

# 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：大学物理学实验（丙）

课程代码：761T0070

课程类别：通识课程

学院：物理学院

学分：1.0

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。开设了近代技术在物理实验中的应用，加大综合性实验、设计性实验的比重。通过本课程教学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，理论联系实际，培养学生初步的实验能力和良好的实验习惯以及严谨的科学风尚，学习用实验的方法去观察、分析、研究现象和物理规律，通过实验加深对某些物理现象和规律的认识和理解。使学生逐步养成良好的实验素质，强调实验素养的培养和提高，要求学生具有理论联系实际和实事求是的科学作风，严肃认真的工作态度，主动研究的探索精神。本课程配合理论课教学，对学生进行基本实验技能训练及创新能力的培养。

### 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            | <input checked="" type="checkbox"/> 道德修养<br><input checked="" type="checkbox"/> 家国情怀<br><input checked="" type="checkbox"/> 全球关切<br><input checked="" type="checkbox"/> 浙大精神<br>(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。<br>②诺贝尔奖科学家精神。<br>③求是创新精神和科学强国精神。<br>④做志存高远的国之武者，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”。<br>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。<br>案例③: 介绍程开甲科学强国事迹。<br>案例④: 以竺可桢校长的两个问题作为切入点。<br>(通过 PPT 授课、师生讨论和学生课外阅读的方式实现。)                       |
| 2  | 用扭摆法测定物体转动惯量   | <input checked="" type="checkbox"/> 道德修养<br><input checked="" type="checkbox"/> 家国情怀<br><input type="checkbox"/> 全球关切<br><input type="checkbox"/> 浙大精神<br>(可多选)                       | ①要想做到极致, 则需要有奋发拼搏、坚韧不拔的精神。<br>②爱国精神, 国家自豪感, 投身为科学技术发展做贡献的热情。<br>③融入方法论。<br>④勤于思考, 提升探索使命感和热情。   | 案例①: 我国著名运动员的奥运会跳水和体操夺冠视频。<br>案例②: 通过照片、视频重点介绍在航天领域的应用。<br>案例③: 讲解实验原理。<br>案例④: 航天员在天宫空间站做的力学实验。<br>(通过 PPT 授课、师生讨论和学生课外阅读的方式实现。)  |
| 3  | 用拉脱法测定液体表面张力系数 | <input checked="" type="checkbox"/> 道德修养<br><input checked="" type="checkbox"/> 家国情怀<br><input checked="" type="checkbox"/> 全球关切<br><input type="checkbox"/> 浙大精神<br>(可多选)            | ①中国古代劳动人民的智慧, 培养学生的民族荣誉感。<br>②科技提高人类生活水平。<br>③激发求知欲, 民族自豪感和爱国情怀。  | 案例①: 介绍中国古代物理学的相关知识。<br>案例②: 结合国际时事热点世界杯中首次使用的传感器足球和人们生活中广泛使用的传感器技术。<br>案例③: 观看我国航天员在天宫空间站的微重力条件下进行的水膜实验和水桥实验。<br>(通过 PPT 授课、师生讨论和学生课外阅读的方式实现。)                              |
| 4  | 声速的测定          | <input checked="" type="checkbox"/> 道德修养<br><input checked="" type="checkbox"/> 家国情怀<br><input checked="" type="checkbox"/> 全球关切<br><input checked="" type="checkbox"/> 浙大精神<br>(可多选) | ①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。<br>②惟学无际。<br>③要学会用类比的思想和理解复杂的科学原理和物理规律。<br>④提升学生创新创造能力的激情, 浙大精神。<br>⑤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。 | 案例①: 介绍声速测量历史。<br>案例②: 讲述浙大最新研究成果-深海仿真鱼。<br>案例③: 对于微观上不好理解的机理, 用动画和示意图的形式展示。<br>案例④: 讲述浙大子程开甲科学强国故事。<br>案例⑤: 播放央视“大国工匠”记录片的报道-火箭“心脏”焊接人高凤林。<br>(通过 PPT 授课、师生讨论和学生课外阅读的方式实现。) |

## （二）具体教学设计（每个案例不少于 500 字）

### 1. 案例 1

#### （1）教学内容

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

#### （2）融入点

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

#### （3）实例

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

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

“把科学的星辰留在浙大人心中”

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

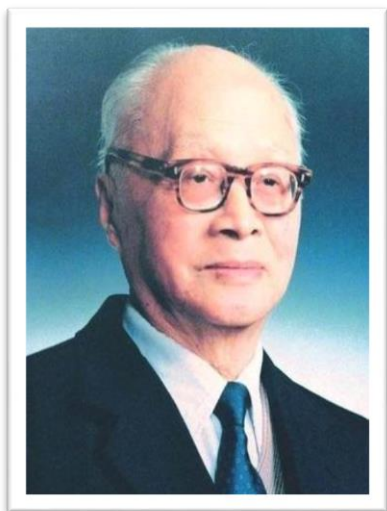
王淦昌是 20 世纪实验物理学三大女杰之一的迈特内教授唯一的中国学生。在德国柏林大学，王淦昌学习了最新的物理学理论与实验技巧，并展示出非凡的科学见解和宽阔的实验思路。但他却毅然选择回到苦难深重的祖国。

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

艰苦的条件下，王淦昌单凭大脑推算写出了论文《关于探测中微子的建议》，中微子是当时最具挑战性的物理学界难题。论文 1941 年在美国《物理学报》发表。次年，美国学者阿伦教授按照论文中的建议成功完成了 Be7 的 K 电子实验，命名为“王淦昌·阿伦实验”，是国际物理学界 1942 年最重要的成就之一。后来，美国科学家奥本·海默教授根据这个实验制造出了美国第一颗原子弹。美国科学促进协会在 1947 年发行纪念刊《近百年来科学之进步》，王淦昌被列为贡献人之一。

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

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



“隐姓埋名17载，以身许国铸科技长剑”

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

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

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

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

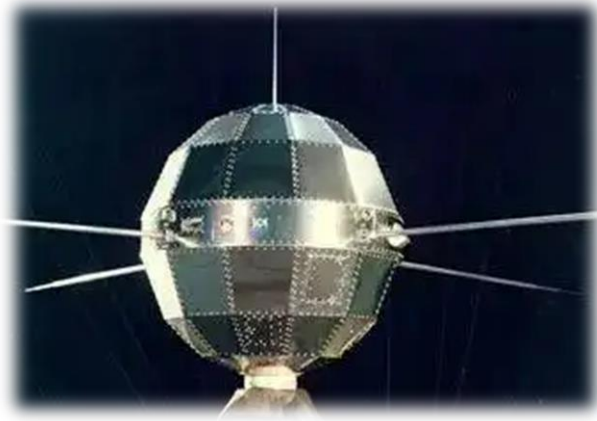
1999年9月，党中央、国务院、中央军委召开大会，对当年为研制“两弹一星”作出贡献的23位科技专家予以表彰，追授王淦昌“两弹一星功勋奖章”。2003年，国际小行星命名委员会把一颗永久编号为14558的小行星命名“王淦昌星”。

2017年，浙大物理系提出“在教师中树立起成为‘王淦昌’式的好老师的职业理想，把培养‘程开甲’式的卓越学子凝练成为我们的教育教学最高目标”，并在全体党员大会上

正式通过。在此理念指导下，依托学院拔尖创新人才培养的探索，以期造就更多的国际一流人才和科学家。

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

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



- 半生埋名，以身许国铸核盾

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

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

- 生命不息 创新不已

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

20 世纪 80 年代，程开甲提出必须提高我国战略武器抗辐射能力的思想，并亲自担任该研究方向的专业组组长，开创了抗辐射加固技术研究新领域。另一方面，他重新开始基础研究课题，他进一步发展、完善了“程一玻恩”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。”

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



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

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

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

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

浙江大学校歌,马一浮作词

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

④介绍世界著名物理学家,融入科学家精神。

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



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



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



物理诺奖 **113次 135项** (1916、1931、1934、1940、1941、1942年无)

|      |      |       |
|------|------|-------|
| 物理理论 | 16项  | 11.9% |
| 物理实验 | 119项 | 88.1% |

## (4) 融入方式

通过 PPT 授课、总结归纳和学生课外阅读的方式实现。

## (5) 教学资料：若干相关教学活动照片或 PPT、视频等材料



### 物理实验绪论课

浙江大学物理实验教学中心

### 目录

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

### 物理学首先是一门实验科学

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

现代物理学研究是一个周期性的过程：

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

### 创造力来源于实验实践


争做‘王淦昌’式的好老师，培养‘程开甲’式卓越学子。

### 物理学院理念



### 王淦昌

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



### 把科学的星辰留在浙大心目中

- 1937年11月，日军侵华迫使浙大师生开始向西流亡。一年后，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。双峰寺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，他制成的荧光屏——荧光闪烁屏，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《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《关于中微子的一种新实验方法》，后来英国物理学家赖尔用此法发现了 $\mu$ 介子，获得了1950年诺贝尔奖。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弟子，他后来写道：“直到现在，我还能记得曾有过的讨论，以及他们激起的我对物理的热情。”

### 隐姓埋名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放射性物质；在苏联，他领导的研究小组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，王淦昌回到祖国。4个月后，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。王淦昌坚定地回答：“我愿以身许国！”从此，在世界物理学界鼎鼎有名的王淦昌仿佛消失了。他的名字变成了“王康”；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“王康”就是王淦昌！同年，国家公葬的的王淦昌和那入了华国共产党。
- 70年代末，原子能研究所及的开展电子束和激光的激光泵浦基础研究。为通过程控泵浦泵浦泵做出了开创性贡献。1982年，王淦昌发现西德马歇尔原子能研究所科学家一等奖。1985年，他因核武器研制、试验方面的工作，同时荣获2项国家科技进步一等奖。1986年3月，王淦昌与王大珩、陈芳允、杨嘉谔联名向中央提出了《关于跟踪研究外国高技术发展的建议》，并由此诞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，对高年为研制“两弹一星”作出贡献的23位科技专家予以表彰，追授王淦昌“两弹一星”功勋奖章”。2003年，国际小行星命名委员会把一颗永久编号为14558的小行星命名为“王淦昌星”。
- 2017年，浙大物理系提出“在教师中树立起成为‘王淦昌’式的好老师的职业理想，把培养‘程开甲’式的卓越学子凝练成为我们的教育教学最高目标”，并在全体教职工大会上正式通过。在此理念指导下，依托学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







### 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领域里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。  
● 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，研制了跟踪探靶仪。

### 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，中国载人潜水器总装钳工高凤林，中国载人潜水器总装钳工高凤林，中国载人潜水器总装钳工高凤林。

### 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

安全最危险的因素是“人”！

(部分展示，共有 190 页 PPT。详见浙江大学物理实验教学中心网站。)

## 2. 案例 2

### (1) 教学内容

转动惯量是表征物体转动惯量大小的物理量，是研究物体转动规律的重要参数，对应于研究物体平动时质量这一物理参量。测定物体的转动惯量具有重要意义。刚体的转动惯量与刚体的质量分布、形状和转轴的位置均有关系。对于形状规则简单的物体，可以通过理论公式计算出它绕某特定轴的转动惯量，而形状较复杂的刚体计算比较困难，通常采用实验方式进行测定。常用的转动惯量测量方法包括三线摆法，复摆法，扭摆法等。本案例以扭摆法为例，介绍转动惯量的测量以及平行轴定理的使用。在课程伊始引入转动惯量的概念时，以体育竞技中利用改变自身形体达到较高转速的高难度动作，引起学生的学习兴趣，并强调运动员在训练过程中的不断联系、坚韧不拔的精神。在介绍转动惯量的应用时，结合近年来我国航空航天的发展，建造中国空间站实现航天器的自主对接，自主开发牛级霍尔推进器用以改变航天器姿态，唤起学生对我国空间技术长足发展的自豪感与发奋图强的历史使命感。在讲授利用扭摆法测量物体转动惯量时，通过理论推导和比较法推出弹簧扭转系数的测量方法，强调科学研究方法的合理选择，对一系列规则形状的刚体进行转动惯量测量。在拓展思考部分，引用航天员在天宫空间站进行的力学实验视频，引导学生思考分析在微重力条件下，利用本节课所学知识解释空中转体和贾尼别科夫实验现象。与本课开头内容相呼应，并强调实践是检验真理的唯一途径。

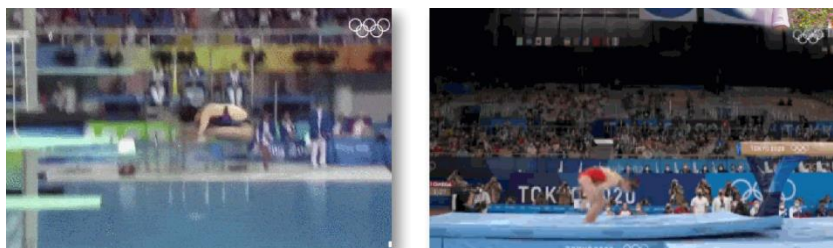
### (2) 融入点

1. 在介绍转动惯量概念时，引入我国著名运动员的奥运会跳水和体操夺冠视频，展现体育运动中转动惯量的应用，要精准地控制身体做出完美的动作需要付出极大的努力并采用科学的方法。融入道德修养的思政元素，要想做到极致，则需要有奋发拼搏、坚韧不拔的精神。
2. 在讲述转动惯量的应用时，通过照片、视频重点介绍在航天领域的应用，融入爱国精神。展示近年来我国在空间站建设方面的长足发展，激发学生的国家自豪感，并投身为科学技术发展做贡献的热情。
3. 讲解实验原理时，融入方法论。在遇到问题并试图解决时，应选择合适的方法，能够巧妙地解决问题。本实验采用比较法，只需要测量周期，便可直接推导得到弹簧的扭转系数，十分巧妙。
4. 讲解实验内容后，根据本课内容，引导学生利用所学知识思考并解释航天员在天宫空间站做的力学实验。融入能力培养与素质提升，鼓励学生怀有好奇心并勤于思考，并与本课开始时引入的我国空间站建设发展相呼应，提升学生深入技术探索的使命感和热情。

### (3) 实例

| 教师活动   | 学生活动  |
|--|---|
| <p>(1) 在介绍本节课待测量转动惯量的基本概念后，引入我国著名跳水运动员郭晶晶在 2008 年北京奥运会上的跳水视频，和目前在浙江大学学习的 2021 年东京奥运会平衡木冠军管晨辰的平衡木夺冠视频，分析高水平运动员通过改变自身的形体姿态来获得更高的转速，达到更高的技术难度，提高竞技体育的艺术性和观赏性。</p> <p>运动员在奥运会等国际赛场上能够取得傲人成绩，除了运动员的勤学苦练之外，与不断创新的训练方法也有着密不可分的关系。将人体简化为多刚体系统，用动力学方法对动作进行分析、模拟、优化，</p> | <p>聆听讲解，观看图片视频，观看 PPT，回想生活中还有哪些行为或者现象与转动惯量有关。</p> |

设计出符合运动员个体的空翻转体动作，为运动健将们提供指导。结合跳水视频，分析郭晶晶的动作变化，收拢双臂和双腿时，减小转动惯量，提高角速度，从而实现高度数旋转；打开双臂和双腿时，增大转动惯量，减小角速度，从而实现平稳入水压小水花。结合体操视频，分析管晨辰从平衡木跳下时，曲身收拢双臂双腿，达到减小转动惯量提高旋转角速度的目的，落地前打开身体稳稳地像钉子一样扎在垫子上。向学生点明，运动员们在赛场上的完美发挥离不开平时刻苦的训练和比赛时稳定的心态。鼓励学生在学习和生活中，学习运动员的勤奋与坚韧，践行不断探索、勇于创新的精神。



教学过程中融入勤奋、坚韧、勇于创新等“道德修养”课程思政元素，并融入了浙大元素。

(2) 重点介绍转动惯量在空间站建设方面的应用。展示近年来我国在空间站建设方面的长足发展，激发学生的国家自豪感，并投身为科学技术发展做贡献的热情。

转动惯量在科学实验、工程技术、航天、电力、机械仪表等工业领域都是重要参量，有着重要的物理意义。比如我国于 2021 年刚建成的中国空间站，“天和”核心舱与“问天”、“梦天”实验舱以及后期的天舟货运飞船等要实现在轨道上进行对接，需要精确控制航天器姿态并完成交会对接。天舟二号货运飞船入轨后顺利完成入轨状态设置，于 2021 年 5 月 30 日 5 时 01 分，采用自主快速交会对接模式精准对接于天和核心舱后向端口，整个过程历时约 8 小时。天舟二号携带了航天员生活物资、舱外航天服及空间站平台设备、应用载荷和推进剂等，与天和核心舱完成交会对接后，转入组合体飞行阶段，将按计划开展推进剂补加和空间应用项目设备测试等工作。2022 年 11 月 12 日天舟五号货运飞船，首次实现两小时自主快速交会对接，成功对接空间站天和核心舱。这是中国航天员首次迎来货运飞船来访。

聆听讲解、观看图片和视频以及 PPT、思考提问、师生互动。

**应用** **空间站如何调整姿态**

◇ 刚体的转动惯量有着重要的物理意义，在科学实验、工程技术、航天、电力、机械仪表等工业领域也是一个重要的参量。

◇ 测量转动惯量的方法：三线摆法，复摆法，扭摆法等

为了精确实现姿态调整，我国的天宫空间站天和核心舱上面搭载了4个霍尔推进器，每台的推力仅0.08牛，但这点推力在太空中已足以推动数十吨重的空间站。我国空间站上搭载的霍尔推进器，并不是推力最强的。我国现阶段推力最大的霍尔推进器是由航天科技集团五院510所研发的HET-450单通道霍尔推进器，在地面实验中，其最大推力达到了4.6牛。世界上目前推力最强的霍尔推进器是美国的X3，采用三通道设计，能够产生5.4牛的推力。

视频播放显示天舟二号和天和核心舱对接时从天和视角拍摄的录像，唤起学生对我国空间技术长足发展的自豪感与依靠科学强国的历史使命感。

教学过程中融入了爱国精神等“家国情怀”课程思政元素。

(3) 在讲授利用扭摆法测量物体转动惯量的实验原理和内容时，通过理论推导和比较法推出弹簧扭转系数的测量方法，强调科学研究方法的合理选择，并对一系列规则形状的刚体进行转动惯量测量。融入方法论，我们在遇到问题需要求解时，应选择合适的方法，能够巧妙地解决问题。本实验采用比较法，只需要测量两组转动系统的周期，并与理论值进行比较，便可直接推导得到弹簧的扭转系数，十分巧妙。

如果已知  $K$ ，则测得周期  $T$  就可以得转动惯量  $I$ 。不知道  $K$ ，怎么办呢？

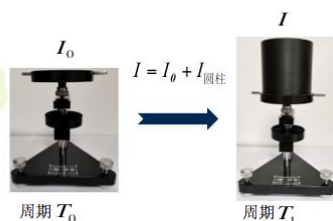
### 1、弹簧扭转系数 $K$ 的测量

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I_0}{K}} \Rightarrow I_0 = \frac{T_0^2 K}{4\pi^2}$$

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I}{K}} = 2\pi \sqrt{\frac{I_0 + I_{\text{圆柱}}}{K}}$$

$$I_{\text{圆柱}} = \frac{T_1^2 K}{4\pi^2} - I_0 = \frac{K}{4\pi^2} (T_1^2 - T_0^2) \Rightarrow K = 4\pi^2 \frac{I_1'}{T_1^2 - T_0^2} \quad I_1' = \frac{1}{8} mD^2$$

比较法



以此鼓励学生，在学业和生活中遇到了问题，需要开动脑筋积极思考，寻找可能的解决办法。研究中也有一些方法可循，比如归纳法，演绎法，类比比较法等。善于利用合适的方法，问题可能就迎刃而解了。


教学过程中融入了研究方法论以及养成积极思考的习惯等“道德修养”课程思政元素。

(4) 根据本课内容，引导学生利用所学知识思考如何测量不规则形状物体绕特定轴的转动惯量，观看航天员在天宫空间站做的力学实验并思考其物理解释。

在课程即将结束时，开拓学生思路，融入能力培养与素质提升，鼓励学生怀有好奇心并勤于思考。与本课开始时引入的我国空间站建设发展相呼应，通过建设空间站提升我国空间技术发展，并在空间站开展微重力基础物理、空间生命科学与生物技术、空间天文等一系列1000多项科学实验，提升学生深入进行科学技术发展与探索的使命感和热情。

聆听讲解，观看PPT、推导演算、思考提问。

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。



教学过程中融入了能力培养与素质提升“道德修养”和“家国情怀”等课程思政元素。

#### (4) 融入方式

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

#### (5) 教学资料：若干相关教学活动照片或 PPT、视频等材料

### 1. PPT (全部)

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

## 用扭摆法测定物体的转动惯量

苏婷 | 2022.11  
浙江大学 物理实验教学中心

### 背景

转动惯量是物体转动惯性的量度,其大小取决于物体的质量、质量分布及转轴的位置。



- 刚体形状规则简单,质量分布均匀,可以直接根据理论公式计算出它绕特定轴的转动惯量;
- 对于形状复杂,质量分布不均匀的刚体,计算复杂,通常采用实验方法来测定。

### 应用




在体育竞技中,运动员可以利用利用转动惯量完成高难度动作,提高动作的艺术性和观赏性。

### 应用

#### 空间站如何调整姿态






◇ 刚体的转动惯量有着重要的物理意义,在科学实验、工程技术、航天、电力、机械仪表等工业领域也是一个重要的参量。

◇ 测量转动惯量的方法:三线摆法,复摆法,扭摆法等

### 实验仪器



部分待测物体

### 实验原理

物体装在一螺旋弹簧上,当物体在水平面内转过  $\theta$  角后弹簧产生恢复力矩  $M$

$$M = -K\theta \quad (K \text{ 为弹簧扭转系数})$$

根据转动定律  $M = -I\beta = -I \frac{d^2\theta}{dt^2}$

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{K}{I}\theta = 0 \quad \text{得到简谐振动的振动周期满足}$$

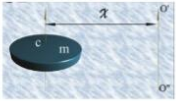
简谐振动方程  $\frac{d^2\theta}{dt^2} + \omega^2\theta = 0$  →  $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{I}{K}}$




**实验原理**

**平行轴定理验证**

若质量为 $m$ 的物体绕其质心轴的转动惯量为 $I_c$ 。当转轴平行移动距离 $x$ 时，则此物体对新轴的转动惯量为

$$I_{oo'} = I_c + mx^2$$


$$I_{理论} = \frac{1}{12}ml^2 + 2mx^2 + I_c$$


两滑块绕质心  $I_c = 2[\frac{1}{16}m(D_{n1}^2 + D_{n2}^2)]$  的转动惯量

**实验目的**

- 1、用扭摆测定弹簧的扭转系数 $K$
- 2、用扭摆测定几种不同形状物体的转动惯量，并与理论值进行比较
- 3、验证平行轴定理

**实验内容**

如果已知  $K$ ，则测得周期  $T$  就可以得转动惯量  $I$ 。不知道 $K$ ，怎么办呢？

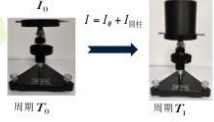
**1、弹簧扭转系数 $K$ 的测量**

比较法

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{I_0}{K}} \Rightarrow I_0 = \frac{T_0^2 K}{4\pi^2}$$

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{I}{K}} = 2\pi\sqrt{\frac{I_0 + I_{附加}}{K}}$$

$$I_{附加} = \frac{T_1^2 K}{4\pi^2} - I_0 = \frac{K}{4\pi^2}(T_1^2 - T_0^2) \Rightarrow K = 4\pi^2 \frac{I'}{T_1^2 - T_0^2}$$

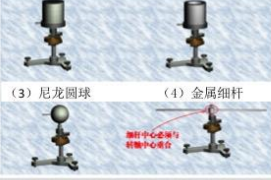
$$I' = \frac{1}{8}mD^2$$


**实验内容**

**2、待测物体转动惯量的测定**

(1) 塑料圆柱体 (2) 金属大圆筒 (3) 尼龙圆球 (4) 金属细杆

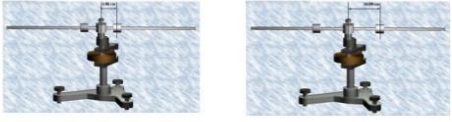
分别测量转动周期，并计算转动惯量，与理论值进行比较。



**实验内容**

**3、验证平行轴定理**

滑块对称地放置在金属细杆两边的凹槽内，滑块质心离转轴的距离分别为5.00cm、10.00cm、15.00cm、20.00cm、25.00cm，分别测定细杆的摆动周期



**数据记录** 表1 测定弹簧扭转常数 $K$ 的实验数据记录

| 物体名称 | 质量(kg) | 几何尺寸( $10^{-2}m$ ) | 周期(s)   | 转动惯量理论值( $10^{-4}kg \cdot m^2$ ) | 扭转常数 $K$ ( $10^{-4}N \cdot m$ )       |
|------|--------|--------------------|---------|----------------------------------|---------------------------------------|
| 载物盘  | /      | /                  | $T_0$   | /                                | /                                     |
|      |        |                    | $<T_0>$ |                                  |                                       |
| 塑料圆柱 | $m =$  | $D$                | $T_1$   | $I' = \frac{1}{8}mD^2$           | $K = 4\pi^2 \frac{I'}{T_1^2 - T_0^2}$ |
|      |        |                    | $<T_1>$ |                                  |                                       |
|      |        |                    | $<T_1>$ |                                  |                                       |

**实验内容** 表2 转动惯量测定数据记录

| 物体名称 | 质量(kg) | 几何尺寸( $10^{-2}m$ ) | 周期(s) | 理论值( $10^{-4}kg \cdot m^2$ )       | 实验值( $10^{-4}kg \cdot m^2$ )   | 百分误差 |
|------|--------|--------------------|-------|------------------------------------|--|------|
| 金属圆筒 |        | $D_1$              | $T_2$ | $I_m = \frac{M}{8}(D_1^2 + D_2^2)$ | $I_m = \frac{K}{4\pi^2}(T_2^2 - T_0^2)$                                    |      |
|      |        | $<D_1>$            |       |                                    |  |      |
|      |        | $D_2$              |       |                                    |  |      |
|      |        | $<D_2>$            |       |                                    |  |      |
| 尼龙球  |        | $D$                | $T_3$ | $I_m = \frac{1}{10}MD^2$           | $I_m = \frac{T_3^2 K}{4\pi^2} - I_0$<br>$= \frac{T_3^2 K}{4\pi^2} - 0.179$ |      |
|      |        | $<D>$              |       |                                    |  |      |
|      |        | $<T_3>$            |       |                                    |  |      |

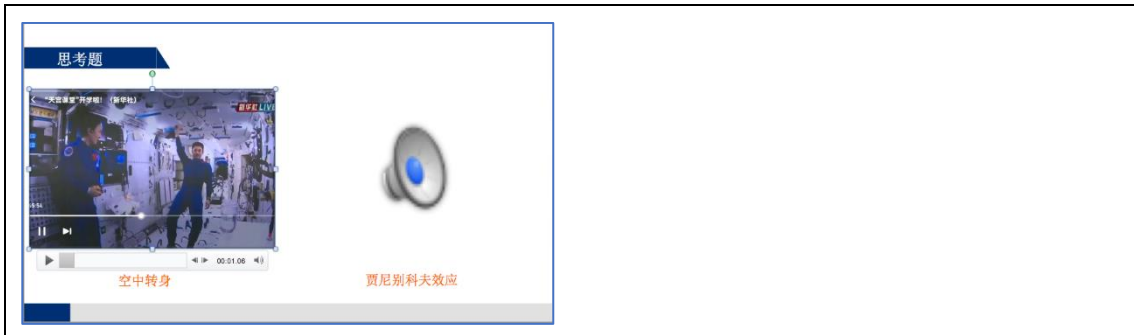
**实验内容** 表3 平行轴定理验证实验数据记录

| $X(10^{-2}m)$              | 5.00 | 10.00 | 15.00 | 20.00 | 25.00 |
|----------------------------|------|-------|-------|-------|-------|
| 摆动周期 $T(s)$                |      |       |       |       |       |
| $\tau(s)$                  |      |       |       |       |       |
| 实验值( $10^{-4}kg \cdot m$ ) |      |       |       |       |       |
| 理论值( $10^{-4}kg \cdot m$ ) |      |       |       |       |       |
| 百分误差                       |      |       |       |       |       |

$$I_{理论} = \frac{1}{12}ml^2 + 2mx^2 + I_c \quad I_s = 2[\frac{1}{16}m(D_{n1}^2 + D_{n2}^2)]$$

- 注意事项**
- 由于弹簧的扭转常数 $K$ 值不是固定常数，它与摆角略有关系，摆角在 $60^\circ \sim 90^\circ$ 间时基本相同，在小角度时变小。
  - 为了降低实验时由于摆动角度变化带来的系统误差，在测定各种物体的摆动周期时，**摆角应基本保持在同一范围内。**
  - 光电探头宜放置在挡光杆的平衡位置处，挡光杆不能和它相接触，以免增大摩擦力矩。
  - 底座应保持水平状态。
  - 圆柱、圆筒放置时要放正不可斜放。

- 思考题**
- 1、实验中为什么要每次测量 $10 \sim 20$ 个周期？
  - 2、如何用转动惯量测试仪测定任意形状物体绕特定轴的转动惯量？
  - 3、想一想重力条件下，如何利用转动惯量的知识解释下面的现象？



### 3. 案例 3

#### (1) 教学内容

液体表面张力是表征液体性质的一个重要参数。它产生的原因是由于液体表面层受到液体内部分子的引力比空气分子的引力大得多，合力垂直于液面并指向液体内部，使得液体表面收缩。本实验介绍采用拉脱法使用力敏传感器测量液体的表面张力系数的方法。本案例首先介绍表面张力的概念以及日常生活中的应用场景，并引用宋代的笔记中以竹篾圈检验桐油真伪的记录，实际上就是利用了液体表面张力随液体杂质变化的原理，展示中国古代劳动人民的智慧。重点介绍拉脱法测量液体表面张力的实验原理以及使用力敏传感器将力转换为电压进行测量。结合国际热点世界中使用的传感器技术和生活中的传感器应用，强调科技发展对人类生活水平提高的作用。在实验内容介绍基础上，进行思考和拓展，引用微重力条件下的表面张力实验，鼓励学生多问问题勤思考，学以致用。

#### (2) 融入点

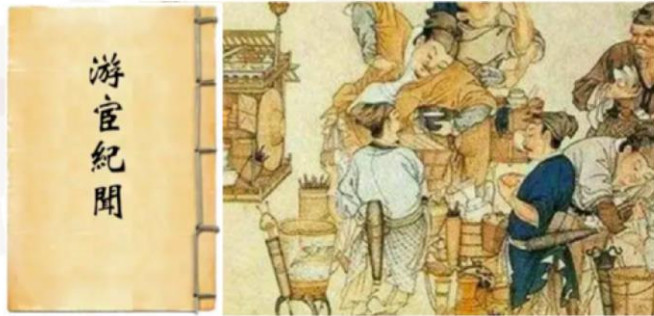
1. 在课程引入介绍表面张力概念时，介绍中国古代物理学的相关知识，《游宦纪闻》中记载古人利用经验归纳法检验桐油真伪蕴含表面张力与液体种类与纯度相关的物理原理，体现了中国古代劳动人民的智慧，培养学生的民族荣誉感。
2. 在介绍测量表面张力的力敏传感器时，结合国际时事热点世界杯中首次使用的传感器足球和人们生活中广泛使用的传感器技术，体现科技提高人类生活水平，融入了全球关切的课程思政元素。
3. 观看我国航天员在天宫空间站的微重力条件下进行的水膜实验和水桥实验，直观展示表面张力导致的实现现象，给学生留下深刻的印象，激发学生的求知欲，更让学生为我国空间技术的长足发展产生民族自豪感和爱国情怀。

#### (3) 实例

| 教师活动   | 学生活动                     |
|--|--------------------------|
| <p>(1) 在课程引入介绍表面张力概念时，介绍中国古代物理学的相关知识，古人利用经验归纳法检验桐油真伪蕴含表面张力与液体种类与纯度相关的物理原理，体现了中国古代劳动人民的智慧。宋代张世南半生游历，将所见所闻记录于《游宦纪闻》中，涉及面很广，包括各种掌故、风土人情、文物鉴赏、医药、园艺等。卷二中记载“验真桐油之法，以细蔑一头作圈状，入油蘸。若真者，则如鼓面鞞圈子上。渗有假，则不着圈上矣。”用竹篾圈检验桐油质量，这种方法的原理即利用桐油表面张力使之附在竹篾圈上。如果液体里含的杂质越多，表面张力就越小。因此，桐油如果含有较多杂质，它就无法在竹</p> | <p>聆听讲解，观看图片，观看 PPT。</p> |



篾圈上形成一层如鼓面状的薄膜，根据此现象能够鉴别桐油质量的优劣。利用这一记载，不仅使学生更加深刻地理解液体表面张力的性质，同时展示中国古代文化与科技发展，培养学生的民族荣誉感。



卷二  
《游宦纪闻》张世南（宋） 验真桐油之法，以细蔑一头作圈状，入油蘸。若真者，则如鼓面鞞圈子上。渗有假，则不着圈上矣。

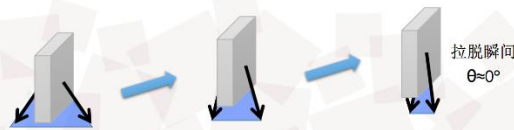
教学过程中融入祖国文化等“家国情怀”课程思政元素。

(2) 实验原理中测量液体表面张力，需要测量铝制圆环从水面上拉脱前的一瞬间所受的张力大小，这里采用了转换测量的方法，利用力敏传感器将力转换为电压来进行测量。

聆听讲解，观看实验挂图、观看PPT、思考提问、师生互动。

实验采用内外半径分别为  $r_1$  和  $r_2$  的铝制圆环，先将其浸没于盛水的容器中，圆环上部用线挂于力敏传感器下方，当控制容器里的水面慢慢下降时，则圆环逐渐暴露出水面，圆环与水面之间扯出液体膜，直至液膜破裂，此时读取力敏传感器上的电压值。本实验中采用的是硅压阻力敏传感器，量程为  $0 \sim 0.098\text{N}$ ，灵敏度为  $3\text{V/N}$ 。它是利用单晶硅的压阻效应制成。在硅膜片特定方向上扩散4个等值半导体电阻，连接成惠斯登电桥，作为力-电压变换器的敏感元件。当膜片受外界压力作用，电桥失去平衡时，若对电桥加恒流或恒压激励电源，就可以得到与被测压力成正比的输出电压，从而达到测量压力的目的。

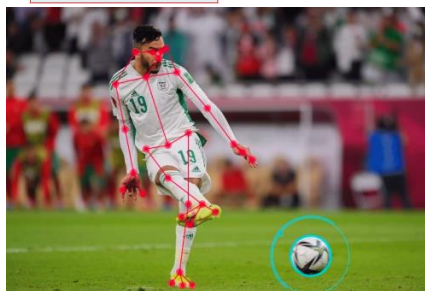
#### 拉脱法



• 对圆环内外径积分：
$$F = \int dm \cdot g + \int 2dF_T = mg + 2\pi\delta(r_1 + r_2)$$

$\int dl = 2\pi r$

• 表面张力系数为：
$$\delta = (F - mg) / 2\pi(r_1 + r_2)$$



|  |                               |
|--|-------------------------------|
| <p>现代生活中传感器应用十分广泛，力敏传感器可以用来检测气体、固体、液体等物质间相互作用力。常用材料有半导体、金属及其合成材料。常用力敏传感器包括硅压阻式力敏传感器和电容式力敏传感器。硅压阻力敏传感器具有灵敏度好、精度高的优点。</p> <p>传感器技术在 2022 年卡塔尔世界杯上也大展身手。此次世界杯首次采用传感器足球“旅程”，球内放置有惯性测量单元传感器，它以每秒 500 次的频率将足球数据发送到视频操作室，从而能够精确检测踢球点。结合多机位摄像头跟踪球员的位置信息，可为裁判快速提供自动越位警报，当视频裁判与现场裁判确认越位后，系统自动生成 3D 动画，以最佳视角将越位画面重现在赛场大屏和直播画面中。智能穿戴设备在足球训练中也发挥作用。比如运动员通过佩戴传感器背心，可以实时监测大量体能数据：奔跑距离、范围、速度、心率、疲劳负荷等。运动员所穿球鞋上的传感器，搜集追踪运动者触球、运球及速度、敏捷性等信息。</p> <p>普通人日常佩戴的手环也可以通过监测心率、睡眠时间等为人们提供身体状态监控。可以说传感器技术已经广泛应用于人类生活的方方面面，为人类生活提供了极大便利。</p> <p>教学过程中融入了国际时事和国际科技发展等“全球关切”课程思政元素。</p>   |                               |
| <p>(3) 在液体表面张力系数测定实验中，我们学习到表面张力系数随温度升高而减小。在实验思考部分，我们提出这样的问题。表面张力的本质是什么？为什么表面张力平行于分界面而非垂直于分界面呢？影响表面张力系数的因素有哪些？在微重力条件下，航天员做的水球和水桥实验，其背后的物理原因是什么？</p> <p>表面张力的微观来源是分子间相互作用和热效应，宏观上可以理解为沿界面作用的力或单位表面的能量。在液体内部，远离界面的位置，液体分子受周围液体分子的引力与斥力完全对称，受力平衡。而在靠近界面处，液体表面层内液体分子上下受力对称性被破坏。为修复垂直方向的力平衡，向上的斥力需要平衡向下的引力。而在平行于界面的方向，对称性仍然存在，平行于界面方向的力平衡仍然存在。液体表面的分子密度小于液体内部分子，于是表面分子间的距离较大，分子间吸引力占优势。此时，引力作用的强度与斥力作用的强度不同。在界面附近的水平方向上，引力作用比斥力更强，这就产生了表面张力。当温度升高时，分子间间距增大，相应的分子间引力变弱，所以液体表面张力系数会减小。</p> <p>由于表面张力来自于分子间的相互作用，因此在微重力情况下不受影响。而且由于重力作用减小，水膜和水桥更不容易被破坏。</p> <p>在实验内容之后，结合实验中发现的趋势进行反思，进一步理解表面张力形成的本质。并观看我国航天员在天宫空间站的微重力条件下进行的水膜实验和水桥实验，直观展示表面张力导致的实现现象，不但给学生留下深刻的印象，同时能激发学生的求知欲，更让学生为我国空间技术的长足发展产生自豪感和爱国情怀。</p> | <p>聆听讲解，观看图片、观看 PPT、思考提问。</p> |

### 微重力条件下的表面张力作用



▶ 表面张力是由分子间作用力产生的，因此它的效果在失重环境下不受影响。

教学过程中融入了勤于思考的学习习惯等“道德修养”思政元素，以及自豪感和爱国等“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

液体的表面张力的日用



毛细管 去污 防水

8


2 实验目的 EXPERIMENT OBJECTIVE

- 液体表面张力的性质
- 液体表面张力的测量原理
- 微小力的测量
- 不确定度的分析

10

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

常见测量法



最大气泡压法 毛细管法 拉脱法

来源: wikipedia

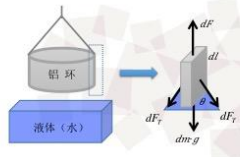
$$\sigma = \frac{\Delta P_{max} \times R_{cap}}{2}$$

$$h = \frac{2\gamma_w \cos\theta}{\rho g r}$$

12

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

拉脱法



液体(水) 铝环

$$dF = dm \cdot g + 2dF_T \cdot \cos\theta$$


$$dF_T = \delta \cdot dl$$

$\delta$ : 表面张力系数  
 $\theta$ : 液体接触角,  $g$ : 重力加速度  
 $dm$ : 质量微元,  $dl$ : 长度微元

13

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

拉脱法



拉脱瞬间  $\theta=0^\circ$

- 对圆环内外径积分:  $F = \int dm \cdot g + \int 2dF_T$   
 $\int dl = 2\pi r$   
 $= mg + 2\pi\delta(r_1 + r_2)$
- 表面张力系数为:  $\delta = (F - mg) / 2\pi(r_1 + r_2)$

14

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

测量模型

$$\delta = (F - mg) / 2\pi(r_1 + r_2)$$

待测量:  $F$ : 拉脱拉力  
 $m$ : 铝环质量  
 $r_1, r_2$ : 环内外径

测量仪器:  $F$ : 怎么测?  
 $m$ : 分析天平  
 $r_1, r_2$ : 游标卡尺

15

3 实验原理 EXPERIMENT PRINCIPLE

硅压阻力敏传感器

精确测量 $F$ , 为本实验的核心内容, 本实验采用高灵敏度力敏传感器。



- 硅压阻力敏传感器
  - 受力量程: 0 - 0.098 N
  - 灵敏度: 约 3.0 V/N (砵码定标)
  - 非线性误差: 0.2% 以内
  - 供电电压: 可调直流恒流源 5 - 10 V
- 显示仪器
  - 读数显示: 200 mV 三位半数字电压表
  - 调零: 手动多圈电位器
  - 连接方式: 5 芯航空插头

16

4 实验内容 EXPERIMENT CONTENT

- 力敏传感器定标
- 拉脱法测量表面张力

18

4 实验内容 EXPERIMENT CONTENT

实验步骤

- 力敏传感器开机预热
- 清洗圆环, 容器
- 容器中加入待测液体(蒸馏水)
- 安装砵码盘, 力传感器的定标
- 取下砵码盘, 安装铝圆环, 测量液体表面张力
- 计算表面张力系数以及不确定度

19

5 数据处理 DATA PROCESSING

力传感器的定标:

| 砵码质量/mg | 增量读数/mV | 减量读数/mV | 平均值/mV |
|---------|---------|---------|--------|
| 0       |         |         |        |
| 500     |         |         |        |
| 1000    |         |         |        |
| 1500    |         |         |        |
| 2000    |         |         |        |
| 2500    |         |         |        |
| 3000    |         |         |        |
| 3500    |         |         |        |

线性拟合的得出转换系数 $K$  (N/mV)

21

### 5 数据处理 DATA PROCESSING

铝圆环内外径:

| 测量次数   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------|---|---|---|---|---|---|
| 内外径/mm |   |   |   |   |   |   |

测量表面张力:

| 测量次数 | 拉脱时最大读数/mV | 圆环读数/mV | 表面张力对应读数V/mV |
|------|------------|---------|--------------|
| 1    |            |         |              |
| 2    |            |         |              |
| 3    |            |         |              |
| 4    |            |         |              |
| 5    |            |         |              |
| 6    |            |         |              |
| 平均值  |            |         |              |

22

### 5 数据处理 DATA PROCESSING

#### 不确定度分析

仪器允差的影响

| 待测物理量                           | 物理量范围    | 测量仪器允差         | 相对误差  |
|---------------------------------|----------|----------------|-------|
| F                               | 30-50 mN | 砵压阻力敏: 0.1 mN  | 0.3%  |
| r <sub>1</sub> , r <sub>2</sub> | 2 cm     | 螺旋测微器: 0.02 mm | 0.1%  |
| m                               | 2-3 g    | 分析天平: 1 mg     | 0.05% |

- 表面张力系数:  $\delta = (F - mg) / [2\pi(r_1 + r_2)] = VK / [2\pi(r_1 + r_2)]$
- 不确定度 (传导法则):  $\frac{\Delta\delta}{\delta} = \sqrt{(\Delta K / K)^2 + (\Delta V / V)^2 + (\Delta r_1 / r_1)^2 + (\Delta r_2 / r_2)^2}$
- 结果表达式:  $\delta = \bar{\delta} \pm \Delta\delta (N \cdot m^{-1})$

23

### 6 实验思考 EXPERIMENT INSPIRATION

微重力条件下的表面张力作用



> 表面张力是由分子间作用力产生的, 因此它的效果在失重环境下不受影响。

25

### 6 实验思考 EXPERIMENT INSPIRATION

#### 思考问题

1. 表面张力的本质是什么?
2. 为什么表面张力平行于分界面而非垂直于分界面呢?
3. 影响表面张力系数的因素有哪些?
4. 在微重力条件下, 航天员做的水球和水杯实验, 其背后的物理原因是什么?

26

## 2. 挂图

# 用拉脱法测定液体表面张力系数

#### 实验简介

液体表面张力是表征液体性质的一个重要参数, 它产生的原因是液体层气体接触的表面存在一个薄层, 叫做表面层, 表面层的分子上方接触的气体分子, 其密度远小于液体分子, 因此表面层每一分子受到向外的引力比向内的引力小得多, 也就是说所受的合力不为零, 力的方向是垂直于液面并指向液体内部, 该力使液体表面收缩, 且达到动态平衡。因此, 在宏观上, 液体具有尽量缩小其表面积的趋势, 液体表面好像一张拉紧了的橡皮膜。这种沿着液体表面的、收缩表面的力称为表面张力。

测定液体表面张力系数的方法通常有: 拉脱法、最大气泡压法、毛细管上升法和液滴测量法等。

#### 实验内容及数据处理要求

1. 开机预热15分钟后, 对力敏传感器定标。在加砵码前先读取电子秤的初读数V<sub>0</sub> (该读数包括砵码盘的重量), 然后每加一个砵码, 读取一个对应数据, 记录到表格中, 用作图法求力敏传感器的转换系数。
2. 用游标卡尺测定圆环的内、外直径, 然后取下砵码盘并换上吊环, 调节支架高度, 使吊环部分浸入液体中, 并吊环水平, 按下面板上偏值测量按钮, 继续顺时针转动活塞调节旋钮, 使液面逐渐下降, 当吊环拉断液膜的一瞬间记录下峰值电压V<sub>1</sub>, 然后释放按钮开关, 等待后记录电压示值V<sub>0</sub>。连续做5次, 求平均值, 通过V<sub>1</sub>/V<sub>0</sub>及转换系数A即可求出室温下液体表面张力系数:

$$\alpha = \frac{2f}{L} = \frac{(V_1 - V_0) \cdot g}{\pi \cdot (D_0 + D_1)}$$

计算其不确定度并写出测量结果的表达式。

3. 顺时针转动温度加热按钮至最大档, 对待测液体进行加热, 每隔5度测量一次液体表面张力系数值, 作 $\alpha$ -T曲线。

由于金属膜很薄, 被拉起的液膜也很薄, m很小可以忽略, 于是公式简化为:

$$\alpha = \frac{F - m_0 \cdot g}{\pi \cdot (D_0 + D_1)}$$

表面张力系数 $\alpha$ 与液体的种类、温度、温度和它上方的气体成分有关。实验表明, 液体的温度越高,  $\alpha$ 值越小, 所含杂质越多,  $\alpha$ 值也越小。只要上述这些条件保持一定,  $\alpha$ 值就是一个常数。本实验的核心部分是准确测定F、m<sub>0</sub>、g, 即圆环吊环所受到的向下的表面张力, 我们用FB326A型液体的表面张力系数测定仪测定这个力。

#### 实验注意事项

1. 吊环须严格处理干净, 可用NaOH溶液洗净油污或杂质后, 用纯净水冲洗干净, 并用热风吹干。
2. 吊环水平须调节好, 偏差1', 测量结果引入误差为0.5%; 偏差2', 则误差1.6%。
3. 仪器开机需预热15分钟。
4. 在调节液面升降活塞时, 速度要缓慢, 尽量减小液体的波动。
5. 工作环境应避免风吹, 以免吊环摆动导致零点波动, 造成所测系数不准确。
6. 若液体为纯净水, 在使用过程中防止灰尘和油污及其它杂质污染, 特别要注意手不要接触被测液体。
7. 力敏传感器使用时用力不宜大于0.098N, 过大的拉力传感器容易损坏。
8. 实验结束液杯吊环用滤纸擦干, 用清洁纸包好, 放入干燥缸内。



浙江大學 物理实验教学中心

## 4. 案例 4

### (1) 教学内容

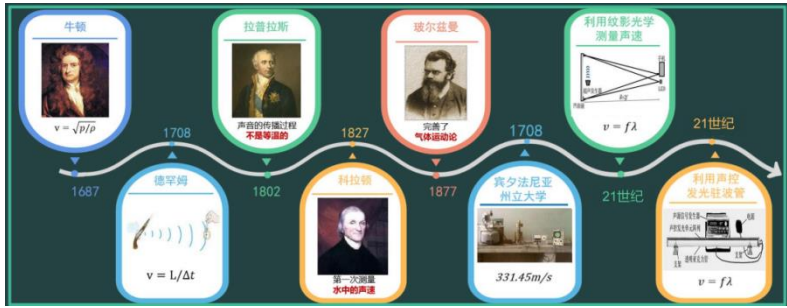
超声波具有波长短、定向性强且无噪音等优点, 所以实验室常用超声波来测量声速。测超声波传播速度对于在超声波测距、定位、探伤、液体流速、材料的弹性模量、气体温度的瞬间变化等实际应用方面都有十分重要的意义。在介绍声速测量的历史时, 通过不同年代科学家在声速测量方面做出的贡献激起学生对科学家敬仰之情。声速测量在深海探测方面有重要应用。浙江大学、之江实验室的科研团队及其合作者开发了一种能用于深海探测的无线自供能软体机器人, 他们通过在马里亚纳海沟最深1090米处和南海最深3224米处进行实际测试, 验证了这种机器人具有极好的耐压和游泳性能。指导学生应秉承浙江大学求是创新校训。在介绍压电效应与逆压电效应原理时, 让学生体会事物的正反两面都有意义的哲学思想。在介

绍驻波法和相位差法两种测量方法时，让学生理解同一个问题有多种不同处理方法的思想。激发学生发散性思维能力。在测量结果中，介绍通过微调手轮设计，能够达到千分尺精度，读书方法可以类比千分尺。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. 在声速测量历史时，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。
2. 在介绍声速测量应用时，讲述浙大最新研究成果-深海仿真鱼。激励学生要努力学习、惟学无际。
3. 在介绍声波特性与传播时，利用计算机仿真，生动形象的展示物理现象和规律，告诉学生要融会贯通，充分利用现代化手段丰富自己的知识。
4. 讲解压电效应原理时，对于微观上不好理解的机理，用动画和示意图的形式展示，告诉学生要学会用类比的思想理解复杂的科学原理和物理规律。
5. 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。
6. 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)首先给学生介绍历史上不同时期科学家对声音传播过程中物理规律的研究。从1687年牛顿认为声音传播过程是等温过程,当时在理论上估计的声速总比实验值小。直到大约百年之后,1802年拉普拉斯提出声传播过程应是绝热过程,声速的理论值与实验值才一致。但是牛顿并不完全错,当声波的频率非常低的时候,声传播过程并不是绝热过程。声波传播的速度空气中的压强和温度有关。最后到现代声速的标准公式。从中理解科学的发展不是一帆风顺,科学家也有一定的历史局限性,但是科学发展进程是不断往前推进的,正是有了前人的贡献,后人才能站得更高看得更远。</p>  <p>教学过程中融入了科学家精神、为人类作贡献等“道德修养”和“全球关切”课程思政元素。</p> | <p>聆听讲解，观看图片，观看PPT。</p> |

(2) 在了解了声音传播的物理过程后，如何准确测量声速以及准确测量声速的意义是什么呢？深海探测中需要通过测量声速来进行定位和导航，在深海环境中精确测量声速很有意义。从浙江大学最新科研成果—深海仿真鱼出发，让学生了解最前沿的科研就在我们身边，激发学生学习和科研热情。并且告诉学生科研与生活也是密切相关的，要善于发现生活中的美。

马里亚纳海沟，无人之境。即使是机器人，也要身穿盔甲才得以下潜。然而，一些软体海洋动物，却能在那里「赤身」畅游。我们能否由此得到启发、探索深海？在最新的 Nature 封面故事中，一条来自中国，由浙江大学、之江实验室科研人员研发的「软体机器鱼」给出了自己的答案。

受一条奇怪的鱼的启发，来自浙江大学、之江实验室的科研人员设计了一种柔软的自主机器人，它可以承受海洋最深处的巨大压力，即使在马里亚纳海沟 10900 米深度的地方，它依然能够拍鳍振翅。

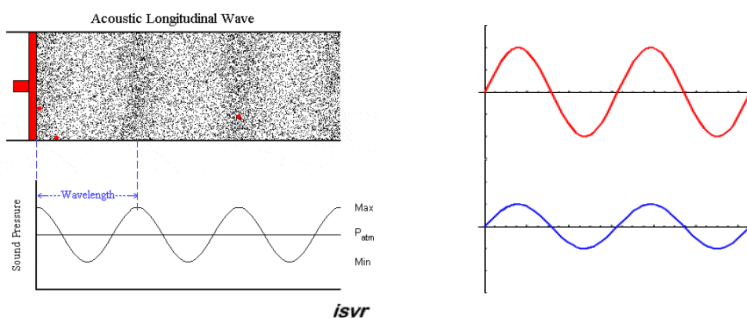
题为「Self-powered soft robot in the Mariana Trench」的论文发表在最新一期 Nature 上，一作为之江实验室的李国瑞博士，通讯作者为浙江大学李铁风教授。



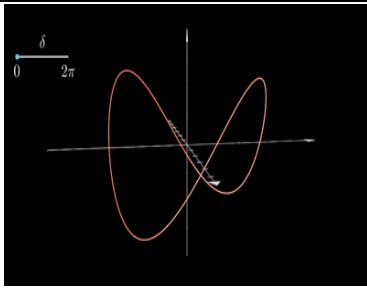
教学过程中融入了“浙大精神”的课程思政元素。

聆听讲解，观看实验挂图、观看图片和论文、思考提问、师生互动。

(3) 从计算机生成的动画切入，生动模拟声波的传播，驻波，李萨如图形的动态图形，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务，计算机是当今最常用的工具，许多难以理解或不便于直接观察的物理现象，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。



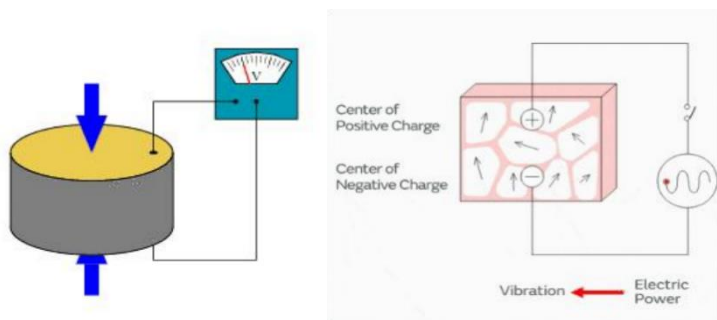
聆听讲解，观看实验动画、观看 PPT、思考提问、师生互动。



教学过程中融入了开拓学生利用计算机模拟法分析事务的物理特性和多元化思维能力等“道德修养”课程思政元素。

(4) 从示意图切入，通过图解方法，引入正压电效应与逆压电效应概念，加深学生从宏观上了解压电效应，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，从而解决困惑。

聆听讲解，观看实验示意图、观看 PPT、思考提问。



教学过程中融入了宏观认识等“道德修养”课程思政元素。

(5) 从浙大学子程开甲科学强国故事切入-在讲解“科学测量和数据处理”中，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。



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

笔记记录、聆听讲解，观看实验示意图、观看 PPT、思考提问、师生互动。

(6) 从播放央视“大国工匠”纪录片作为融入点，在分析读数装置测量精度时，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”。

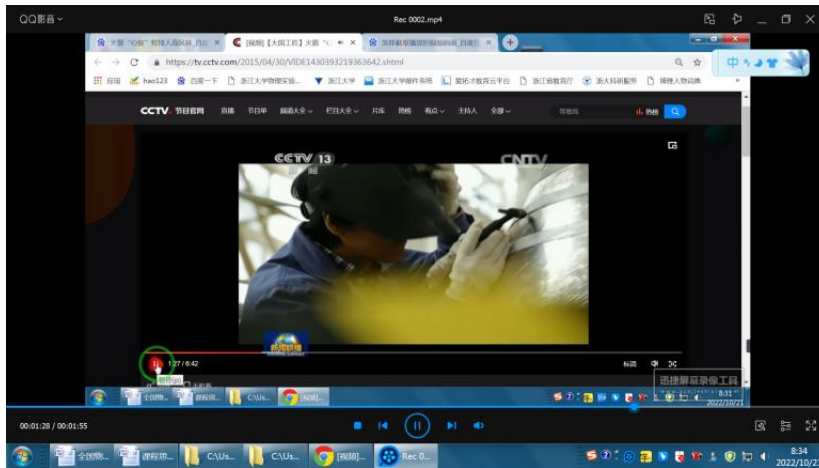
笔记记录、观看照片、观看 PPT、观看实验仪器、思考提问、归纳总结。

先讲解手轮的精度，0.001mm 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。



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://zjuphylab.zju.edu.cn/实验教学/课程思政教学案例>



### 一.实验背景

#### 声速测量历史进程

1687 伽利略  $v = \sqrt{gH}$

1708 拉瓦锡和 Laplace  $v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$

1827 傅里叶  $v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$

1877 瑞利  $v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$

1708 利用弦的振动测量声速  $v = f\lambda$

1877 声学速度测量点光源  $v = f\lambda$

21世纪 利用超声波测量声速  $v = f\lambda$

2022-11-24 图片来自网络 3

### 一.实验背景

声波是在弹性媒质中传播的一种机械波，纵波，其在媒质中的传播速度与媒质的特性及状态等因素有关。

通过媒质中声速的测量，可以了解被测媒质的特性或状态变化，因而声速测量有非常广泛的应用，如无损检测、测距和定位、测气体温度的瞬时变化、测液体的流速、测材料的弹性模量等。

频率低于20Hz的声波称为次声波；  
频率在20Hz-20kHz的声波可以被听到，称为可闻声波；  
频率在20kHz以上的声波称为超声波。

2022-11-24 4

### 二.实验目的

- 1) 通过测定声波在空气中传播的速度，了解声波的特性。
- 2) 用相位比较法和驻波法测声速，加深振动合成和波动干涉理论的理解。
- 3) 进一步掌握示波器、信号发生器的使用。

2022-11-24 5

### 三.实验原理

由波动理论可知，声速、声源的振动频率和声波波长间的关系为  $v = f\lambda$

声速的大小与声波的频率无关，仅决定于媒质的性质，温度是影响空气中声速的主要因素。在温度为  $t^{\circ}\text{C}$  时，干燥空气的声速为  $v = v_0 \sqrt{1 + \frac{t}{T_0}} = 273.15 \text{ K}$

由于空气实际上并不是干燥的，总含有一些水蒸汽，经过对空气摩尔质量和比热比的修正，在温度为  $t^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为  $\gamma$  的空气中，声速为  $v = 331.5 \sqrt{(1 + \frac{t}{T_0})(1 + 0.31 \frac{\gamma P}{P})}$   $P_0$  为  $t=0^{\circ}\text{C}$  时空气的饱和蒸汽压

2022-11-24 6

### 三.实验原理

$S_1$  和  $S_2$  为压电陶瓷超声换能器  
 $S_1$  作为超声源(发射)，信号发生器发出的正弦电压信号接到换能器后，即能发出平面声波。  
 $S_2$  作为超声波的接收头，接收的声压转换成电信号后输入示波器观察， $S_2$  在接收超声波的同时还反射一部分超声波。

正压电效应 逆压电效应

2022-11-24 7

### 三.实验原理

#### 1. 驻波共振法

由声源发出的平面波经前方垂直于  $x$  轴的刚性平面反射后，反射波与入射波发生干涉形成驻波，即两列反向传播的同频率行波的叠加，设两列行波为：

入射波：  $y_1 = A \cos 2\pi(f t - \frac{x}{\lambda})$   
反射波：  $y_2 = A \cos 2\pi(f t + \frac{x}{\lambda} + \frac{\pi}{2})$

叠加后合成波：  $y = y_1 + y_2 = (2A \cos 2\pi \frac{x}{\lambda}) \cos 2\pi f t$

各点振幅最大，称为波腹： $X = \pm n\lambda / 2; n = 0, 1, 2, 3, \dots$   
各点振幅最小，称为波节： $X = \pm (2n + 1)\lambda / 4; n = 0, 1, 2, 3, \dots$

因此只要测得相邻波腹(或波节)的位置，即可得到波长  $\lambda$

2022-11-24 8

### 三.实验原理

#### 扩展

由声源发出的平面波经前方垂直于  $x$  轴的刚性平面反射后，反射波与入射波发生干涉形成驻波，即两列反向传播的同频率行波的叠加，设两列行波为：

发射声波：  $A_0^+ = A_0 \gamma_1 \gamma_2 \cos(\omega t - kx)$   $\omega = 2\pi f; k = 2\pi / \lambda$   
反射声波：  $A_0^- = -A_0 \gamma_1 \gamma_2 e^{-2\delta(x-2l)} \cos[\omega t + k(x-2l)]$

$\gamma_1, \gamma_2$  表示声波在发射端和接收端的反射系数； $\delta$  表示空气中衰减系数

◆一阶声波  
正向声波：  $A_1^+ = A_0 \gamma_1 \gamma_2 e^{-\delta(2l+x)} \cos[\omega t - k(2l+x)]$   
反向声波：  $A_1^- = -A_0 \gamma_1 \gamma_2 e^{-\delta(4l-x)} \cos[\omega t + k(x-4l)]$

2022-11-24 9

### 三.实验原理

#### ◆n阶声波

正向声波：  $A_n^+ = A_0 (\gamma_1 \gamma_2)^n e^{-\delta(2nl-x)} \cos[\omega t - k(2nl+x)]$   
反向声波：  $A_n^- = -A_0 (\gamma_1 \gamma_2)^n \gamma_2 e^{-\delta(2nl+2l-x)} \cos[\omega t + k(x-2nl-2l)]$

◆根据波的叠加原理：  
 $A(x) = \sum_{n=0}^{\infty} (A_n^+ + A_n^-) = A_0 \text{Re} \left[ \frac{e^{i(\delta+k)l} - \gamma_2 e^{i(\delta+k)l} e^{-2i(\delta+k)l}}{1 - \gamma_1 \gamma_2 e^{-2i(\delta+k)l}} e^{i\omega t} \right]$

◆声压： $p(x) = -\rho_0 v^2 \frac{\partial A(x)}{\partial x}$   $\rho_0$  表示介质密度； $v$  表示声速  
◆ $x$  为声压： $p(l) = -\rho_0 v^2 \frac{\partial A(x)}{\partial x} = A_0 \rho_0 v^2 (1 + \gamma_2) \text{Re} \left[ \frac{e^{i(\delta+k)l}}{1 - \gamma_1 \gamma_2 e^{-2i(\delta+k)l}} (\delta + ik) e^{i\omega t} \right]$

2022-11-24 10

### 三.实验原理

#### ◆接收端声压振幅：

$$|p(l)| = A_0 \rho_0 v^2 (1 + \gamma_2) e^{-\delta l} \left| \text{Re} \left[ \frac{\delta + ik}{1 - \gamma_1 \gamma_2 e^{-2i(\delta+k)l}} \right] \right|$$

$$= A_0 \rho_0 v^2 (1 + \gamma_2) e^{-\delta l} (\delta^2 + k^2)^{1/2} \left| \frac{1}{1 - \gamma_1 \gamma_2 e^{-2i(\delta+k)l}} \right|$$

$$\left| p(l \pm \frac{\lambda}{2}) \right| = |p(l)|$$

$S_2$  表面声压与其位置的关系

2022-11-24 11

### 三.实验原理

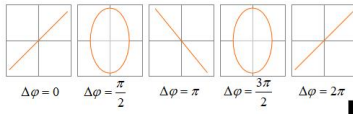
#### 2. 相位比较法

从  $S_1$  发出的正弦波与  $S_2$  收到的正弦波之间的相位差为  $\phi = \omega t = 2\pi f v = 2\pi l / \lambda$   
 $S_1$  与  $S_2$  之间变化一个波长  $\lambda$ ， $\phi$  相位差变化  $2\pi$ ，示波器上所观察到的李萨如图随  $\phi$  的变化一个周期。

2022-11-24 12

### 三.实验原理

$S_1$ 接X通道,  $S_2$ 接Y通道, 移动 $S_2$ 得到如下李萨如图形:



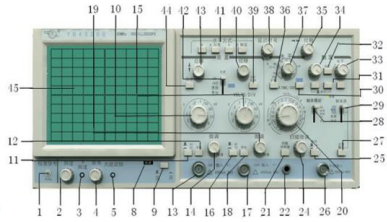
结论: 每次出现重复图形 $S_2$ 移动的距离为  $\lambda$



13

### 四.实验内容

#### 示波器



2022-11-24

15

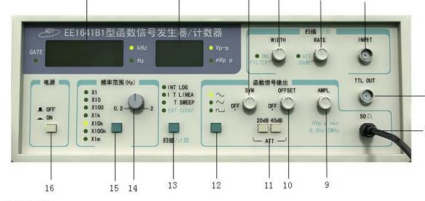
### 三.实验原理

- 同时将信号源发射端接入示波器的X轴、反射端接入示波器的Y轴, 示波器采用X-Y扫描, 这时示波器将显示一椭圆或直线。
- 当移动接收换能器时将会发现: 不仅椭圆的幅值大小会随发射一接收的距离 $l$ 发生变化, 而且椭圆的相位亦发生变化。
- 利用李萨如图形找出同相 ( $\Phi=0$ ) 或反相 ( $\Phi=\pi$ ) 时椭圆退化为右斜或左斜直线, 调整接收器的位置, 注意屏幕上出现的椭圆相位 (例如 $\Phi=0$ 或 $\Phi=\pi$ ), 继续移动接收换能器, 直到椭圆或直线的相位完全重复上述椭圆或直线的相位, 这时所移动距离恰好为一个波长, 为使测量值更加准确, 可多移动几个波长。采用逐差法处理数据。

14

### 四.实验内容

#### 信号发生器



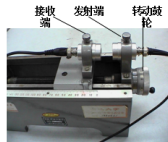
2022-11-24

16

### 四.实验内容

#### 换能器

超声波的发射端和接收端由两个压电换能器来实现电能与声能之间的可逆转换。两个换能器其中一个固定作为发射端, 连接带有频率显示的信号发生器; 另一个可以在附有游标或测微螺旋装置的标尺上移动, 作为接收端, 接有示波器以观察波或图形。



实验时, 只有当信号的频率与两个具有相同固有频率的换能器的频率一致时, 才能较好地声能与电能的可逆转换; 同时, 只有当发射端面与接收端面平行时, 才能有较好的接收效果。

17

### 四.实验内容

1. 驻波共振法测12个驻波最强时的位置;
2. 相位差法测1个1/3和2/4象限的李萨如图形位置;
3. 逐差法计算两种方法得到的波长;
4. 计算两种方法的声速和不确定度  $v = \bar{v} \pm U(v)$

以及与理论值的相对误差  $E = \frac{|\bar{v}_{实验} - v_{理论}|}{v_{理论}} + 100\%$

2022-11-24

18

### 五.实验思考

1. 同频率两相互垂直的振动合成当位相差为的整数倍时, 李萨如图形为一、三象限的直线, 当位相差为的奇数倍时是二、四象限的直线。试证明之。
2. 实验前为什么要调整测试系统的谐振频率?
3. 如果超声波发生器的频率 $f=40.00\text{KHz}$ , 不确定度 $u_f=10\text{Hz}$ , 测时超波长的不确定度为 $u_\lambda=0.030\text{mm}$ ,  $\bar{\lambda}=8.560\text{mm}$ , 则实验中所测得的声速相对不确定度可达多少?

2022-11-24

19

谢谢!

20

## 2. 挂图

# 声速的测定

## 实验简介

声波是在弹性介质中传播的一种机械波。纵波，其在介质中的传播速度与介质的特性及状态等因素有关。  
频率在20kHz以上的声波称为超声波。超声波具有波长短、定向性强且无噪音等优点，所以实验室常用超声波来测量声速。声速测量技术在超声波测距、定位、探伤、液体流速、材料的弹性模量、气体温度的测间变化等方面有着非常广泛的应用。

## 超声波传播速度

声波在空气中的传播可近似为绝热过程，其传播速度在 $t^{\circ}\text{C}$ 时可表示为：

$$v_t = 331.45 \sqrt{1 + \frac{t}{273.15}}$$

声速测量公式  $v = \lambda f$  ( $f$  设定,  $\lambda$  测定)。

## 驻波干涉法测定超声波波长



$$\text{入射波 } y_1 = A \cos 2\pi \left( ft - \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$\text{反射波 } y_2 = A \cos 2\pi \left( ft + \frac{x}{\lambda} \right) + \pi$$

叠加后合成波：

$$y = (2A \cos 2\pi \frac{x}{\lambda}) \cos 2\pi ft$$

波腹位置：

$$x = \pm n\lambda / 2; n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

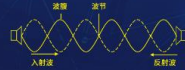
波节位置：

$$x = \pm (2n + 1)\lambda / 4; n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

因此只要测得相邻波腹(或波节)的位置：

$$\Delta L = L_{n+1} - L_n = \frac{\lambda}{2}$$

即可得波长 $\lambda$ 。



由于入射波与反射声波相干叠加，两个换能器之间形成共振驻波现象。由纵波性质可知，振动位移处于波节时，声压处于波腹，经接收器转换成的电信号到达最强。

## 背景知识

拉扎罗·斯帕拉捷(1779—1799)是意大利著名的实验生理学家。他的蝙蝠实验，为“超声波”的研究提供了理论基础。



## 相位比较法测定超声波波长

S<sub>1</sub>接X通道, S<sub>2</sub>接Y通道, 移动S<sub>2</sub>得到如下李萨如图形:



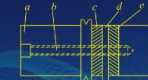
可见, 每次出现重复图形S<sub>2</sub>移动的距离为 $\lambda$ 。

## 实验内容及数据处理要求

1. 调节两个具有相同固有频率换能器的谐振频率;
2. 驻波共振法测10个相邻驻波声压信号最强时的位置;
3. 相位比较法测10个一、三和二、四象限的李萨如图形为直线时的相邻位置;
4. 计算两种方法算得的波速与理论值的相对误差。

## 压电陶瓷头

压电陶瓷超声换能器由二片压电陶瓷环片和轻重两种金属组成。在压电陶瓷环片上的两个底面上加上正弦交流电压, 使头部轻重金属发射声波。同样, 压电陶瓷片也可以使声压转换为电压的变化, 用来作为超声波的接收器。



(a: 尾部重金属, b: 紧固螺钉, c: e: 压电陶瓷环片, d: 钢箔引线, f: 头部轻金属)

3. 照片 (授课现场)

