绍孔明生平，以及孔明锁的魅力。 案例④: 介绍唐孝威科学实验四十年事迹、成绩、成果。 (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。)
3	等厚干涉 (牛顿环与劈尖)	<ul style="list-style-type: none"> ■道德修养 ■家国情怀 ■全球关切 ■浙大精神 (可多选)	<ol style="list-style-type: none"> ①传递中国传统文化的美，激发学生爱国情怀，激发学生为赓续中国传统文化努力学习、不断创新的热情。 ②好学、勤奋和科学实验态度，谦虚、谨慎、认真的科学态度，科学家精神。 ③分析问题、解决问题能力。 ④用类比的方法解释科学知识，用宏观的、俯视的角度观察事物能力。 ⑤“实践出真知”道理，实验验证的重要性，诺贝尔奖科学家精神。 ⑥科学地分析问题、解 	案例①: 讲解光学知识和中国古代《墨经》记录的光学实验的故事。 案例②: 介绍伟大物理学家牛顿及其伟大发明。 案例③: 利用计算机动画展示物理现象。 案例④: 介绍光的干涉中获得相干光的途径: 分波前法和分振幅法。 案例⑤: 介绍李政道、杨振宁和吴健雄的故事。介绍霍金的研究成果。 案例⑥: 浙大学子程开甲科学强国故事，他为了获得一手数据、进一步改进仪器，他身先士卒，不顾个人安危，进入危险境地，采样实验数据。 案例⑦: 引导学生观看央视“大国工匠”记录片的报道视频-火箭“心脏”焊接人高凤林的故事。 (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)

			决问题的方法，“靡故匪新”、“树我邦国”的浙大精神。 ⑦，工匠精神。	的方式实现。)
4	光速测量实验	<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 type="checkbox"/> 浙大精神 (可多选)	①事物发展变化是绝对的道理，激发学生要不断创新的热情。 ②科学家精神和科学实验精神。 ③任何科学仪器都不肯尽善尽美，需要不断完善，只要不断改进，才能为社会的发展添砖加瓦，服务人类。 ④青年人要有科技强国的使命感、科技强国的道理。	案例①：光的发展历程（牛顿的波粒说、惠更斯的波动说、波粒二象性、爱因斯坦的光子说）。 案例②：介绍测量光速第一人伽利略的故事。 案例③：示波器的前世今生。 案例④：叙述中国芯片的发展历程（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。）

(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。

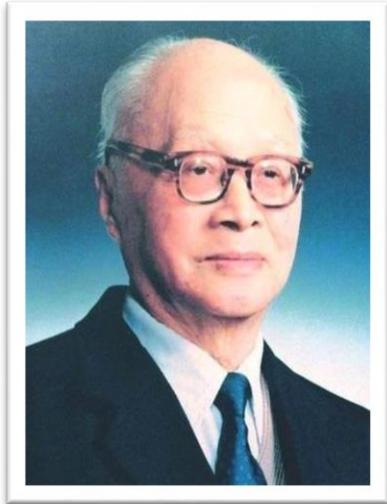
③以程开甲事迹作为融入点，再次讲述“创造力来源于实验实践”，教育学生要学习程开甲求是创新精神和科学强国精神。

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大者。

(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 π 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。

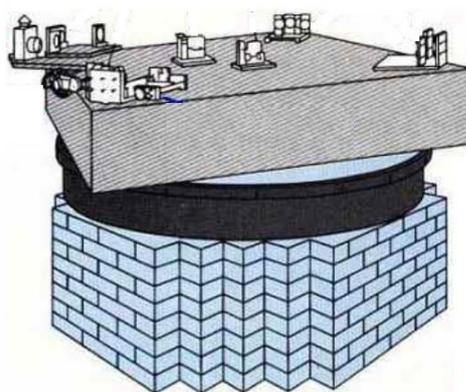
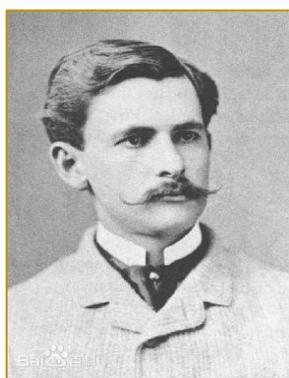
1999年9月，党中央、国务院、中央军委召开大会，对当年为研制“两弹一星”作出贡献的23位科技专家予以表彰，追授王淦昌“两弹一星功勋奖章”。2003年，国际小行星命名委员会把一颗永久编号为14558的小行星命名“王淦昌星”。

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。

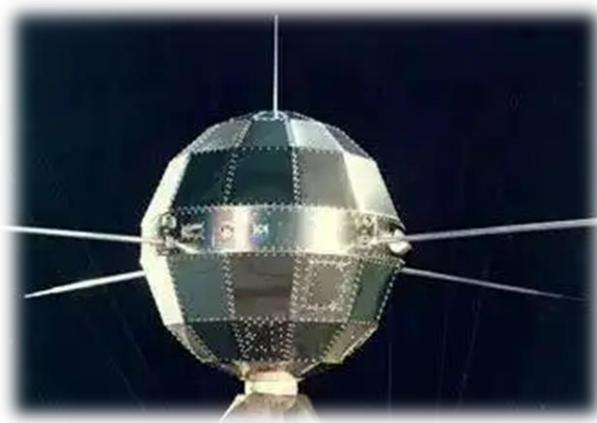
迈克尔逊主要从事光学和光谱学方面的研究，他发明了一种用以测定微小长度、折射率和光波波长的干涉仪，在研究光谱学方面起着重要的作用。他因发明精密光学仪器和借助这些仪器在光谱学和度量学的研究工作中所做出的贡献，被授予了1907年度诺贝尔物理学奖。

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 shows four slides from a PPT presentation. The first slide is the title slide, featuring the Zhejiang University logo and the text: '专业型、探究型、创新型物理实验课程-绪论课', '普通物理学实验 II 与物理学实验 II', and '陈水桥 浙江大学物理实验教学中心'. The second slide is the '目录 | CONTENT' (Table of Contents) slide, listing six items: 1. 课程基本情况, 2. 课程背景知识, 3. 实验中心简介, 4. 课程内容建设, 5. 课程安排实施, 6. 课程相关须知. The third slide is titled '概述' (Overview) and contains the text: '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。' The fourth slide is titled '对学生的要求' (Requirements for Students) and lists eight points: 1. 学习用实验的方法去探索物理现象和规律。 2. 能正确操作复杂仪器, 并自主探究实验内容。 3. 熟悉用计算机软件等实验手段进行数据处理。 4. 熟练利用分光计和示波器 etc 仪器完成物理实验。 5. 学会用虚拟仿真等实验方法探索物理现象。 6. 手写完备的实验报告, 并深度分析实验内容。 7. 掌握课题研究方法和过程, 并学会答辩和撰写论文。 8. 培养团队协作精神, 学会共同完成探究实验和课题。

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、小课题和科创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

课程建设

三位一体课程内容：包括：混合实验、小课题和科创项目。完善了教学内容。

多元化教学手段：建设了线上预习、线上听课和在线考试等一系列在线教学辅助平台。提升学习效率。

定位明确：本课程主要为浙大培养具有一定创新意识能力的一流学生，是**学生从实验室走向研究的“敲门砖”**。

“一站式”服务师生平台。①“学生部落”：智能化收发实验报告平台、资源交流平台等。②“立体化实验平台”：场景化操作平台、多媒体信息平台等“多维度”实验配套项目。

“一步反馈”信息平台。①学生实验报告问题，在课程系统“在线反馈”；②学生个性化问题，在选课系统“一对一反馈”；③学生共性问题，在浙大打“共享反馈”。

课程特色

课程内容：混合实验、小课题和科创项目；三位一体。

教学方法：多元化教学手段和一系列线上线下辅助教学平台。

评价体系：“线上线下过程化”评价方法和“一步反馈”交流平台。

课程思政：王淦昌和程开甲事迹、诺贝尔奖科学家故事、在浙本科学实践成果。

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**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。**

把科学的星辰留在浙大人心

- 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年他与学校一同在艰难中跋涉求生，却开辟出一朵朵惊世骇俗的科学之花。
- 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，并展现出非凡的科学见解和实际的实验能力。但他却仍然选择回到祖国深爱的祖国。
- 王淦昌随北大途径浙江建德、江西奉新、广西宜山等地。最终在遵义遭遇这座小山城，王淦昌获得了宝贵的科研时间。双峰寺是王淦昌每天坚持的实验室，虽称实验室，却没有实验设施，连最基本的电都没有。在如此简陋的环境里，他制成的荧光粉——磷光硫化钙，却为国家填补了空白。
- 艰苦的条件下，王淦昌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，美国科学家塞本-海敦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，王淦昌又着手寻找中微子。1943年写出了论文《关于宇宙线粒子的新一种实验方法》。后来英国物理学家鲍威尔用此法发现了 μ 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。
- 由于师资短缺，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弟子，他后来写道：“直到现在，我还能记得曾有过讨论，以及他们激烈的我对物理的热情。”

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职。朝鲜战场上，他前去探测美军是否使用原子武器和探测放射性物质；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个月后，二机部副部长刘杰和时任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叮嘱。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隐姓埋名了。他的名字变成了“王康”；他放弃了已成名的核物理研究，各方面都不熟悉但国家迫切需要的核武器研制；.....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，王淦昌调任北京核工业部副部长兼原子能研究所所长。人们才知道，核武器研制基地那个沉默寡言的“王康”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学和激光的聚变核聚变基础性研究，为通过可控核聚变获取能源做出了开创性贡献。1982年，王淦昌发现反西格玛负超子荣获国家自然科学一等奖。1985年，他组织核武器研制、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，王淦昌与王淦欣、陈芳允、杨嘉庆联名向中央提出了《关于国防研究外闯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14558的小行星命名为“王淦昌星”。
- 2017年，浙大物理系推出《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数学最高目标》，并在全体党员干部大会上正式宣读。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。

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。他是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，加入到核武器研制的队伍。原子弹研制初期，程开甲担任核武器研究所副所长，分管材料力学方面的理论研究和物理研究，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 创新不止**
- 1984年程开甲开展核武器试验基地，他的科研工作转入国防科技发展战略研究，开启了核科学研究的新时代。
- 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，他重新开始基地研究课题，他进一步发展、完善了“程一德恩”超导电性超导理论。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，国家发明二等奖和全国科学大会奖、何乐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，是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双重肯定。我们核武器试验研究所、基地所有参加者，有名的、无名的英雄们在苦苦追求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是要做到求真；
 - 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弟子

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
形上谓道 形下谓器
礼主别异 乐主和同
知其不二 兮念所履
国有成均 在国之滨
育言求是 实启尔求真
习坎为教 始足经纶
无白己是 无曰遯真
靡承匪因 靡庶匪新
可以新之 开物前民
肇尔髦士 尚其有闻
念俊典学 思睿理通
有文有质 有实有工
家必参贯 知至知终
成蹊乃达 若金之在矿
尚学于野 无吝于宗
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

- 力学实验室
 - 力学实验室1
 - 力学实验室2
 - 力学实验室3
- 热学实验室
 - 热学实验室1
 - 热学实验室2
 - 热学实验室3
- 光学实验室
 - 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
 - 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

教学内容

本课程是“混合实验”、“小课题”和“科创项目”相结合的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。

其中“混合实验”包括：综合实验、高阶实验、近代物理实验和虚拟仿真实验（线上虚拟仿真实验和线下虚拟仿真实验）。

本课程教学内容分三大类：“混合实验”、“小课题”和“科创项目”。①“混合实验”包括：“综合实验”（每个实验做1次），“高阶实验”（每个实验连续做2次），“近代物理实验”（每个实验做1次），“线下虚拟仿真实验”（每个实验连续做2次，学生必须到实验室做实验）和“线上虚拟仿真实验”（每个实验做1次，学生可以在实验室或学校其它场所上完成线上虚拟仿真实验，不用来实验室）。②“小课题”每个小课题连续做2次，有秋季小课题和春季小课题两种，学生只能选一次小课题，不能秋季学期的选春季小课题。③“科创项目”：每个科创项目连续做14次，秋季学期做科创项目，不再做混合实验。

教学实施

项目	可选项目总数/个	每位学生最多可选择项目数/个	实验次数/次	实验课时/小时	单次实验容纳学生数/个	总容纳学生量/个
混合实验	29	14	1或2	3或6	8-35	444
小课题	29	1	7	21*	2-5	125
科创项目	28	1	14	42*	4-6	150

*“混合实验”包括：预习、试验、数据处理和实验报告。“小课题”和“科创项目”包括：开题、设计、试验、分析、总结和答辩。“混合实验”需提交实验报告。“小课题”和“科创项目”需在期末提交论文和答辩PPT。

特别提示：①混合实验：做2次，只需完成1个实验报告，余解2次分数（分数相同）。②“小课题”余解7次相同分数。“科创项目”余解14次相同分数，且解小组或成员相同分数。③“线上虚拟仿真实验”是线上实验，学生可以在实验室或学校其它场所完成线上虚拟仿真实验，不用来实验室，但是必须到实验室完成实验，并提交线上实验报告。④“小课题”和“科创项目”选中后，请及时与指导教师联系，以便索取“学习资料”。指导教师联系方式详见物理实验教学中心网站内。⑤“混合实验”需提交实验报告，“小课题”和“科创项目”需在期末提交论文和答辩PPT。

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
研究钠双线的影响



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、并能精确测量光程的干涉仪，在精密测量学方面起着重要的作用。
- 他发明精密光学仪器并借助这些仪器在光谱学和量子物理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、技术奠基人、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、第一台激光器。
- 1980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，促成了激光科学家王大珩的建设。
- 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：10⁻⁹mm。

迈克尔逊干涉条纹



大国工匠

大国工匠以工匠精神为人物内核，寓意“精益求精、执着专注、一丝不苟、追求完美、爱岗敬业、精益求精、争创一流”的工匠精神。工匠精神是制造业的灵魂，是制造业高质量发展的基石。工匠精神是制造业高质量发展的基石，是制造业高质量发展的基石。工匠精神是制造业高质量发展的基石，是制造业高质量发展的基石。

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

迈克尔逊干涉仪是利用分振幅法产生双光束以实现干涉的一种仪器。通过调整迈克尔逊干涉仪，可以产生等厚干涉条纹，也可以产生等倾干涉条纹。它主要用于长度精密计量、光学平面的质量检验和高分辨率的光谱分析等。本案例以迈克尔逊干涉仪测量光波波长为例，

在介绍通过研制科学仪器获得诺贝尔奖得科学家时,突出诺贝尔奖精神对后辈坚持科学研究的重要性。在叙述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时,激起学生对科学家敬仰之情,学习科学家科学实验的态度。在讲授等倾干涉和等厚干涉概念时,告知学生学习知识需要有一定的空间感,才能更好地领会相关原理和知识,并融入了孔明锁的实例来教育学生,并叙述了中国古代许多像孔明一样的科学家为人类做出了杰出的贡献,值得我们去学习和赓续他们的科学思维和科学精神。从“唐孝威科学实验四十年”作为融入点,讲解科学实验的重要性,让学生科学地调节迈克尔逊干涉仪,特别是如何根据图像现象来调节仪器,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。

(2) 融入点

1. 在介绍诺贝尔物理学奖时,融入“诺贝尔奖精神”,增强学生对科学家的敬畏,培养学生热爱科学的激情,并激发学生科学强国的热情。

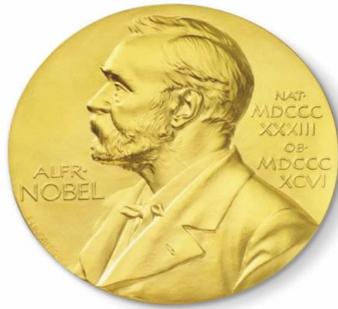
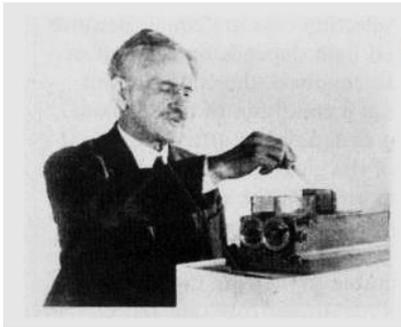
2. 在介绍迈克尔逊和迈克尔逊干涉仪研制故事时,融入“科学家精神”,告诉学生无数的科学发明都来源于不断的实践和坚持,任何成功都是在不断探索、勤奋研究中成功的。

3. 讲述中国古代政治家、军事家、科学家孔明和孔明锁的故事,融入“中国制造”和“中国创造”,以及孔明的“鞠躬尽瘁,死而后已”的报国情怀。同时,告知学生学习知识需要有一定的空间想象力,才能更好地领会相关原理和知识。并展示了中国传统文化和科学技术的魅力,激发学生的爱国情怀。

4. 讲述浙大学子唐孝威科学实验四十年故事,融入“浙大精神”,教育学生要科学实验,学习唐孝威四十年如一日地科学实验的实验精神,唐孝威在浙大工作期间,秉承浙大求是创新精神,坚持在科学第一线,在新领域不断开拓,从不停止实验的脚步。通过介绍唐孝威的科学实验四十年的故事,提升学生坚持创新创造的激情和科学强国的决心。

(3) 实例

(3) 实例	
教师活动	学生活动
<p>(1) 在讲解实验仪器时,从诺贝尔物理学奖切入,叙述诺贝尔物理学奖大多与仪器有关,迈克尔逊干涉仪就是其中经典的通过仪器获得诺贝尔奖的实例。迈克尔逊干涉仪是 1881 年美国物理学家迈克尔逊和莫雷合作,为研究“以太”漂移而设计制造出来的精密光学仪器,因为该仪器的发明,迈克尔逊获得了 1907 年诺贝尔物理学奖。通过一系列诺贝尔物理学奖实例传递诺贝尔奖精神,激励学生不断创新的热情。</p> <p>诺贝尔物理学奖被普遍认为是在物理学领域能够取得的最高荣誉,截至 2022 年,诺贝尔物理学奖已经颁发 116 次,有 222 位获得者。讲解诺贝尔物理学奖大多是与研制科学仪器相关的奖。许多诺贝尔物理学奖仪器被广泛应用于物理实验教学,比如迈克尔逊-迈克尔逊干涉仪实验;密立根-密立根油滴实验;爱因斯坦-光电效应实验;肖洛-激光光谱仪实验;罗雷尔-扫描隧道电子显微镜实验;等等。</p>	<p>聆听讲解,观看图片,观看 PPT。</p>

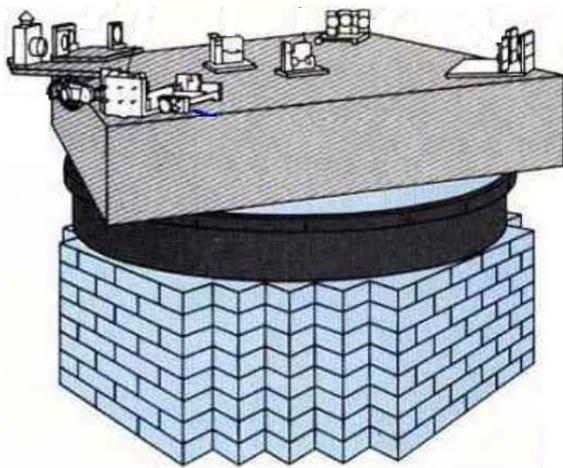


教学过程中融入诺贝尔奖精神等“全球关切”课程思政元素。

(2) 在讲解背景知识时，从迈克尔逊和迈克尔逊干涉仪实验的故事作为切入点-叙述伟大的科学家迈克尔逊科研事迹，学习迈克尔逊科学实验的态度。

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。

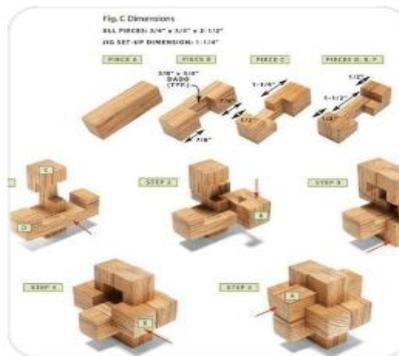
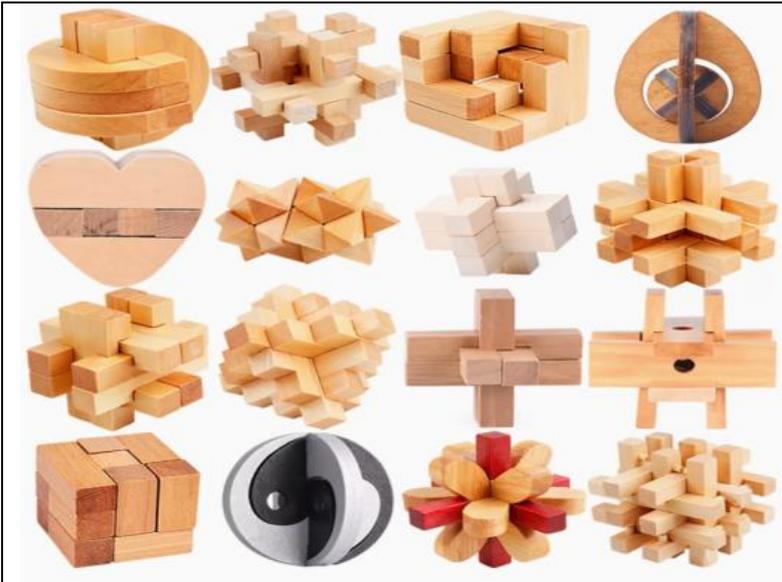


教学过程中融入了科学家精神等“道德修养”课程思政元素。

(3) 在讲解等倾干涉条纹形成机理时，从孔明锁（鲁班锁）切入，通过图解方法，引入等倾干涉和等厚干涉概念，告知学生学习知识需要有一定的空间想象力，才能更好地领会相关原理和知识。同时，通过介绍孔明锁展示了中国传统文化和科学技术的魅力，激发学生的爱国情怀。

聆听讲解，观看实验挂图、观看 PPT、思考提问、师生互动。

聆听讲解，观看图片、观看 PPT、思考提问。



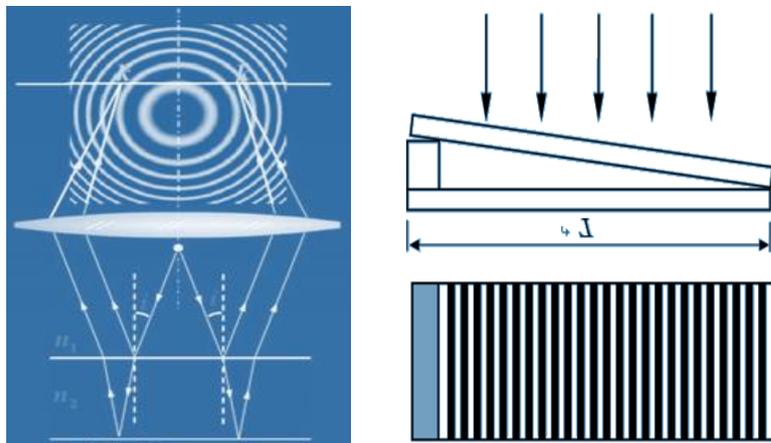
诸葛亮（181年—234年），字孔明，号卧龙，琅琊阳都人，三国时期蜀汉丞相，中国古代杰出的政治家、军事家、发明家、文学家。曾发明木牛流马、孔明灯等，并改造连弩，叫做诸葛连弩，可一弩十矢俱发。诸葛亮一生“鞠躬尽瘁，死而后已”，是中国传统文化中忠臣与智者的典型代表人物。

孔明锁，也叫八卦锁、鲁班锁，是中国古代民族传统的土木建筑固定结合器（榫卯结构），也是广泛流传于中国民间的智力玩具。它不用钉子和绳子，完全靠自身结构的连接支撑，就像一张纸对折一下就能够立得起来，展现了一种看似简单，却凝结着不平凡的智慧。2021年10月18日，夏焱打破了最快时间组装孔明锁(鲁班锁)项目吉尼斯世界纪录，用时5.37秒。



2014年10月召开的中德经济技术论坛上，李克强总理将一个精

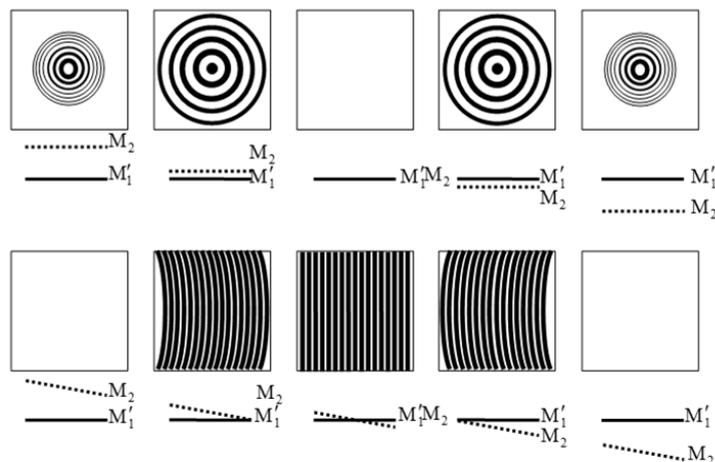
巧的孔明锁送给德国总理默克尔。李克强说，这是天津中德职业技术学院师生共同创作的作品，希望送给默克尔总理，解开孔明锁就是解决一道难题，相信中德之间的合作能不断创新，共同破解世界性难题，开启美好的未来。“孔明锁”也代表的是一种“工匠精神”。“中国制造”要实现转型升级、由大变强，弘扬“工匠精神”是核心要义之一。



光的分振幅干涉包括等倾干涉和等厚干涉，等厚干涉指光线垂直入射，薄膜等厚处干涉情况一样。如劈尖在空气中时，干涉条纹是等间距的直条纹。等倾干涉指薄膜厚度均匀，以相同倾角 i 入射的光的干涉情况一样。干涉条纹是同心圆环。学生们可以通过两张示意图更好地理解这两个概念。

教学过程中融入了类比法哲学理念，以及传递中国传统技艺和提高思维能力等“家国情怀”和“道德修养”课程思政元素。

(4) 在讲解如何根据干涉条纹调节仪器时，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，让学生科学地调节迈克尔逊干涉仪，特别是如何根据图像现象来调节仪器，不能有半点马虎。学习唐孝威院士做了四十年实验的科学实验精神，学生要做好实验就需要这种几十年如一日的精神。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。



在讲解通过迈克尔逊干涉仪观察到干涉条纹变化图调节实验仪

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。

器的时候，关注科学实验的主要性，以唐孝威科学实验四十年作为切入点，展开叙述。

唐孝威是浙江大学老师，参加了中国原子弹、氢弹的研究、试验，在中子点火实验和核试验物理诊断等方面作出贡献，是确证中子点火技术成功的第一人，同时也是判断并证实中国氢弹原理成功的第一人。唐孝威在 40 多年科学生涯中，曾参加中国“两弹一星”研究工作，不仅在物理学领域成就卓著，而且在开展物理学与生物学、医学、心理学等交叉学科研究方面也颇有建树。他的这种不断探索创新的精神和跨学科研究的能力必将激励浙江大学相关学科的发展和建设，推动交叉学科人才的培养。



《唐孝威科学实验四十年》(中国科学技术大学出版社)，以唐孝威科学实验四十年 的经历为线索，从一些侧面反映 20 世纪下半期，中国科学家群体为发展祖国科技事业而艰苦奋斗的事迹和业绩。唐孝威是中国的原子科学家之一。他还在物理学的不同分支领域中进行实验。他又是核探测技术专家，他是实验高能物理学家，他同时又在生物学领域中进行实验，他还从事脑科学研究和核医学研究。

下面是《唐孝威科学实验四十年》的目录

前言

第一章 艰难困苦玉汝成——青少年时代的学习和成长

一、苦难的童年

二、难忘的“南模”岁月

三、火红的青春

四、在清华园里成长

第二章 筚路蓝缕赤子心——研究和发 展核探测器

一、在新中国核研究中心艰苦创业

二、杜布纳的一位中国青年科学工作者

三、为发展和应用核探测器作贡献

四、提出超高分辨率的核径迹探测器原理

第三章 大漠无垠腾红日——让蘑菇云在东方升起

一、“忆往昔峥嵘岁月稠”

<p>二、向朱光亚报到</p> <p>三、草原上的“狂欢节”</p> <p>四、瑰丽的蘑菇云第一次在东方升起</p> <p>五、再一次震惊世界</p> <p>第四章 胶子有踪报佳音——在微观世界的科学前沿</p> <p>一、中国向西方派出的第一个科学实验组</p> <p>二、马克-杰组的日日夜夜</p> <p>三、胶子的发现</p> <p>第五章 探幽索微君真健——立足国内进行高能物理国际合作实验</p> <p>一、立足国内进行国际合作实验</p> <p>二、世界上最大的高能物理实验组</p> <p>三、北京组的贡献</p> <p>四、Z物理的研究和中微子种类数的确定</p> <p>第六章 物理世界万里行——在物理世界众多领域中进行实验研究</p> <p>一、量子力学实验</p> <p>二、非加速器粒子物理实验</p> <p>三、原子核物理实验</p> <p>四、原子物理实验</p> <p>五、团簇物理实验</p> <p>六、等离子体物理实验</p> <p>七、凝聚态物理实验</p> <p>八、关心物理学其它分支领域的工作</p> <p>第七章 远索太空九天外——向极大尺度的物理世界进军</p> <p>一、测量空间辐射剂量</p> <p>二、在卫星上记录原初宇宙线</p> <p>三、寻找暗物质</p> <p>四、参加探测反物质实验</p> <p>第八章 近究生命纳米深——对生命世界的探索</p> <p>一、液态物理实验</p> <p>二、活细胞内部微粒的运动</p> <p>三、花粉细胞的顶端生长</p> <p>四、细胞的有丝分裂</p> <p>五、神经细胞中的轴浆转运</p> <p>六、促进物理学和生物学的交叉研究</p> <p>第九章 敢学华佗期济世——投身核医学和脑科学的研究</p> <p>一、着手进行物理学和医学的交叉研究</p> <p>二、致力于核医学的研究</p> <p>三、开展脑功能成像的研究</p> <p>四、进行短时记忆的研究</p> <p>第十章 遍栽桃李献人民——教书育人，为人师表</p> <p>一、热心教育工作</p> <p>二、热忱培养青年</p>	
---	--

3 基本原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

光的相干条件

- 频率: $f_1 = f_2$
- 振动方向: $\vec{A}_1 // \vec{A}_2$
- 相位差: $\phi_1 - \phi_2 = C$

3 基本原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

两种获取相干光途径

分波阵面法:
菲涅尔双透镜
杨氏双缝
光栅

分波阵面法是将点光源的波阵面分割为两部分,使之分别通过两个光路,经反射后在一定区域形成干涉。由于波阵面上任一部分都可看作新光源,而且同一波阵面的各个部分有相同的位相,所以这些光源的初位相差是恒定的。

分振幅法:
迈克尔逊干涉仪
牛顿环

分振幅法是在透明介质表面上通过反射和透射分离出两束相干光,各束得到的光强比先前小了,故也可以说是振幅被分割了。

3 基本原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

两种光的分振幅干涉

等厚干涉: 指光线垂直入射,薄膜等厚处干涉情况一样。如针尖在空气中时,干涉条纹是等间距的直线条。

等倾干涉: 指薄膜厚度均匀,以相同倾角入射的光的干涉情况一样。干涉条纹是同心圆环。

3 基本原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

等倾干涉-光程差计算公式

两列相干光波的光程差为:

$$\delta = 2d \cos \theta$$

对于第 k 级条纹,则有:

$$2d \cos \theta_k = k\lambda$$

当 d 一定时,光程差只决定于入(出)射角 θ ,干涉条纹是一系列与不同倾角 θ 相对应的明暗相间的同心圆环条纹。

3 基本原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

等倾干涉-光波波长计算公式

若中心处 ($\theta=0$) 为明条纹,则: $\delta_1 = 2d_1 = k_1 \lambda$
若改变光程差,使中心仍为明条纹,则: $\delta_2 = 2d_2 = k_2 \lambda$
那么可得: $\Delta d = d_2 - d_1 = \frac{1}{2}(\delta_2 - \delta_1) = \frac{1}{2}(k_2 - k_1)\lambda = \frac{1}{2} \Delta k \lambda$
由此可见,只要测出干涉仪中 M_2 移动的距离 Δd ,并数出相应的“吞吐”环数 Δk (教材上 ΔN),就可求出 λ 。

$$\lambda = \frac{2\Delta d}{\Delta N}$$

4 实验内容 EXPERIMENT CONTENT

- 迈克尔逊干涉仪调整;
- 测量钠光波长。

4 仪器调整 EXPERIMENT CONTENT

迈克尔逊干涉仪应用

用迈克尔逊干涉仪可以观察各种类型的条纹特征表

种类	光源	条纹位置	观察方式	
定域干涉	非定域干涉	点光源	任意位置	观察屏
	等厚干涉	扩展光源	无穷远	眼睛直接观察

定域干涉: 当光源为扩展光源时,干涉条纹都有一定的位置。对于等倾干涉,定位于无穷远;而对于等厚干涉定位于镜面附近(即薄膜干涉中薄膜表面附近)。

非定域干涉: 两点光源向空间发射球面波,这些波在相遇的空间处处干涉。

4 仪器调整 EXPERIMENT CONTENT

迈克尔逊干涉仪

迈克尔逊干涉仪构造原理
它主要由精密的机械传动系统和四片精磨磨制的光学镜片组成。a和d是两块几何形状、物理性能相同的互相平行的平面玻璃,其中a的第二面镀有半透明铂膜,称为分光板,它可使入射光分成振幅(或光强)近似相等的一束透射光和一束反射光。c起补偿光程作用,称为补偿板。b和f是两块反射镜, b固定在仪器上,称为固定反射镜,装在可导轨前后移动的拖板上, b称为移动反射镜。

4 仪器调整 EXPERIMENT CONTENT

迈克尔逊干涉仪光路图

从光源S发出的一束光线射到分光板P1上,P1的后表面镀有半透明铂膜,它将入射光分成振幅近似相等的二束光。
这二束光分别射向互相垂直的全反射镜M1和M2,经M1和M2反射后又汇于分光板P1。
这二束光为相干光,所以我们在E的方向观察到干涉条纹。
P2为补偿板,其物理性能和几何形状和P1一样,但不镀反射膜,它的引进使二束相干光的光程差完全与波长无关,且保证了光束1和光束2在玻璃中的光程完全相等,因而对不同的光波都完全等效M1等效M2。
在图中,M'1是反射镜M1经P1反射后所成的虚像,从E处有二束光是从M1和M'1反射回来。
因此在迈克尔逊干涉仪中产生的干涉与M1和M'1之间空气膜产生的干涉是一样的。

干涉条纹每冒出或收缩一圆,光镜移动半个波长大小。

4 仪器调整 EXPERIMENT CONTENT

通过迈克尔逊干涉仪观察到干涉条纹变化图调节实验仪器

唐孝威 中国科学院物理研究所 教授(博士),浙江大学物理学院教授、博士生导师

4 仪器读数 EXPERIMENT CONTENT

迈克尔逊干涉仪读数方法

读数时应注意如下几点:

(1) 在测量过程中微动手轮只能往一个方向转动。
 (2) 正式读数之前,微动手轮必须先转几圈,直到有圆环形状“陷入”或“涌出”现象出现为止,以便去除初始值,避免空程差的影响。
 (3) 实验数据常用差值法处理后再计算,以减小系统误差带来的影响。

4 辅助仪器 EXPERIMENT CONTENT

钠光灯

钠灯利用钠蒸气放电产生可见光的电光源。钠灯又分低压钠灯和高压钠灯。低压钠灯的工作蒸气压不超过几个帕。高压钠灯的放电电极集中在200.0帕头和500.6帕米的两条双D谱线上,它们非常接近人眼视觉曲线的最大值(555帕米)。故其光效率很高。高压钠灯的工作蒸气压大于0.01兆帕。高压钠灯是针对低压钠灯单色性大,显色性差,耗电量大等缺点而研制的。

4 实验内容 EXPERIMENT CONTENT

观察干涉圆环形状发生“涌出”或“陷入”现象。观察并记录每“涌出”或“陷入”50个干涉圆环条纹时,镜的前后移动位置。

$$\lambda = \frac{2\Delta d}{\Delta N}$$

5 数据处理 DATA PROCESSING

动镜位置 d_i (mm)	$\Delta d_i = \frac{d_{i+4} - d_i}{4}$ (mm)	$\lambda_i = \frac{\Delta d_i}{25}$ (nm)	$\bar{\lambda}$ (nm)

求A类不确定度。

5 注意事项 DATA PROCESSING

- 1、钠灯不能倒置,不能连续开关。
- 2、先判断M1反射片的位置(与M2比较),以免找不到干涉条纹。
- 3、读干涉条纹进出时人眼不能前后移动。
- 4、测量时,鼓轮只能往一个方向转动。
- 5、正式读数之前,微动手轮必须先转几圈,直到有圆环形状“陷入”或“涌出”现象出现为止,以便去除初始值,避免空程差的影响。

6 实验思考 EXPERIMENT INSPIRATION

进阶内容设计

- 1、迈克尔逊干涉在现代光学成像的应用等。
- 2、迈克尔逊干涉测量磁流体样品的折射率等。
- 3、利用迈克尔逊干涉仪完成其他物理量(折射率、压电陶瓷动态特性、滤光片单色性)等的测量。

高阶内容设计

- 1、设计性、开放性实验内容(包含前沿科研实验)。
- 2、测量物理量的新方法(如测量超短脉冲宽)。
- 3、在近物理实验中的应用(如傅里叶变换光谱仪的设计)等。
- 4、根据迈克尔逊干涉仪思想设计新仪器(如量子迈克尔逊干涉仪)。

Application of Michelson Interferometer

MANY THANKS

2. 挂图

迈克尔逊干涉仪的应用

实验简介

迈克尔逊与其合作者用迈克尔逊干涉仪进行了三项著名的实验，即测量光速、标准半尺及推断光电磁相结构。迈克尔逊运用它进行了大量的实验，动摇了经典物理的以太说，为相对论的提出奠定了实验基础。迈克尔逊干涉仪设计精巧，用途广泛，它属于多波长干涉仪的原型。

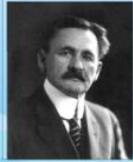
迈克尔逊干涉仪是利用分振幅法产生双光束以实现干涉的一种仪器。通过调整迈克尔逊干涉仪，可以产生等厚干涉条纹，也可以产生等倾干涉条纹。它主要用于长度精密测量、光学平面度检测和高分辨率的光谱分析等。

用迈克尔逊干涉仪可以观察各种类型的条纹特征表

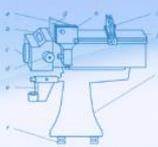
种类	光源	条纹位置	观察方式
非定域干涉	点光源	任意位置	观察屏
定域干涉	等倾干涉	无穷远	眼睛直接观察
	等厚干涉	视场附近	观察屏

背景知识

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、折射率和光波长的干涉仪（迈克尔逊干涉仪），在研究光谱学方面起着重要的作用。迈克尔逊精密光学仪器和理论对他在光谱学和原子物理学方面的研究工作中所作出的贡献，被授予了1907年诺贝尔物理学奖。



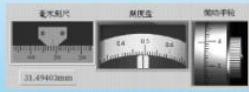
迈克尔逊干涉仪构造图



(a-分光板, b-读数窗口, c-粗调手轮, d-微调手轮, e-屏幕, f-显微镜, g-补偿板, h-M1固定反射镜, i-M2移动反射镜, j-粗主尺导轨, k-底座)

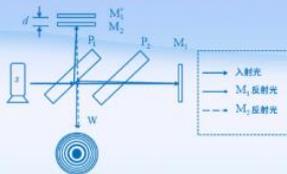
$$\Delta d = \Delta N \frac{\lambda}{2}$$

读数方法

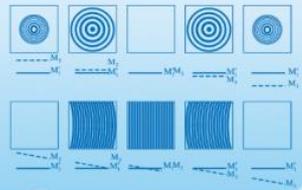


读数说明：第一个毫米刻度尺读到1mm；第二个读数窗口刻度读到0.01mm；第三个游标尺最小刻度为0.0001mm，估读到一位0.00001mm。

迈克尔逊干涉仪的光干涉原理示意图



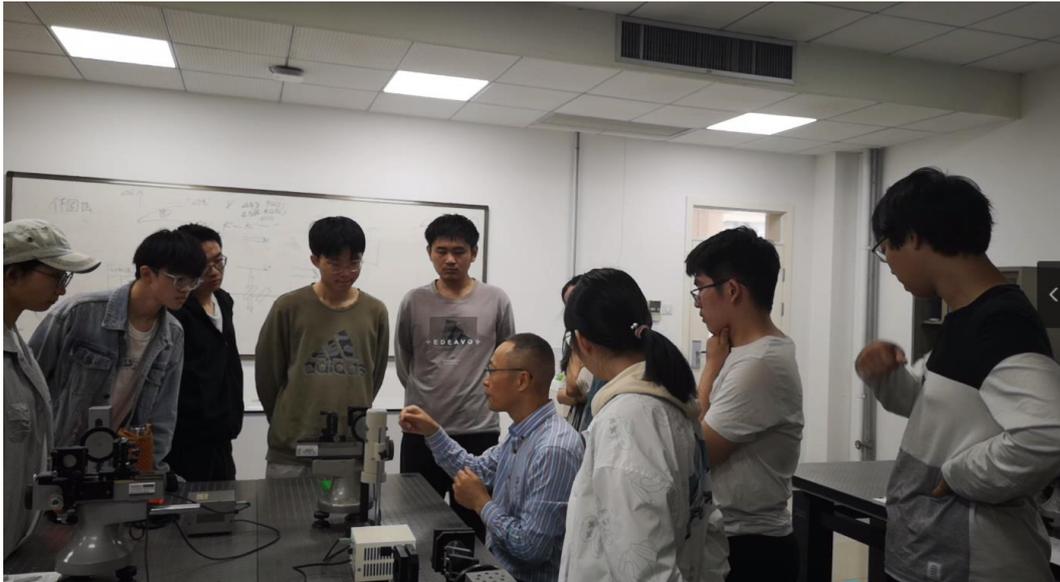
调整过程中条纹变化现象图



浙江大学 物理实验教学中心

3. 照片（授课现场）





3. 案例 3

(1) 教学内容

等厚干涉是由平行光入射到厚度变化均匀、折射率均匀的薄膜上、下表面而形成的干涉条纹，由于在可见光波段的干涉图样易于观察和测量，因而常常利用光的干涉法测量薄膜厚度、微小角度、曲面的曲率半径等几何量。本案例以等厚干涉法测量牛顿环实验装置中平凸透镜曲率半径和测量劈尖实验装置中薄膜厚度为例，在介绍光学知识体系时，突出中国传统文化对人类的贡献。在叙述“牛顿圈”是牛顿在制作天文望远镜时偶然将一个望远镜的物镜放在平板玻璃上发现的故事时，激起学生对科学家敬仰之情。在学生遇到条纹失真、仪器装置存在系统误差、直接测量比较困难等实验问题时，指导学生应秉承浙江大学求是创新精神，像浙大学长程开甲一样，为寻找最好的、可靠的实验数据，身临核爆炸境地，不达目的誓不罢休，最终找到解决相关问题的办法。在介绍本实验中使用的读数显微镜时，重点讲述了测量精度的重要性，用类比的方法介绍了不同精度的测量仪器，以及这些仪器的幕后功臣-制作仪器的工匠们和工匠精神。

(2) 融入点

1. 在介绍《墨经》上记载的中国古代对光的认识的历史背景时，融入“实践出真知”、“勤劳勇敢”、“博大精深”的中国传统文化，增强学生民族自豪感，培养学生热爱中国传统文化的激情，并激发学生对中国古代劳动者智慧的敬仰之情。青年人要有传承好中国传统文化的使命。

2. 在介绍牛顿和牛顿环实验的故事时，融入“科学家精神”，告诉学生“科学是无国界”的道理，无数的科学发明都来源于不断的实践和“刻意练习”，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。

3. 讲述浙大学子程开甲科学强国故事，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，只有全面分析才能更好地减小实验误差；融入求是创新精神，程开甲是浙江大学培养的卓越学子，是秉承浙大求是创新的最好诠释。通过介绍程开甲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。

4. 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

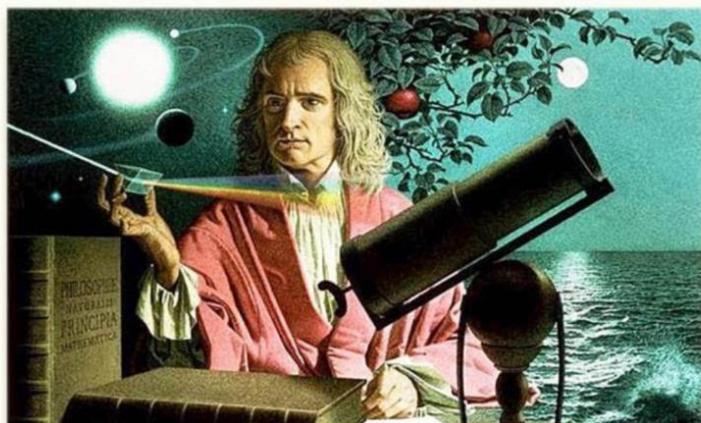
道理和一丝不苟的工匠精神。告诉学生科学是用来服务社会、服务人民的,越是困难的事情,越要像“高凤林”们一样,坚持不懈,用学到的科学知识来分析问题和解决问题,服务社会,报效祖国。

(3) 实例

教师活动	学生活动
<p>(1) 在讲解光学知识时,从中国古代光学历史的角度切入,叙述神奇的光学知识,传递中国传统文化的美,让学生徜徉在中国灿烂文化的海洋里,激发学生爱国情怀,激发学生为赓续中国传统文化努力学习、不断创新的热情。</p> <p>介绍光学知识,看如下图。</p> <div data-bbox="316 674 849 1070" data-label="Diagram"> <pre> graph TD A[光学] --> B[几何光学] A --> C[波动光学] A --> D[量子光学] C --> E[光的干涉] C --> F[光的衍射] E --> G[分波前干涉] E --> H[分振幅干涉] H --> I[等倾干涉] H --> J[等厚干涉] J --> K[牛顿环实验] J --> L[劈尖实验] </pre> </div> <p>在讲解光学知识时,切入中国古代《墨经》记录的光学实验。</p> <p>古人对光的认识来源于实践,由于光与人类的生活关系太密切了,所以人类凭借日常经验很早就积累了许多光的知识。公元前 400 多年,中国的《墨经》记录了世界上最早的光学知识,其中有影的定义和生成,光的直线传播、小孔成像实验、平面镜、凹面镜、凸面镜中物像关系等多条记载。无论从时间上还是就科学性而言,《墨经》都称得上是世界上最早的光学著作。</p> <div data-bbox="252 1406 1045 1751" data-label="Image"> </div> <p>教学过程中融入中国传统文化的美、热爱中国传统文化、热爱祖国等“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) 在讲解实验背景知识时,从牛顿与牛顿环实验的故事作为切入点,叙述伟大的科学家牛顿事迹,学习牛顿好学、勤奋和科学实验态度。</p> <p>牛顿是英国著名的物理学家,被誉为“近代物理学之父”,百科</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>

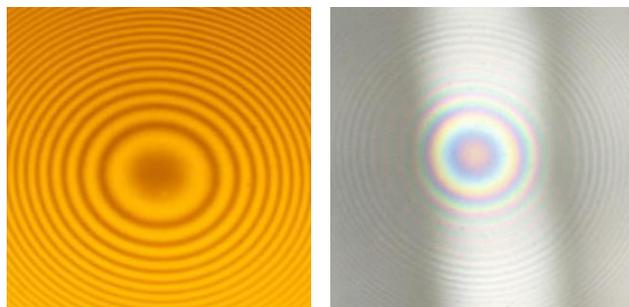
全书式的“全才”，著有《自然哲学的数学原理》、《光学》。他发明了反射式望远镜和光的色散原理，提出万有引力定律、牛顿运动定律、与莱布尼茨共同发明微积分，大大推动了科学革命。

牛顿从小就喜欢读书，对自然现象有好奇心，例如颜色、日影四季的移动，尤其是几何学。他喜欢分门别类地记读书笔记，又喜欢别出心裁地做些小工具、小技巧、小发明、小试验。用图片展示牛顿科学实验成果。



牛顿(1643~1727)本名艾萨克·牛顿(Isaac Newton)，是英国著名的物理学家、数学家、天文学家，也是近代科学家中最杰出的代表人物，是推动人类科学革命的关键人物，是世界上最伟大的科学家之一。

牛顿环是牛顿在制作望远镜时发现的光的干涉现象。

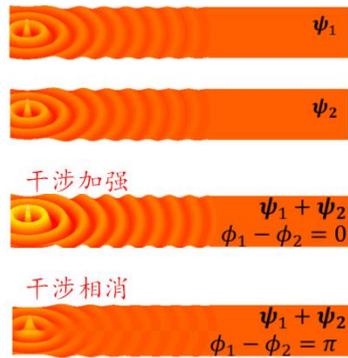


用牛顿环实验图片展示。加深学生对实验现象的了解。

教学过程中融入了科学家精神等“全球关切”课程思政元素。

(3) 在讲解干涉条件时，利用计算机生成的动画切入，生动模拟光的相干特性，激发学生实验兴趣，告诉学生要善于利用计算机模拟法分析复杂事物，计算机是当今最常用的工具，许多难以直接观察的事务，比如磁场、电场、光的干涉场，等，可以利用计算机动画形象描绘，从而解决问题。教会学生多元化分析方法。

聆听讲解，观看实验动画、观看PPT、思考提问、师生互动。



光的波特性主要是从光的干涉和衍射上反映的。光的相干条件有三个，分别是振动频率相同、振动方向相同、相位差恒定。满足光的相干条件的两束光相遇的区域内就会产生干涉现象。用动画生动模拟了光的相干特性，可以激发学生实验兴趣。

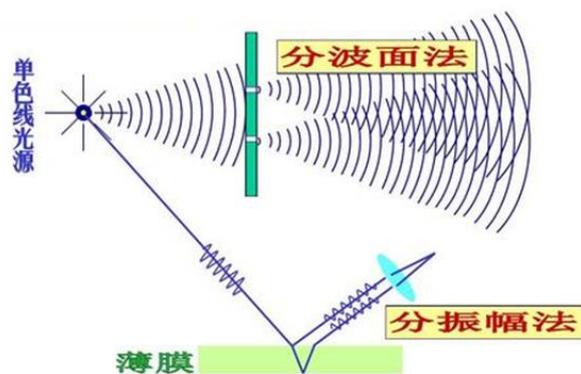
计算机动画可以直观地展示物理现象，可广泛用于实验教学，激发学生的实验兴趣。

教学过程中融入多元化思维能力等“道德修养”课程思政元素。

(4) 在讲解获取干涉光的途径时，从示意图切入，通过图解方法，引入等厚干涉概念，加深学生从宏观上了解等厚干涉原理，通过图解方法教会学生讲解概念要用类比的方法，学会用类比的方法解释科学知识，学会用宏观的、俯视的角度观察事物，从而解决困惑。

聆听讲解，观看实验示意图、观看 PPT、思考提问。

光的干涉中获得相干光的途径，常见的有：分波前法和分振幅法。分振幅法是在透明介质表面上通过反射和透射分离出两束相干光，各自得到的光强比先前小了，故也可以说是振幅被分割了。等厚干涉就是如此。分波前法是实现干涉的另一种方法。将点光源的波阵面分割为两部分，使之分别通过两个光具组，经反射、折射或衍射后交迭起来，在一定区域形成干涉。



图解法可以很好解读物理相关知识。

教学过程中融入了宏观认识等“道德修养”课程思政元素。

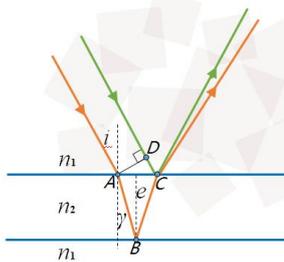
(5) 在分析光程差的计算方法时，从诺贝尔物理学奖大多是与实验仪器有关的研究成果作为切入点，讲解光程差实验简化计算公式，把理论公式步步推进变成实验仪器公式，从而获得实验仪器，提升学生学会科学思维方式，学习理论转化为实践的应用能力，强化学

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。

生“实践出真知”道理，告诉学生只有被实践证明、并被应用于实践的理论才是“真知灼见”。

用光路图分析光程差的计算方法，并推导出光程差的简化公式。告诉学生理论与实验的最大区别是，实验要可操作性、可展示性，所以实验要比理论更难，理论公式一定要简化到实验仪器可以测量的量，否则，没法进行实验。诺贝尔物理学奖大多是与实验有关的研究成果。霍金的许多观点没法用实验证明，所以没获得诺贝尔物理学奖。杨振宁和李政道的宇称不守恒被吴健雄用实验证明后，才获得诺贝尔奖的。所以“实践出真知”。

光程差数学表达式



两条光线的光程差

$$\Delta = n_2(AB + BC) - n_1CD$$

$$\begin{cases} AB = BC = \frac{e}{\cos\gamma} \\ CD = AC\sin\gamma = 2e \cdot \tan\gamma \cdot \sin\gamma \\ n_1\sin\gamma = n_2\sin\gamma \end{cases}$$

光程差

$$\Delta = 2n_2AB - n_1CD = 2n_2 \cdot e \cdot \cos\gamma$$

本次： $n_2 \approx 1$ ， γ 很小， $\cos\gamma \approx 1$ 。

$$\Delta = 2e$$



理论到实验，实验证明理论。

李政道和杨振宁因为宇称不守恒，获得诺贝尔物理学奖。宇称不守恒一般指宇称不守恒定律。宇称不守恒定律，是指在弱相互作用中，互为镜像的物质的运动不对称，由李政道和杨振宁提出、吴健雄用钴60验证。

1956年，李政道和杨振宁在深入细致地研究了各种因素之后，大胆地断言： τ 和 θ 是完全相同的同一种粒子(后来被称为K介子)，但在弱相互作用的环境中，它们的运动规律却不一定完全相同，通俗地说，这两个相同的粒子如果互相照镜子的话，它们的衰变方式在镜子里和镜子外居然不一样！用科学语言来说，“ $\theta - \tau$ ”粒子在弱相互作用下是宇称不守恒的。

吴健雄用两套实验装置观测钴60的衰变，她在极低温(0.01K)下用强磁场把一套装置中的钴60原子核自旋方向转向左旋，把另一套装置中的钴60原子核自旋方向转向右旋，这两套装置中的钴60互为镜像。实验结果表明，这两套装置中的钴60放射出来的电子数有很大差异，而且电子放射的方向也不能互相对称。实验结果证实了弱相互作用中的宇称不守恒。

<p>教学过程中融入了诺贝尔物理学奖与实验的紧密相关性，鼓舞学生用科学的方法做好实验，为将来开发研究仪器打下基础，融入了“道德修养”和“全球关切”课程思政元素。</p>	
<p>(6) 在讲解“科学测量和处理实验中挤压造成的误差的问题”时，从浙大学子程开甲科学强国故事切入，要学习程开甲科学地分析问题、解决问题的方法，以及他“靡故匪新”、“树我邦国”的浙大精神，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。</p> <div data-bbox="300 539 1038 965" data-label="Image"> </div> <p>通过上图可以知道，由于牛顿环实验装置中平凸透镜与平板玻璃之间不可能点接触，比如有灰尘或收到挤压，所以不能准确地测量条纹半径，为了解决这个问题，首先分析问题出在的原因，然后找到一种解决办法，这是一个科学的问题，本实验中一般采取两种科学的处理方法：一是，通过测量条纹直径的方法，规避找不到牛顿圈中心的问题；二是，对理论公式进行修正，即加上挤压或灰尘的影响系数 a，然后通过两公式相减的方法，消除了系数 a 的计算误差的影响，同时也解决了理论公式中必须知道 k 级条纹的 k 数值的问题。科学地解决了实验中存在的问题。</p> <p>程开甲是浙大的学子，他说过：“中国落后挨打的原因：科技落后；拯救中国的方法：科学救国。”所以他很重视实验科学方法，在研制核武器所需的各类仪器中，他总是亲力亲为，力求用科学的方法测量所有实验数据。为了获得一手数据、进一步改进仪器，他身先士卒，不顾个人安危，进入危险境地，采样实验数据。为我国的核武器建设作出了杰出贡献，因此他获得了6项国家级荣誉：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。</p>	<p>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。</p>



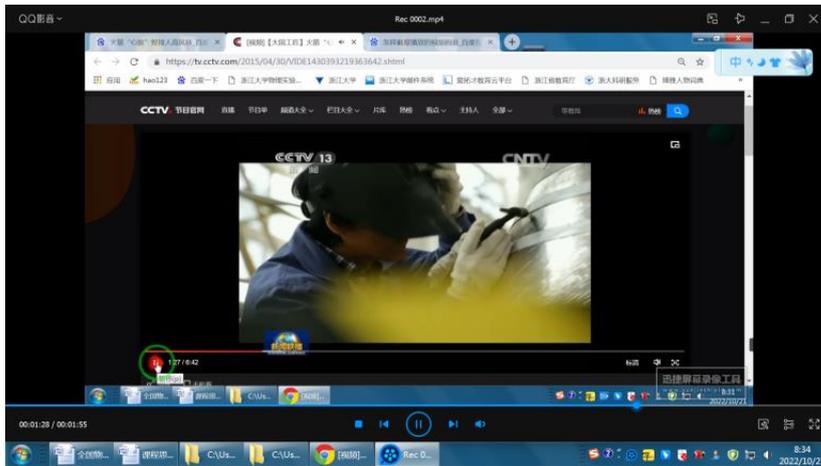
教学过程中融入了程开甲“靡故匪新”、“树我邦国”等“家国情怀”和“浙大精神”课程思政元素。

(7) 在讲解实验仪器精度时，从播放央视“大国工匠”纪录片作为融入点，在分析读数显微镜的测量精度时，解析不同精度仪器，步步深入，告诉学生实验测量要有“工匠精神”。

先讲解读数显微镜的精度，0.01mm 怎么来的，估读到哪一位，这样使用读数显微镜测量。介绍常见仪器的测量精度。比如，卷尺：10mm；米尺：1mm；游标卡尺：0.02mm；螺旋测微计：0.01mm；迈克尔逊干涉仪：0.0001mm；纳米尺： 10^{-6} mm。

从常见仪器讲到数控机床，数控机床是按数字信号形式控制的，数控装置每输出一脉冲信号，则机床移动部件移动一具脉冲当量（一般为0.001mm），而且机床进给传动链的反向间隙与丝杆螺距平均误差可由数控装置进行曲补偿，因此，数控机床定位精度比较高。

观看视频，观看PPT，思考提问，归纳总结。



从数控机床讲到大国工匠，告诉学生，任何时候人是第一位的。通过引导学生观看央视“大国工匠”记录片的报道视频-火箭“心脏”焊接人高凤林的故事，指引学生学习工匠精神、一丝不苟的工作态度。

教学过程中融入了工匠精神、精益求精、一丝不苟等“道德修养”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

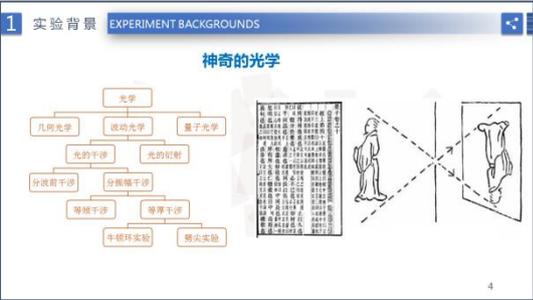
1. PPT (全部)

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





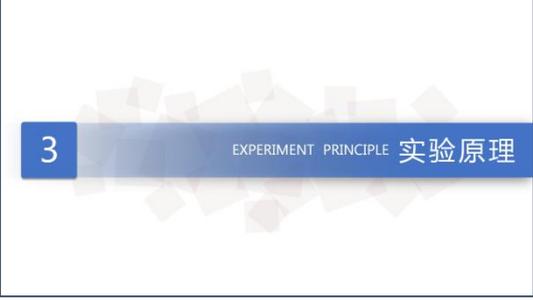












3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

光的干涉

光的相干条件：

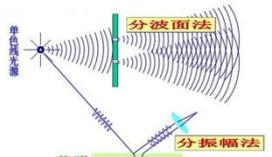
- 频率： $f_1 = f_2$
- 振动方向： $\vec{A}_1 // \vec{A}_2$
- 相位差： $\phi_1 - \phi_2 = C$



9

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

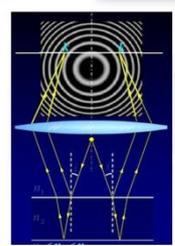
获得相干光的途径



10

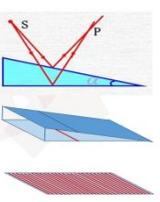
3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

分振幅法



➢ 等倾干涉

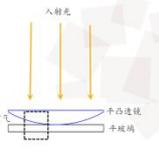
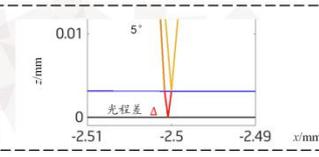
➢ 等厚干涉



11

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

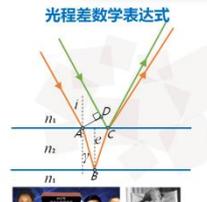
“牛顿环实验”-测量曲率半径

12

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

光程差数学表达式



两条光线的光程差

$$\Delta = n_2(AB + BC) - n_1CD$$

$$AB = BC = \frac{e}{\cos\gamma}$$

$$CD = AC \sin i = 2e \cdot \tan\gamma \cdot \sin i$$

$$n_1 \sin i = n_2 \sin\gamma$$

光程差

$$\Delta = 2n_2 AB - n_1 CD = 2n_2 \cdot e \cdot \cos\gamma$$

本次： $n_1 \approx 1, \gamma$ 很小, $\cos\gamma \approx 1$.

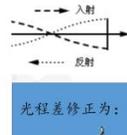
$$\Delta = 2e$$

13

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

半波损失及光程差修正

产生条件：光从光疏媒质进入光密媒质；
反射光中产生半波损失。



$n_1 < n_2$ 反射光存在半波损失

$n_1 > n_2$ 反射光无半波损失

而折射光都无半波损失

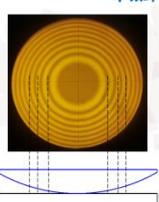
光程差修正为：

$$\Delta = 2e + \frac{\lambda}{2}$$

14

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

“牛顿环”中的干涉条件



$$\Delta = \begin{cases} 2k\frac{\lambda}{2} & \text{干涉相长, 亮} \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2} & \text{干涉相消, 暗} \end{cases} \quad (k \in \mathbf{N})$$

所以

$$\Delta = 2e + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda \\ (2k+1)\frac{\lambda}{2} \end{cases}$$

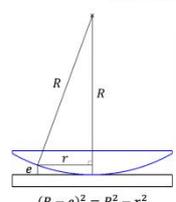
本次用暗条纹, 所以：

$$2e = k\lambda$$

15

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

平凸透镜半径计算的简化公式



$$R = \frac{r^2}{2e} \quad (R \gg e)$$

说明：因为e很小，所以e平方更小，可以忽略不计。

那么对第k级暗条纹： $2e_k = k\lambda$

$$R = \frac{r_k^2}{2e_k} = \frac{r_k^2}{k\lambda} \quad (k \in \mathbf{N})$$

$$(R - e)^2 = R^2 - r^2$$

16

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

“牛顿环”中心暗斑

问题一：中心暗斑找准

中心位置难测准：半径 \rightarrow 直径

$$R = \frac{r_k^2}{k\lambda} = \frac{D_k^2}{4k\lambda} \quad (k \in \mathbf{N})$$

问题二：挤压形变使 $r^2 - R$ 公式不能直接用

挤压形变再修正：
 $r'_m = m\lambda R + a$
 $r'_n = n\lambda R + a$

1. 相对暗条纹
2. 直径 $D \ll \lambda$ 时， $a \approx 0$ ， $r^2 - R$ 公式可用

浙大子-程开甲

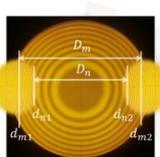


程开甲院士在《科学》杂志撰文指出，牛顿环实验是物理学史上一个重要的实验。程开甲院士在《科学》杂志撰文指出，牛顿环实验是物理学史上一个重要的实验。程开甲院士在《科学》杂志撰文指出，牛顿环实验是物理学史上一个重要的实验。

17

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

测量平凸透镜曲率半径实验公式



$$r_m^2 = m\lambda R + a$$

$$r_n^2 = n\lambda R + a$$

用直径 $D/2$ 代替 r ，两式相减，得到：

$$R = \frac{D_m^2 - D_n^2}{4(m-n)\lambda} \quad (m, n \in \mathbf{N})$$

18

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

“劈尖实验”-测量薄膜厚度

$$e = N\lambda / 2$$

$$N = nL / e$$

$$e = nL \frac{\lambda}{2}$$

n 为单位长度上的明条或暗条的数目

$$n = \frac{10}{\Delta S}$$

$$\Delta S = S_{x+10} - S_x \quad x \in (1, 2, 3 \dots)$$

19

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

干涉条纹校正方法

根据公式判断，并校正。 $e = N\lambda / 2$

20

4 EXPERIMENT CONTENT 实验内容

4 实验内容 EXPERIMENT CONTENT

读数显微镜

精度：0.01mm，估读到：0.001mm

卷尺：10mm。
米尺：1mm。
游标卡尺：0.02mm。
螺旋测微计：0.01mm。
迈克尔逊干涉仪：0.0001mm。
纳米尺：10⁻⁹mm。

22

4 实验内容 EXPERIMENT CONTENT

消除视差影响方法

正视差
零视差
负视差

23

4 实验内容 EXPERIMENT CONTENT

消除空程差影响方法

为减小读数显微镜空程差的影响，应采取如下措施：

- (1) 在测量过程中读数显微镜的鼓轮只能往一个方向转动。
- (2) 正式读数之前，鼓轮必须先转几圈，以便去除初始值。
- (3) 实验数据常用逐差法处理，以减小系统误差带来的影响。
- (4) 计算条纹间距，对误差较大的数据进行异值处理。

24

4 实验内容 EXPERIMENT CONTENT

“牛顿环”实验内容

25

4 实验内容 EXPERIMENT CONTENT

“劈尖”实验内容

26

5 DATA PROCESSING 数据处理

5 数据处理 DATA PROCESSING

逐差法计算 A类不确定度

测量号 i ($k=1$)	标尺读数 $d_{左}$ (mm)	标尺读数 $d_{右}$ (mm)	直径 $d_{左} - d_{右}$ (mm)	直径平方 $d_{左}^2 - d_{右}^2$ (mm ²)	粗糙度平方 R^2 (mm ²)
120					
110					
100					
90					
80					
70					
60					
50					
40					
30					
20					
10					

28

5 数据处理 DATA PROCESSING

逐差法计算 A类不确定度

标尺读数 s_i (mm)	标尺读数 s_{i+10} (mm)	$s_{i+10} - s_i$ (mm)	e (mm)
$s_1 = \dots$	$s_{11} = \dots$	$s_{11} - s_1 = \dots$	\dots
$s_2 = \dots$	$s_{12} = \dots$	$s_{12} - s_2 = \dots$	\dots
$s_3 = \dots$	$s_{13} = \dots$	$s_{13} - s_3 = \dots$	\dots
$s_4 = \dots$	$s_{14} = \dots$	$s_{14} - s_4 = \dots$	\dots
$s_5 = \dots$	$s_{15} = \dots$	$s_{15} - s_5 = \dots$	\dots
$s_6 = \dots$	$s_{16} = \dots$	$s_{16} - s_6 = \dots$	\dots
$s_7 = \dots$	$s_{17} = \dots$	$s_{17} - s_7 = \dots$	\dots
$s_8 = \dots$	$s_{18} = \dots$	$s_{18} - s_8 = \dots$	\dots
$s_9 = \dots$	$s_{19} = \dots$	$s_{19} - s_9 = \dots$	\dots
$s_{10} = \dots$	$s_{20} = \dots$	$s_{20} - s_{10} = \dots$	\dots

29

6 EXPERIMENT INSPIRATION 实验思考

6 实验思考 EXPERIMENT INSPIRATION

光源的相干长度

- 相干长度 $\Delta x = \frac{c}{\Delta\nu} \approx \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$, 其中 c 为光速, $\Delta\nu$ 为谱线线宽, λ 为波长。
- 采用的是低蒸汽压钠灯, 单色性好, 为黄色。原子双D谱线, 波长分别为 589.0nm 和 589.6nm 。一般认为谱线波长为均值 589.3nm , 线宽较宽。
- 钠灯的相干长度约 0.58mm 。

31

6 实验思考 EXPERIMENT INSPIRATION

读数显微镜简化光路

- 人眼最小分辨角约为 1 角分, 0.003 弧度 (瑞利判据 $\theta_m = \frac{1.22\lambda}{D}$)
- 显微镜对应的观察距离约 25 厘米, 视角放大率为 30 倍
- 由此, 借助显微镜分辨最小线度约 2.5 微米, 比测微轮数最小分度 10 微米略小

视角放大率: $30\times$

32

文献目录 BIBLIOGRAPHY

参考文献

- [1] 李海祥, 等. 大学物理实验 [M]. 高等教育出版社 (2014)
- [2] 杨勇, 郭长立, 等. 基于图像处理的新干涉力测量方法 [J]. 实验研究与探索, 2017 (8)
- [3] 郑晓刚, 向少华, 等. 光源的相干性对牛顿环干涉条纹的影响 [J]. 物理实验, 30, 2010 (8)
- [4] 郭天葵, 周述基, 等. 牛顿环干涉实验问题探究 [J]. 大学物理实验, 27, 2014 (2)
- [5] Teyssier, Jérémie, et al. Photonic crystals cause active colour change in chameleons [J]. Nature Communications, 2015, 6:6368
- [6] Smith G S. Structural color of Morpho butterflies [J]. American Journal of Physics, 2009, 77(10):1010-1015
- [7] [https://en.m.wikipedia.org/wiki/Newton's Rings](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Newton%27s_Rings), etc.

33

谢谢!

2022.09.01
Newton's Rings

MANY THANKS

2. 挂图

等厚干涉

实验简介

等厚干涉是由平行光入射到厚度变化均匀、折射率均匀的薄层上, 下表面形成的干涉条纹。它由光程差和干涉级次的结果。在薄层厚度相等的地方形成同一级次的干涉条纹, 故称等厚干涉。由于在可见光波段的干涉图样易于观察和测量, 因而常常利用光的干涉法测量薄层厚度、微小角度、曲面的曲率半径等几何量。“牛顿环”和“劈尖”是其非常典型的例子。

利用牛顿环测量平凸透镜曲率半径原理示意图

透镜曲率半径计算公式: $R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{(m-n)\lambda} = \frac{d_m^2 - d_n^2}{4(m-n)\lambda}$

利用劈尖测量微小厚度原理示意图

薄层厚度计算公式: $e = nL \frac{\lambda}{2}$

获取相干光的途径

注意事项

1. 钠光灯需预热, 不能直置。
2. 待测平凸透镜的凸面与平玻璃板处于自由状态。
3. 调整45度反射平面玻璃, 使入射光近乎垂直入射。
4. 为避免空程误差, 读数显微镜测微轮只能往一个方向转动。
5. 目镜中十字叉丝的精丝应与读数显微镜主标尺平行。

浙江大學 物理实验教学中心

3. 照片 (授课现场)



4. 案例 4

(1) 教学内容

光速测量方法和精确度的每一点提高都反映和促进了相应时期物理学的发展。许多科学家采用不同手段对光速进行了测量，特别是以光速测定为终身目标的迈克尔逊。迈克尔逊自己设计了旋转镜和干涉仪，用以测定微小的长度、折射率和光波波长，1882 年，他得到的光速为 299853 ± 6 千米 / 秒，这个结果被公认为国际标准，沿用了 40 年。光速的测量方法很多，如克尔盒法、空腔共振法、相位差法、调制法、光纤法，等等。本实验利用周期光调制信号测光速，实现原理简单、易懂，只要改变很短的光程差，就能明显地在示波器上显示光信号与参考电信号的相位差，然后代入公式就能算出光的速度值。本案例以调制法测量光

速为例，在介绍光的特性和光速测量历程时，突出说明了事物发展变化是绝对的道理，激发学生要不断创新的热情。在叙述伽利略测量光速的故事时，融入了科学家精神和科学实验精神。在讲解示波器的前世今生时，叙述任何科学仪器都不肯尽善尽美，需要不断完善，只要不断改进，才能为社会的发展添砖加瓦，服务人类。在讲解晶体振荡器时，叙述中国芯片的反战历程，告知学生关键技术需要掌握在我们自己手里，才能不被人家卡脖子。青年人要有科技强国的使命感。

(2) 融入点

1. 在介绍光的特性和光速测量历程时，融入了事物发展变化是绝对的道理，激发学生要不断创新的热情。
2. 在介绍测量光速第一人伽利略的故事时，融入了科学家精神和科学实验精神。
3. 在讲解示波器的前世今生时，融入了任何科学仪器都不肯尽善尽美，需要不断完善，只要不断改进，才能为社会的发展添砖加瓦，服务人类。
4. 在讲解晶体振荡器时，叙述中国芯片的发展历程，融入了青年人要有科技强国的使命感、科技强国的道理。

(3) 实例

(3) 实例	
教师活动	学生活动
<p>(1) 在讲解光学知识时，从光的发展历程（牛顿的波粒说、惠更斯的波动说、波粒二象性、爱因斯坦的光子说）切入，叙述光的速度的引入和重要性。说明了事物发展变化是绝对的道理，科学探究永不停息。激发学生要不断创新的热情。</p> <p>17 世纪，科学家开始探索光的本性。最早的理论是以牛顿为代表提出的微粒说，认为光是按照力学定律运动的微小粒子流。但和牛顿同时代的惠更斯于 1687 年首先提出光的波动说，他认为光是在一种特殊的弹性介质“以太”中传播的机械波。到 19 世纪初，托马斯·杨和菲涅尔等人研究了光的干涉、衍射现象，初步测定了光的波长，发展了光的波动理论，并根据光的偏振现象确定了光是横波。（后来爱因斯坦发展光电效应，证实了光的波粒二象性。）对光的波动说有进一步推动作用的是光速测量。19 世纪中叶，许多人用不同方法对光速进行测量，其中重要的结果有 1849 年斐索测得光速为 3.14×10^8；1850 年傅科测得 2.9836×10^8。</p>	<p>聆听讲解，观看图片，观看 PPT。</p>



牛顿
微粒说



惠更斯
波动说



爱因斯坦
光子说

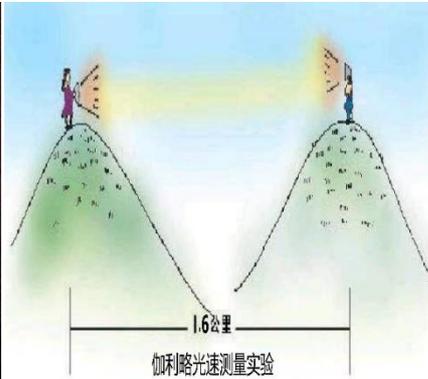
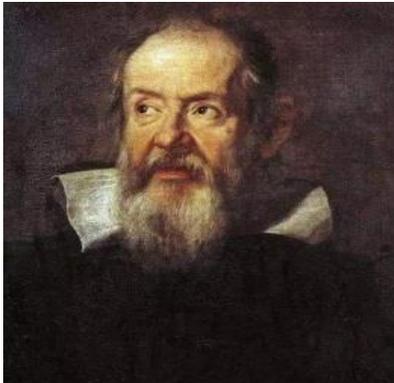
光既是粒子，
又是电磁波，
具有波、粒双
重特征。

古希腊哲学家赫拉克利特有句名言：“一切皆流，无物常驻”。在日常生活中人们也经常说，“要用发展变化的眼光看问题。”辩证唯物主义认为，客观事实处于不停的发展变化之中，静止是相对的，运动是绝对的，发展变化是绝对的，停顿是相对的。所以对以往的知识要相信但是不要迷信，随着科学技术的进步，新知识就会充实或更替旧知识。学生需要用发展的眼光看待任何事物。

教学过程中融入“发展变化是绝对的”道理，等“道德修养”和“全球关切”课程思政元素。

(2) 在讲解实验背景知识时，从测量光速第一人伽利略的故事切入，叙述光的速度测量的历程。融入了科学家精神和科学实验精神。

聆听讲解，观看图片，观看PPT。



伽利略，意大利天文学家、物理学家和工程师。伽利略被称为“观测天文学之父”、“现代物理学之父”、“科学方法之父”、“现代科学之父”。伽利略研究了速度和加速度，重力和自由落体，相对论，惯性，弹丸运动原理，并发明了温度计和各种军事罗盘，并使用用于天体科学观测的望远镜。

伽利略是意识到光有速度的第一人，并第一个测量光速的科学家。伽利略观察了闪电现象，认为光速是有限的，并设计了测量光速的掩灯方案：他让 A、B 两个人分别站在相距 1.5 千米的两座山的山顶，想利用两个山头看到灯光的时间差来测算光速。但由于间隔的时间太短了，根本无法精确测出。最终，伽利略的实验以失败告终，但他却开启了人类测量光速的真理之门。

教学过程中融入科学家精神等“道德修养”课程思政元素。

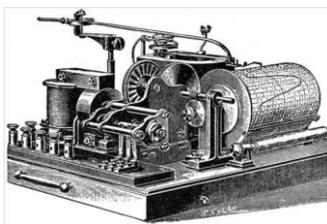
(3) 在讲解示波器时,从示波器的前世今生作为切入点,叙述任何科学仪器都不肯善尽美,需要不断完善。只要不断改进,才能为社会的发展添砖加瓦,服务人类。

示波器的前世今生:1869年,希托夫(Johann Wilhelm Hittorf)发现阴极射线。1880年,爱迪生重新发现热电发射效应。1897年,汤姆森(Joseph John Thomson)首次提出电子(corpuscle)的概念。1897年,布劳恩(Karl Ferdinand Braun)发明了基于阴极射线管CRT的示波器。1899年,泽纳克(Jonathan Zenneck)在CRT中装入扫描磁场。Cathode-ray tube。1930年前后,A.C. Cossor公司推出第一台双踪CRT示波器。1980年前后起,数字示波器的发明推广,取得优势。1990-2000年末期,Nicolet和HP公司推出了基于个人电脑的数字示波器。

(1)人类早期对于电和磁的感知是通过琥珀、磁石对于小的绝缘物品或者铁器的吸引来感知的。当时认为电和磁是两种不关联的物理现象。这种方法只能定性的测量电磁信号是否存在,无法精细得到信号的定量的关系。



(2)第一个真正的全自动电流信号绘制装置是由法国工程师Hospitalier在1902年发明的,被称为Hospitalier波形记录器。该装置通过驱动一个铅笔在滚筒表面的纸上绘制信号波形。由于是通过机械传动绘图,所以无法对变化速度快的电流信号进行实时测量,只能测量一些低频信号。



(3)在19世纪末期,德国物理学家Karl Ferdinand Braun就已经发明了实验室中使用的阴极射线管示波器,并研究了电子的行为。阴极射线管的发明和随后的商业化应用促使了早期第一个示波器的诞生。1932年,英国电子公司A.C. Cossor基于上述原理开发了商用示波器设备。使用充电电极产生的电场可以驱动运动电子束的偏移,并在表面涂有发光磷化物平面上形成可见波形轨迹。



(4)早期的示波器体宽重沉,功耗巨大的原因来自于它的核心电路是基于电子管电路的。后来的HP公司和LeCroy公司相继提供了改进后的产品。1969年,HP公司的HP1980A型示波器问世,是一台全晶体管的示波器,频带宽度为500kHz。



(5)Tektronix公司的Hiro Moriyasu工程师发明了数字示波器。Lecroy公司在1971年发布的WD2000型是一台全数字示波器。它能存

聆听讲解,观看实验挂图、观看PPT、思考提问、师生互动。

储 20 个采用数据，采用时间为 1ns。

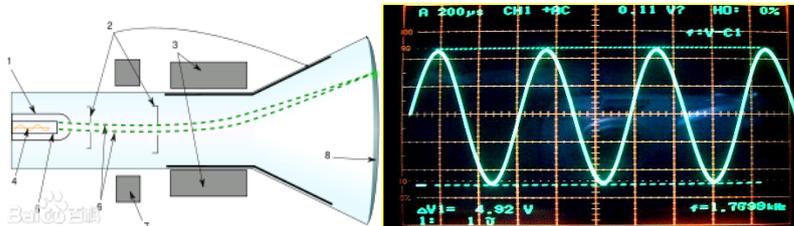
(6) 当今示波器的发展速度几乎令人难以跟随。从上个世纪三十年代到八十年代，示波器在测量精度，速度，便携性和价格方面都有了很大的改进。比如 Tektronix 的



MD0300 型示波器，就是一个六合一功能的测量工具，它包括示波器、数字万用表、频谱分析仪、逻辑分析仪、通信协议分析仪以及信号函数发生器等。



本实验用的电子示波器能够简捷地显示各种电压的信号波形，并且还可以对一切可以转化为电压的电学量（如电流、电功率、阻抗等）和某些非电学量以及它们随时间变化的过程进行观察，因此示波器是使用最广泛的电子仪器，学会它的使用是十分有用的。



教学过程中融入了科学探索是永无止境的等“道德修养”课程思政元素。

(4) 在讲解实验电路图时，从晶体振荡器与芯片切入，引入调制法测量光速原理示意图，告知学生关键技术需要掌握在我们自己手里，才能不被人家卡脖子。青年人要有科技强国的使命感。

光速测量实验中主要运用了晶体振荡器，用于产生 100MHz 和

聆听讲解，观看图片、观看 PPT、思考提问。

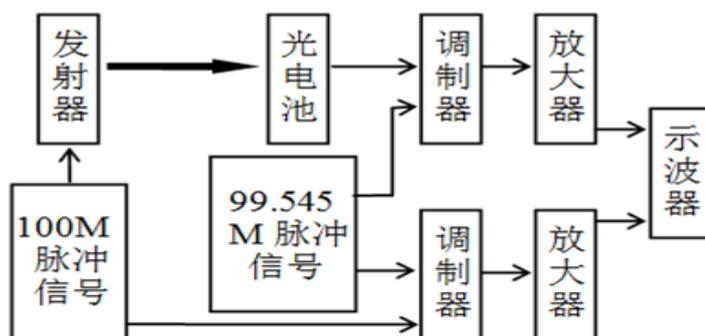
99.545MHz 脉冲信号，提高了实验测量精度。

发光二极管以频率 100 MHz 发射光脉冲，该光脉冲信号在空气中行走某一距离后被光电池接受并与频率为 99.545 MHz 电脉冲信号叠加，由 LM 1596 组成的调制电路实现，再经过低通滤波器和放大电路在示波器上显示相位不变的 455 KHz 正弦波光电信号波形(即相对时间差扩大约 220 倍)。然后再设置一个由频率为 100 MHz 电脉冲信号和 99.545 MHz 电脉冲信号叠加，也经过低通滤波器和放大电路在示波器上显示 455 KHz 正弦波形信号作为参考波形。调节折光器位置直到参考波形与光电信号波形在示波器上同相位，并记录当前折光器位置为 s_1 。改变折光器位置为 s_2 ，则光在空气中走过

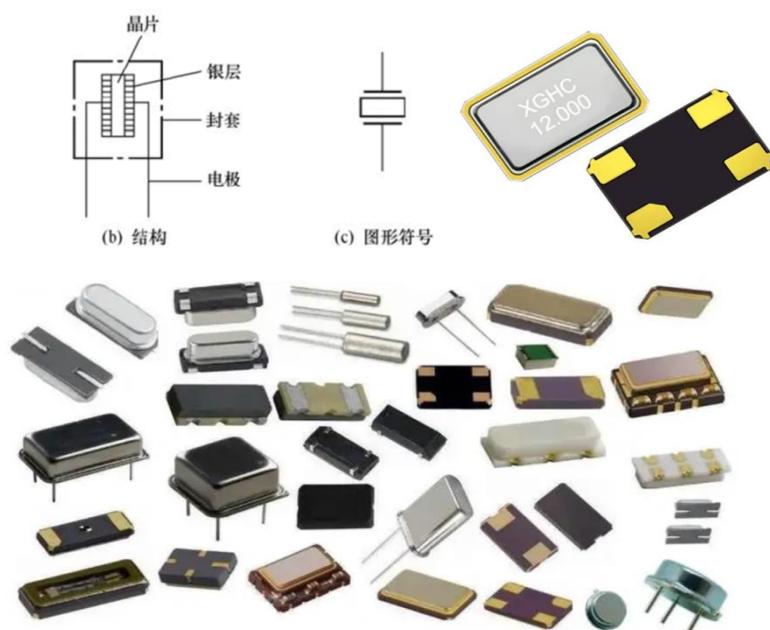
$\Delta s = 2(s_2 - s_1)$ ，同时光电信号在示波器上波形相对参考波形走过

$\Delta t'$ ，根据公式就可以算出实验用的光速测量值：

$$c = \frac{2(s_2 - s_1) \cdot \nu}{\Delta t' \cdot \nu'}$$



晶体振荡器的核心是采用了石英晶体，可以产生高度稳定的信号。



在石英晶体上按一定方位切下薄片，将薄片两端抛光并涂上导电

的银层，再从银层上连出两个电极并封装起来，这样构成的元件叫石英晶体谐振器，简称石英晶体。晶片多为石英半导体材料，外壳用金属封装。晶体振荡器具有正逆压电效应这一物理特性，可以产生非常微弱的周期性振荡信号，信号再经过放大、滤波等环节后即可作为信号源使用。为 CPU 电路提供时钟振荡信号。石英晶体振荡器的应用已有几十年的历史，但因其具有频率稳定度高这一特点，故在电子技术领域中一直占有重要的地位。

晶振可以提供较稳定的脉冲，广泛应用于微芯片的时钟电路里。石英晶振全球市场规模于 2017 年便已突破 30 亿美元。石英晶振厂商主要分布于美国、日本、中国大陆及台湾等微电子生产技术较为先进国家与地区，其中日本厂商处于领先地位，引领行业发展，约占 50% 的市场份额；中国台湾及大陆厂商以迅速的市场反映速度为优势，约占 40% 的市场份额。

晶体谐振器发展历程：

(a) 晶振的技术启蒙期：1880 年压电效应概念现世-居里兄弟。

(b) 贝尔电话实验室的亚历山大·尼科尔森于 1917 年开发了第一个晶体振荡器。

(c) 1921 年，卫斯理大学的凯蒂教授为石英晶体振荡器申请了专利。

(d) 1928 年，贝尔电话实验室的沃伦·马里森开发了第一个石英晶体时钟。Quartz 时钟取代了精密摆钟，成为世界上最精确的计时器（原子钟）。原子钟的计时装置，精度可以达到每 2000 万年才误差 1 秒，目前世界上最准确的计时工具就是原子钟。

(e) 1956 年，合成生长的石英变得广泛可用。

(f) 1968 年，北美航空的 Juergen Staudte 发明了制造石英晶体振荡器的光刻工艺。这使它们能够做得足够小，可以用于手表等便携式产品。

(g) 1990 年至今在，30 多年来，石英晶振发展方向从 DIP 到 SMD 小尺寸，封装由传统的金属外壳向覆盖塑料、金属和陶瓷封装的转变；精度、频率也越来越高，工艺要求越发精细化；使用范围也从单一应用领域到如今 5G、物联网、汽车电子、智慧医疗、智能家电等多元化场景。

芯片是半导体元件产品的统称，一种将电路（主要包括半导体设备，也包括被动组件等）小型化的方式，并时常制造在半导体晶圆表面上。

根据一个芯片上集成的微电子器件的数量，集成电路可以分为以下几类：

- 小型集成电路：逻辑门 10 个以下或晶体管 100 个以下。
- 中型集成电路：逻辑门 11~100 个或晶体管 101~1k 个。
- 大规模集成电路：逻辑门 101~1k 个或晶体管 1,001~10k 个。
- 超大规模集成电路：逻辑门 1,001~10k 个或晶体管 10,001~100k 个。
- 极大规模集成电路：逻辑门 10,001~1M 个或晶体管 100,001~10M 个。
- GLSI：逻辑门 1,000,001 个以上或晶体管 10,000,001 个以上。

光刻机



光刻机又叫掩模对准曝光机，是制造芯片的核心装备。它采用类似照片冲印的技术，把掩膜版上的精细图形通过光线的曝光印制到硅片上。芯片之母是光刻机。目前只有荷兰和日版能生产高端光刻机。中国自主的光刻机精度为 90nm。阿斯曼（ASML）公司已经拥有 5 nm 的加工精度。即使中芯国际采用先进技术，也是刚掌握 12nm 工艺、正在研发 10nm 工艺，而台积电 7nm 早已量产、正在开发 5nm 芯片制程工艺。

中国“芯”大致可以分成四个阶段：

- (a) 萌芽时期：计划机制中的专家主导。
- (b) 失序时期：外部冲击导致行业失序。
- (c) 创业时期：海归创业潮与民企崛起。
- (d) 对决时期：国资入场打响芯片战争。

中国从 50 年代开始建设中国的半导体技术和工业体系，可以总结为一句话：用苏联的体系和中国的人才，来追美国的影子。改革开放之后，打开国门的中国人猛然发现，美日的半导体产业也已经将中国远抛身后。但是集中攻关方式在不考虑成本的军工领域内是有效的，但在产业化和民用化方面，基本上是行不通。从 2000 年以后，摆在面前却又是一条辉煌、艰难和血腥的荆棘山路。部分高端芯片和元器件短期内无法实现国产替代，只能大规模依赖进口。中国“芯”任重道远，期待中国红外再攀世界芯高峰。

教学过程中融入了晶体振荡器和中国芯片研制和制造等“家国情怀”和“全球关切”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

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>

光速测量

Speed Of Light Measurement

浙江大学物理实验教学中心

主讲教师：陈水桥 时间：2022.09.01

实验背景
EXPERIMENT BACKGROUND

实验目的
EXPERIMENT OBJECTIVE

实验原理
EXPERIMENT PRINCIPLE

1

2

3

4

5

6

实验内容
EXPERIMENT CONTENT

数据处理
DATA PROCEDURE

实验思考
EXPERIMENT INSPIRATION

1 EXPERIMENT BACKGROUNDS 实验背景

1 实验背景 EXPERIMENT BACKGROUNDS

今幅
微粒说

波动说

爱因斯坦
光子说

17世纪，科学家开始探索光的本性。最早的理论是以牛顿为代表提出的微粒说，认为光是由称为光微粒运动的微小粒子流。但在牛顿同时代的惠更斯于1687年首先提出光的波动说，他认为光是在一种特殊的弹性介质“以太”中传播的机械波。到19世纪初，托马斯·杨和菲涅尔等人研究了光的干涉、衍射现象，初步测定了光的波长，发展了光的波动理论。并借助光的偏振现象确定了光是横波。（后来爱因斯坦发现光电效应，证实了光的波粒二象性。）对光的波动说有进一步推动作用的是光速测量。19世纪中叶，许多人用不同方法对光速进行测量，其中重要的结果有 1849年斐索测得光速为 3.14×10^8 ；1850年傅科测得 2.9836×10^8 。

1 实验背景 EXPERIMENT BACKGROUNDS

伽利略 (1564 - 1642)

伽利略，意大利天文学家、物理学家和工程师。伽利略被称为“观测天文学之父”、“现代物理学之父”、“科学方法之父”、“现代科学之父”。伽利略研究了速度和加速度、重力和自由落体、相对论、惯性、抛丸运动原理，并发明了温度计和各种军事罗盘，并使用用于天体科学观测的望远镜。

伽利略是意识到光有速度的第一人，并第一个测量光速的科学家。伽利略观察了闪电现象，认为光速是有限的，并设计了测量光速的**烽火方案**：他让A、B两个人分别站在相距1.5千米的两座山的山顶，想利用两个山头看到闪光的时间差来测算光速。但由于间隔的时间太短了，根本无法精确测出。最终，伽利略的实验以失败告终，但他却开启了人类测量光速的真理之门。

1 实验背景 EXPERIMENT BACKGROUNDS

光速测量的方法

天文测定光速：
卫星蚀法
光行差法

大地测定光速：
旋转齿轮法
惠更斯旋转镜法

实验室测定光速：
微波谐振腔法
激光法

2 EXPERIMENT OBJECTIVE 实验目的

2 实验目的 EXPERIMENT OBJECTIVE

- 掌握利用调制法测量光速的基本原理
- 学会使用示波器测量光波信号时间差

3 EXPERIMENT PRINCIPLE 实验原理

3 基本原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

一个强度随时间变化的周期性光信号满足：

$$I = I_0 + \Delta I_0 \cdot \cos(2\pi \cdot \nu \cdot t)$$

而光信号能用一个将其转变为具有同样时间变化行为的电压信号的接收器加以测量：

$$U = A \cos(2\pi \cdot \nu \cdot t)$$

接收器距光源 Δs ，则时间延迟为：

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{c}$$

引起的相位变化为：

$$\Delta \varphi = 2\pi \cdot \nu \cdot \Delta t = 2\pi \cdot \frac{\Delta s}{T}$$

则接收器测量到的相位信号为：

$$U = A \cos(2\pi \cdot \nu \cdot t - \Delta \varphi)$$

所以光速的计算公式：

$$c = \frac{\Delta s}{\Delta \varphi} \cdot 2\pi \cdot \nu$$

3 基本原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

但是, 实验中 Δs 要求很小就能测量, 而 v 很大, 一般示波器又不能稳定显示高频信号, 也不能精确测量较小的 Δt , 所以引入了调制法。(LM1496)

将高频信号进行调制使其能够输出两束和频和差频:

$$U = A' \cos(2\pi \cdot v \cdot t - \Delta\phi) \cdot \cos(2\pi \cdot v' \cdot t)$$

$$= A' (\cos(2\pi(v+v')t - \Delta\phi) + \cos(2\pi(v-v')t - \Delta\phi))$$

实验中: $v=100\text{MHz}$, $v'=99.545\text{MHz}$,
利用滤波器滤去高频信号后只剩下:
 $U = A' \cos(2\pi(v-v')t - \Delta\phi)$

信号频率为: $v' = 455\text{KHz}$, 能在示波器上很方便处理, 而相变并未因叠加而改变, 但是现在对应另一个传播时间 $\Delta t'$ 。

$$\Delta\phi' = 2\pi \cdot \frac{\Delta t'}{T'} \quad \Delta\phi = 2\pi \cdot v \cdot \Delta t = 2\pi \cdot \frac{\Delta t}{T}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t' \cdot T}{T' \cdot v} \quad \text{放大原理}$$

3 基本原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

实验计算公式

$$c = \frac{\Delta s}{\Delta t'} \cdot T' = \frac{\Delta s}{\Delta t} \cdot T' \cdot v$$

$$c = \frac{2(s_2 - s_1)}{\Delta t'} \cdot \frac{v}{v'}$$

4 EXPERIMENT CONTENT 实验内容

4 仪器调整 EXPERIMENT CONTENT

光速测量仪-示意图

(a-信号发射与接收器, b-平行光管, c-导轨, d-直角折光器)

4 仪器调整 EXPERIMENT CONTENT

电路原理图

晶体振荡器与芯片

4 辅助仪器 EXPERIMENT CONTENT

示波器

1869年, 希托夫 (Johann Wilhelm Hittorf) 发现阴极射线。
1896年, 爱迪生发明热阴极射线管。
1897年, 汤姆逊 (Joseph John Thomson) 首次提出电子 (corpuscle) 的概念。
1937年, 布鲁瑟 (Karl Ferdinand Braun) 发明了基于阴极射线管的示波器。
1939年, 泽纳克 (Jonathan Zebeck) 在 CRT 中引入扫描线圈。
1936年创立: AEC Company 公司推出第一台双踪 CRT 示波器。
1968年前后起, 数字示波器的发明推广, 取得长足。
1996-2000年中期, Nichel 和 HP 公司推出了基于个人电脑的数字示波器。

4 实验内容 EXPERIMENT CONTENT

调节方法

- 1 开启移动电源和示波器, 移动直角折光器, 观察示波器显示的信号是否平滑的变化以确定光束是否准直的进入到接收器中, 记录此时示波器上的信号 v'
- 2 记录此时直角折光器所在的位置 s_1 , 并利用示波器Track功能将光标1对准测量信号幅值为0的位置
- 3 移动直角折光器并记录所在的位置 s_2 , 保持上述光标1不动, 将光标2对准测量信号幅值为0的位置
- 4 重复上述过程六次并利用 $c = \frac{2(s_2 - s_1)}{\Delta t'} \cdot \frac{v}{v'}$ 计算光速

4 实验内容 EXPERIMENT CONTENT

利用示波器测量时间差

测量时可选择波形与横轴交点 (幅值为零处) 作为参考点, 并选用尽可能大的偏转电压和尽可能小的时间因子。
从示波器上读取频率和时间差。

5 DATA PROCESSING 数据处理

5 数据处理 DATA PROCESSING

次数	初始位置 s_1/m	终止位置 s_2/m	$\Delta t'/\text{s}$	$c/(\text{m/s})$	c平均值
1					
2					
3					
4					
5					
6					

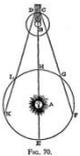
求A类不确定度。

5 注意事项 DATA PROCESSING

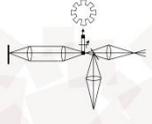
- ▶ 调节折光器上方螺丝，使得光路与基座平行，反射光能够被光电池完全接受（表现为反射光斑位置不随着折光器移动而变化，且位于接收器透光孔中心）
- ▶ 为减小小光标测量误差，调节偏转电压使得波形振幅较大，调节时间因子达到最小（0.2μs）以使光标移动的步长最小（0.006μs）
- ▶ 折光器起始位置和终止位置的差值尽可能大，以减小位置测量的相对误差
- ▶ 实际测量时，调制后的信号频率可能不够稳定，会随着时间变动，可在进行每组独立测量时，将 ω 作为变量记在原始数据中

6 EXPERIMENT INSPIRATION 实验思考

6 其它方法 EXPERIMENT BACKGROUNDS

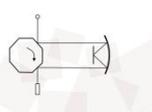


1. 天文方法：1676年丹麦天文学家罗默用木星卫星他诺第一次成功地测量了光速。周期为12年的木星是太阳行星，而绕木星运行的卫星周期性的出现立置物。根据卫星他的周期性变化视像计算出光速的数值为224000km/s，证实了光速以有限速度进行传播的。

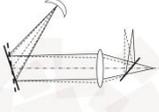


2. 齿轮法：1849年法国人菲索第一个在实验室中成功地测量了光速。它利用齿轮周期性地阻断光线的方法精确地测定了时间，并用此方法测得的光速均在 $2.99 \times 10^8 \text{m/s}$ 至 $3.15 \times 10^8 \text{m/s}$ 的范围内。

6 其它方法 EXPERIMENT BACKGROUNDS

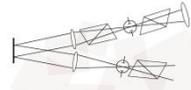


3. 迈克尔逊旋转镜和干涉仪测量法：迈克尔逊使八面镜转动起来，并缓慢增大其转速，当每秒转动次数达到某个值时，恰能在望远镜中第一次看见发光点，由此迈克尔逊测出光速。



4. 旋转镜法：1862年傅科成功地实现了用旋转镜法测量光速。此方法主要是以旋转镜代替齿轮法中的齿轮来精确地测量光传播一段距离的时间间隔，测得的光速数值为 $2.98 \times 10^8 \text{m/s}$ 。

6 其它方法 EXPERIMENT BACKGROUNDS



5. 克尔效应：卡塞拉斯和米太斯格德首先利用克尔效应调制光强的方法来测量光速，此种方法在短光路、微小时间间隔范围内能够准确测量光速，从而使实验精度大大提高，测得光速为 $299776 \pm 6 \text{km/s}$ 。



6. 光快门法：光快门法测量光速是利用光快门的空间分布，测出同一时刻相邻同相位点的光程差和光拍频率，从而间接测出光速。目前此种方法是一般实验室中进行光速测量的常用方法。

6 其它方法 EXPERIMENT BACKGROUNDS



7. 光纤法：利用脉冲激光并借助示波器测量变形移位时间，再利用光纤计算和测量激光走过的光程，从而测量光速。

直到近代以前，人们都不知道光是瞬间传播，还是以很快的有限速度传播。对这一问题有记载的最早研究是在古希腊时期。古希腊、伊斯兰世界以及欧洲经院学者都对此进行了长期的讨论，直到罗默首次通过观测木卫一的卫星地测出光速，并得出了结论。到了20世纪，爱因斯坦的狭义相对论指出，光的传播无论在哪个参考系中都是一样的。自此，科学家对光速的测量数值越来越准确，直到1983年国际单位制对米的重新定义把光速固定为一个准确值。

文献目录 BIBLIOGRAPHY

参考文献

- [1] 李海洋，等，大学物理实验 I [M]，高等教育出版社（2014）
- [2] 国家计量技术局计量科学研究院，通用计量术语及定义资料 [M]，中国计量出版社，2001
- [3] JIF-1059.1-2012 测量不确定度评定与表示，中国计量出版社，2012
- [4] 百度百科



Speed Of Light Measurement

MANY THANKS

2. 挂图

光速测量

实验简介

光速测量方法和精度的每一点提高都反映和促进了相应时期物理学的发展。许多科学家采用不同手段对光速进行了测量，特别是以光速测定为终身目标的迈克尔逊。迈克尔逊自己设计了旋转镜和干涉仪，用以测定微小的长度、折射率和光波波长。1882年，他得到的光速为299852.5千米/秒，这个结果被公认为国际标准。应用了40年，本实验利用激光调制信号光速，实现原理清晰、易懂，只要改变很短的光程差，就能明显地在示波器上显示光信号与参考电信号的相位差，然后代入公式就能算出光的传播速度。

实验装置示意图

(a-信号发射与接收器, b-平行光束, c-导轨, d-直角折光镜)

光速测量仪工作原理

示波器显示时间差

1—参考信号
2—光信号

本实验光速计算公式 $c = \frac{\Delta t}{\Delta L} \cdot \nu$

背景知识

伽利略(1564~1642),意大利天文学家、物理学家和工程师,第一个测量光速的科学家。伽利略研究了速度和加速度,重力自由落体,相对论,惯性,弹丸运动原理,并发明了测速计和各种军事罗盘,并用于天体科学观测的望远镜。

几种光速测量方法

- 天文法:**1676年丹麦天文学家罗默用水星卫星蚀法第一次成功地测量了光速。用期为12年的木星和太阳行星,而木星运行的卫星周期性的出现卫星蚀,根据卫星蚀的周期性变化规律计算出光速的数值为214000km/s,证实了光速以有限速度进行传播的。
- 齿轮法:**1849年法国人菲索第一个在实验室中成功地测量了光速,它利用齿轮周期性遮断光线的方法,精确地测定了时间,并测出光速的数值在 $2.99 \times 10^8 \text{m/s}$ 至 $3.15 \times 10^8 \text{m/s}$ 的范围内。
- 迈克尔逊旋转镜和干涉仪测量法:**迈克尔逊八面镜转动起来,并缓慢增大其转速,当每秒转动次数达到某个值时,恰好在望远镜中第一次看见星光点,由此迈克尔逊测出光速。
- 旋转镜法:**1862年傅科成功地实现了用旋转镜法测量光速。此方法主要是以旋转镜代替齿轮法中的齿轮来精确地测量光传播一段距离的时间间隔,测得的光速数值为 $2.98 \times 10^8 \text{m/s}$ 。
- 克尔盒法:**卡索拉斯和米太那塔首先利用克尔盒调制光强的方法来测量光速。此种方法在短光路、微小时间间隔范围内能够测量光速,测得光速为 $299776 \pm 6 \text{km/s}$ 。
- 光纤法:**利用激光调制并借助示波器测量光延迟时间,再利用光纤计算和测量激光走过的光程,从而测量光速。

浙江大學 物理实验教学中心

3. 照片（授课现场）



