

# 湖南省大学生研究性学习和创新性实验计划 项目结题佐证材料

项目名称: 理论物理课程的研究性学习模式的探索与实践

项目编号: HNDC1717

学生姓名: 罗子安

所在二级学院: 数理科学与能源工程学院

项目实施时间: 2017. 06

指导教师: 肖奎、刘璟忠

联系电话: 15273475945

填表日期: 2019. 3

## 目录

### 1. 论文 1: 科技创业月刊

理科课程教学与创新能力培养关系探讨

### 2. 论文 2 中国科技纵横

微扰理论的可视化—以一维线性谐振子为例

### 3. 论文 3: 企业科技与发展

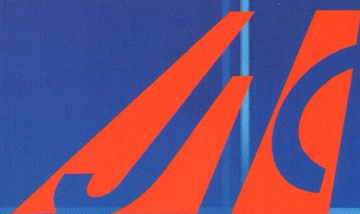
一维线性谐振子波函数及几率分布的可视演示



关于科技创新创业理论、政策与方法研究的专业期刊

# 科技创业月刊

PIONEERING WITH SCIENCE & TECHNOLOGY MONTHLY



国际标准连续出版物号ISSN 1672-2272  
国内统一连续出版物号CN42-1665/T

- RCCSE 中国核心学术期刊
- 中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊
- 中国创业投资类核心期刊
- 中国学术期刊数据库统计源期刊
- 中国期刊全文数据库全文收录期刊
- 湖北省优秀期刊

2019. 1



科技创业月刊杂志社

<http://www.zgkjcy.com/>



# 科技创业月刊

PIONEERING WITH SCIENCE & TECHNOLOGY MONTHLY

## 创新创业论坛

- 1 创客创新驱动新农人创业模式研究/张庆民 孙树垒
- 7 图书馆创客空间生态系统协同及其多方利益分配模式研究/夏轶群 苏洪锐
- 13 创业框架模型讨论/董姝钰
- 16 独立学院“政产学研用”协同创新模式构建及实践/朱超锋 矫庆泽 唐小勇 等
- 19 政产学研用协同机制创新设计与构建研究/陈珂 史健勇 叶欣梁
- 22 反思与创新:开放大学学习评价体系探析/国兆亮 于舒洋
- 25 精准扶贫视域下技工学校“内生式”发展探究——以湖南建筑高级技工学校为例/陈为峰
- 28 国际视角下网络舆情知识图谱分析/杨旭
- 32 大众分类中标签检索的局限与优化研究/姚斯琴

## 创业与经济发展

- 35 国际地球空间信息产业发展态势及对我国的启示/田思媛 安然 刘莹佳 等
- 40 构建中国通用航空产业的竞争优势研究——基于钻石理论视角/江宏飞 周伟
- 45 互联网平台并购的反垄断问题研究/林佳祺
- 49 商业银行应对支付宝挑战策略研究/陶懿行
- 52 外部审计、产权性质与现金股利相关性研究/苏亚民 姜诚
- 56 低碳经济下农产品冷链物流发展研究/苗洁莹
- 59 财务共享服务中心建设路径探析/周列平 魏奇慧 孔祥振
- 62 港股退市原因及回归A股方式分析/陈怡

## 创业人才与教育

- 65 以创新创业为导向的材料物理专业人才培养探索/张文玉 肖奎 谢忠祥 等
- 70 创新创业在中职学校计算机基础课程教学中的融合/韩兴华
- 73 地方高校双创教育“精准化供给”探索/史丽芳
- 76 高职院校汽车工程专业与企业合作模式探究/张华
- 80 基于产学研结合的高校创新创业教育模式实践/李加
- 83 理科课程教学与创新能力培养关系探讨/肖奎 罗子安
- 86 农林院校“95后”大学生就业价值理念及能力培养/聂丹

刊名 科技创业月刊

创刊时间 1987年

主管 湖北省科学技术厅

主办 湖北省科技信息研究院

编辑 《科技创业月刊》编辑部

出版 湖北省科技传媒有限责任公司

社长 张春强

主编 高建平

执行社长 陈晓峰

执行主编 吴新文

值班编辑 陈晓峰

国内发行 武汉市报刊发行局

邮发代号 38-142

海外总发行 中国国际图书贸易集团有限公司

国外发行代号 SM6913

国际标准连  
ISSN1672-2272

续出版物号

国内统一连  
CN42-1665/T

续出版物号

广告许可证 4201004000381

地址 武汉市武昌区洪山路2号  
湖北科教大厦D座5楼

邮政编码 430071

社长室 (027)87822960

主编室 (027)87711900

编辑部 (027)87826272 87842436

传真 (027)87826272 87842436

电子邮箱 zgkjcy@126.com

网址 www.zgkjcy.com

出版日期 2019年1月25日

印刷 湖北玺尔文化发展有限公司



# 目 录



- RCCSE 中国核心学术期刊
- 中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊
- 中国创业投资类核心期刊
- 中国学术期刊数据库统计源期刊
- 中国期刊全文数据库全文收录期刊
- 湖北省优秀期刊



## 《科技创业月刊》编委会

主 任: 刘 峰

编 委: (按姓氏笔画排序)

方 伟 邓坤烘 刘良炎 吕 力  
李忠斌 李 光 陈 昀 何冬兰  
杨 青 吴新文 张春强 贺 尊  
谢科范 熊兆铭 颜慧超 黎苑楚

若您错过邮局订阅时间,请直接汇款至本刊发行部邮购;若发现有质量问题,请寄还本社发行部调换。

## 89 中职院校计算机专业学生创新创业能力培养探析

/张华伟

## 92 高校创新教育与德育教育的契合探讨/全 鑫

## 95 文化自信视角下高校创新创业教育研究/袁泽浩

## 98 新媒体新时代高校思想政治教育创新路径研究/庄百鹏

## 101 应用型本科院校电子商务专业创新创业教育实践体系探究

——以玉林师范学院为例/陈贵艳 李俊初 唐 微

## 104 应用型本科跨境电商专业教学改革探析

——以广州商学院为例/向彩芬

## 107 商务英语跨文化人才培养与就业研究

——以广西民族师范学院为例/潘春梅 黄会路

## 110 双创教育模式下计算机网络综合性实验教学探讨

/王锦莉

## 113 应用型本科院校《进出口商品归类》课程教学探讨

/赵 雯

## 区域创新发展

## 116 “一带一路”背景下欧洲方向“新温带”成长规律研究

/刘永保 包雪梅 周玉琴

## 120 “一带一路”视域下陕西高校大学生就业创业观念现状与启示/王红梅

## 124 湖北自贸区仲裁制度建设探究/周爱荣

## 128 河南省打造人才高地战略研究/王会荣

## 131 海南民办高校办学自主权落实现状、阻碍与突破

/丁力玮 方艺华

## 管理论评

## 134 高校科研管理信息化促进策略研究

/周汉鸣 王 磊

## 139 城市农民工休闲体育发展困境与对策研究

/张鹏博 董 昕

## 142 低碳经济下企业管理模式创新研究/张 莹

## 145 基于 SVM 的个人信用评估模型研究/王 成

## 148 市场化改革中企业管理创新实践研究/刘盼希

## 151 新医改政策下医院财务管理与会计核算探析/吴婷婷

## 创新创业思维方法

## 154 创新思维与职业规划/吴 斌

## 157 黑龙江省创新方法工作推进模式研究

/李向南 吴永志 王春生

## 160 基于 TRIZ 理论的火力发电厂上煤系统破拱装置优化研究/石 志



理科课程教学与创新能力培养关系探讨<sup>\*</sup>

肖奎 罗子安

(湖南工学院,湖南 衡阳 421002)

**摘要:**在“大众创业、万众创新”的时代背景下,大学生的创新创业能力培养是高等教育强国的核心指标。能力的培养,最终落脚点在于课程,在课程教学过程中,要通过多种方式、多个维度,培养学生构建自身知识的能力、发现和解决问题的能力,将知识转化提升的能力。以理科课程教学为例,阐述了如何在教学过程中提升学生的创新能力。

**关键词:**理科课程;教学;创新能力

**中图分类号:**G642

**文献标识码:**A

**doi:**10.3969/j.issn.1672-2272.2019.01.023

## 0 引言

在“大众创业、万众创新”时代背景下,创新创业成为时代发展的关键词之一。创新是引领发展的第一动力,是建设现代化经济体系的战略支撑。要深化科技体制改革,建立以企业为主体、市场为导向、产学研深度融合的技术创新体系,加强对中小企业创新的支持,促进科技成果转化;要倡导创新文化,强化知识产权创造、保护、运用;要培养造就一大批具有国际水平的战略科技人才、科技领军人才、青年科技人才和高水平创新团队。

为办好创新人才培养,国家在高校人才培养方面多次发文进行引导。这些文件,均强调将创新创业教育融入人才培养全过程各环节。建设和完善创新创业教育体系,开设创新创业课程,建立创新创业学分积累和转换制度。

人才培养是高等学校的根本任务。课程作为人才培养的主阵地,如何在课堂教学中培养学生的创新创业能力,是每一个老师都需要进行认真思考的。本文以《理论物理导论》为例,介绍了如何在理科课程教学过程中培养学生的创新能力。

## 1 课程建设与创新能力培养

创新能力,是一种复杂的能力,是在实践中形成的解决问题的新颖或者适用的能力。也就是说,创新能力,必须从实践过程中获得。就大学生而言,获得创新

能力的途径有很多,这里从课程教学角度来阐述,如何在课堂教学中培养学生的创新能力。对本科生的创新能力培养,类似于研究生的创新能力培养,要从构建自身知识的能力、发现问题的能力、解决问题的能力及提升转化的能力等方面入手。但相对于研究生而言,本科生的知识面要求要更窄,知识掌握的专业程度和深度要求没那么强,但整体的内涵还是一致的。创新能力的培养包括:

(1)构建自身的知识体系。在人才培养方案制定过程中,各课程间有很强的逻辑关系。以材料物理专业的《理论物理导论》课程为例,其先修课程是高等数学、工程数学、大学物理等课程;而其又为《固体物理》《材料科学基础》等课程的先修课程。学生在学习《理论物理导论》之前,必须具有较为完备的数学知识和大学物理知识体系。遵循合理的教学程序,才能构建较为完备的知识体系,也才能为发现问题、解决问题、提升知识奠定基础。

(2)培养学生发现问题的能力。要提升学生发现问题的能力,必须摒弃灌输式教学,要加强课堂教学过程中对学生的引导、讨论及课后阅读。在教学过程中,将已有现象提出后,给予学生充足的时间,推动学生进行小组讨论,从课程内容的角度发现问题所在。在学生讨论过程中,做恰当的引导,提示关键词,帮助学生提升关键问题寻找的能力。在思考、讨论的同时,必须给予学生足够多的参考读物,让学生能更多、更快地发现问题。

<sup>\*</sup> 基金项目:湖南省普通高等教育教学改革研究项目“工程教育认证背景下材料物理专业创新创业人才培养模式探讨”(湘教通[2017]452号—527);湖南省大学生研究性学习与创新性实验计划项目“理论物理课程的研究性学习模式的探索与实践”(HNDCT1717)

作者简介:肖奎(1981—),男,博士,湖南工学院创新创业就业学院副教授,研究方向:理论物理;罗子安(1997—),男,湖南工学院数理科学与能源工程

学院材料物理专业学生,研究方向:材料物理。

收稿日期:2018-11-09



(3)提升学生解决问题的能力。解决问题能力的提升,有两个基本要求,第一个是具有足够的知识储备,第二个是具有足够的技术技巧。作为课程内的问题而言,知识储备通过知识体系来提供。在技巧方面,需要提升学生寻找关键点的能力,也就是提升学生分清问题主要矛盾和次要矛盾的能力。在例题和习题讲解过程中,教师必须要善于抓住主要矛盾,提示学生如何抓关键,如何处理次要矛盾。同时,在解决问题过程中,要善于从不同角度思考,启发学生采用不同的方法来解决同一个问题,锻炼学生的发散思维。

(4)善于将知识提升转化。知识提升转化,需要对基础课程和专业课程分开来说。对基础课程而言,其知识的提升和转化有两个方面的要求,一个方面是能将知识和生活相结合,第二方面是能将知识很好地应用到后续的专业课程中。对专业课程而言,更重要的一点就是能将知识和实践相结合,提升专业素养,为后续的工作的职业素养奠定基础。

就通过课程培养学生的创新能力而言,这四个方面是相辅相成的,一个环节都不能缺失。那么,在课时不断压缩的情况下,如何将四个环节恰到好处的融贯到课程教学中呢? 本文将以《理论物理导论》课程为实际例子,进行阐述。

## 2 模型建立与创新能力培养——以《理论物理导论》课程为例

《理论物理导论》课程是湖南工学院材料物理专业的学科基础课程,共计 64 课时,4 学分,囊括分析力学、量子力学、热力学与统计物理三大块,知识内容多、难度大。但在实际教学过程中,通过将创新能力培养四要素纳入到教学过程中,学生对知识的体系掌握相对较好。具体做法主要有以下四点。

(1)引导学生构建知识体系。在本门课程的教学过程中,知识体系的构建大部分由学生采用小组讨论的模式完成。为了方便学生讨论,第一次课就对学生分组,为保证讨论效果一般每组四人,且根据高等数学、大学物理两门课程的成绩进行搭配。在授课过程中,根据授课内容,让学生进行小组讨论,一般讨论时间根据内容的难易程度来确定,但讨论时间不宜超过 15 分钟。讨论结束后,通过自我推荐的模式发言,并要保证每个同学在一个学期的讨论中都有至少一次机会发言,发言情况计入到小组的平时分。比如,在讲解波函数的物理意义时,要求学生以小组为单位,查阅相关资料,明确波函数的物理意义。以此为基础,要求各小组同学利用已有的机械波的相关知识,对量子力学中的波函数与经典物理中的机械波的异同点进行讨论。通过比较、讨论、发言等过程,学生对本部分的知识体系基本构建完成。对后续课程的知识体系构建,因学生没有相关知识储

备,从而主要通过教师的讲授完成。

(2)提升学生发现问题的能力。理论物理导论课程涉及的知识非常广泛,要培养学生发现问题的能力,需要从课程内容的角度来引导。以热力学与统计物理中的三种统计方法为例,为使明确为何需要三种统计方法,在授课过程中,给定一个具体例子,比如,2 个粒子 3 个态的情况,给出不同统计中的粒子分布,要求学生以小组为单位,根据老师给出的结果,分析存在三种不同分布的原因。刚开始讨论的时候,在不查阅资料的情况下,大部分学生难以抓住要点,需要老师不断的进行引导。通过引导、讨论,绝大部分学生能明确三种统计的差异。这种通过讨论得出结论的方式,一方面能调动学生复习前面的知识,另一方面能提升学生积极思考和寻找问题关键的能力。

(3)提升学生解决问题的能力。该部分能力的提升,主要是通过习题和研究。习题方面,主要通过课前测验、课后习题等方面实现。课程的研究,主要吸引部分学生加入到课程开发中来,比如,通过鼓励学生参与对部分内容的数值模拟,加大学生对该课程的理解,本课程共计申报学校及省“大学生研究性学习与创新性实验计划项目”各一项,并利用数学软件 Mathematica 对课程中的部分计算进行了推导,对部分模型的波函数、能级进行了动画展示。

(4)提升学生的转化能力。考虑到该门课程的内容学生较为陌生,为提升学生的兴趣以及知识转化的能力,在授课过程中,将生活、电影、科幻小说等方面的内容纳入到教学体系中。比如,在讲解波函数的特性后,观看一小段《蚁人 2》中幽灵女的运动轨迹,并要求学生进行分析为何幽灵女能躲避击打等。通过类似事例,在提升学生学习课程兴趣,也能提升学生应用知识的能力。

本部分中,以《理论物理导论》课程为例,结合具体实例,阐述了如何在理科类课程中培养学生的在构建知识能力、发现问题能力、解决问题能力及提升转化能力,而大部分的内容通过小组讨论获得,从而提升了学生团队协作、交流表达的能力,为培养创新型人才奠定基础。当然,本文所阐述的,只是该门课程教学改革中的一部分,要全方位培养学生的能力,有文献认为,要坚持教材、教学、教师“三位一体”结合,也就是,要提升教师的知识面,要更新教材的教学内容,要改进教育教学的方式方法。教师根据教学要求及时代发展,阅读了大量跟课程内容相关的科技新闻、专业文献、科幻小说等,做好自身的知识储备;同时,在备课过程中,对教学内容进行了大量的重新编排,确保知识体系完整的前提下,增加授课内容的时代性。在课堂教学过程中,根据教学内容需求,实地取材,举出大量学生喜闻乐见的事例,加强学生对相关知识的理解和掌握。在考



核过程中,不能以分数论成败,从而在对学生的考核过程中,在加强过程考核的同时,要加强开放题型的考核,这样才能比较准确的了解学生对知识的掌握情况以及能力提升情况。

与文献[3]所提倡的教材、教学、教师“三位一体”不同,笔者认为,在创新能力培养过程中,教师还需要明确,教育教学过程,不仅仅是教师的事情,也是学生的事情。在教学过程中,要将学生纳入到备课过程中。将学生纳入备课过程,有几种实现方式:

(1)授课过程中纳入。对本门课程而言,一是教师邀请部分对某知识掌握不是很好的学生帮助批改作业。在批改作业之前,帮助他们将熟练掌握相关知识,再次基础上,请他们批改其他同学的作业,从其他同学的作业批改中发现知识的盲点,并对这些盲点进行讲解。二是邀请学有余力的同学查找相关教学资料、制作课程教学的小视频等,通过这种方式,进一步激发学生对课程的兴趣,为其深造或者后续课程学习奠定基础。

(2)课程后纳入。课程后纳入也有两种方式。一是做调查研究。授课的情况到底如何,学生最有发言权,在课程结束后,立即开展学生对该门课程的各个环节的满意程度进行调查。为确保调查的结果的可信度,最好采用匿名调查。根据调查结果,对下一轮的授课进行改进。二是通过申请相应的“创新创业训练计划项目”。在新工科建设的“天大行动”中,明确指出,要“努力实现50%以上工科专业学生参加‘大学生创新创业训练计划’”。在学生对课程的内容基本掌握后,可以根据学生对课程的兴趣,鼓励部分学生以“研究性学习”为主题,申报“大学生研究性学习与创新性实验计划项目”。

通过这两个过程,提升学生对课程改革的参与度,进一步提升学生的学习能力、自我管理能力,甚至于抗压以及对挫折的处理能力,为学生提升创新能力提供更多的能力支撑。

### 3 结语

教育部文件《关于引导部分地方普通本科高校向

应用型转变的指导意见》明确要求,地方本科院校要深化人才培养方案和课程体系改革,要更加专注培养学习者的技术技能和创新创业能力,将创新创业教育融入人才培养全过程,将专业教育和创业教育有机结合。创新人才的培养,最终落脚点在课程。如何在课程中培养学生的创新能力,这需要学校、教研室、教师多方联动,多渠道、多措施推动。对于理科类课程而言,很多学生反馈,授课内容与工程联系不紧密、与生活脱节,教师教学过程中多采用灌输式教学方式,从而导致学生的学习兴趣低,知识掌握不够扎实,更别论能力的培养。

在此背景下,本文根据所授课程的特点,结合创新人才培养的要求和实现路径,选择了从构建自身知识的能力、发现问题的能力、解决问题的能力及提升转化的能力等方面入手,通过对学生分组讨论等方式作为能力培养途径,切实提升了学生的创新意识和创新能力。所采用的是理科课程为例,阐述如何培养学生的创新能力,在实践教学过程中,结合课程特点、学生数量和特点、实验实践条件等,可以进行优化和改进,但所需要培养的能力是不变的。

在“大众创业、万众创新”的背景下,作为人才培养主阵地,高校要将创新作为人才培养的首要工作,而人才培养的最终落脚点在课程。在教学过程中,要结合课程特点,从四个能力提升为目标,对课程的教学内容、教学方法、教学手段等进行全方位的改革,才能担负其培养具有符合新时代发展的专门创新人才。

#### 参考文献

- [1] 唐光耀,杨金,谭远顺.研究生公共数学教育与创新能力的培养[J].鞍山师范学院学报,2018,20(6):18-22.
- [2] 董泽芳,何青,张惠.我国研究生创新能力的调查与分析[J].学位与研究生教育,2013(2):1-5.
- [3] 吴晓球.现代大学的责任:创新创业人才培养[J].北京教育:高教,2019(1):21-24.
- [4] 佚名.“新工科”建设行动路线(“天大行动”)[J].高等工程教育研究,2017(2):24-25.

(责任编辑 吴 汉)



RCCSE中国核心学术期刊；中国核心期刊（遴选）数据库收录期刊；

中国创业投资类核心期刊；中国学术期刊数据库统计源期刊；

中国期刊全文数据库全文收录期刊；湖北省优秀期刊

# 《科技创业月刊》征稿

国内统一刊号：CN42-1665/T 国际标准刊号：ISSN1672-2272

**办刊宗旨：**以“面向经济科技，服务创业创新”为宗旨，致力于中国技术资本与产业资本融合，创业发展的理论研究与实践，指导创业、推动创新。是关于创业理论、方法、政策、实践、投资及孵化全链条模式、高新技术产业发展、创业企业经营管理的大型指导类综合期刊；是科技教育领域、风险投资领域、科技孵化领域、新兴企业群体的理论工作者、企业家、科技人员、管理人员、学生的重要参考刊物和论文交流平台。

## 主要栏目设置：

• 创新创业论坛：创业理论、方法、政策研究；创业实践：当代实践理论与创业研究结合；创业失败研究；创业成长与战略；孵化全链条模式；高新技术企业发展；战略创业与知识溢出效应；创业风险与决策等。

• 创业与经济发展：海归人才创新创业和经济发展；创业与危机；创业与经济自由；创业活动对社会经济影响；创业风险与报酬；创业投资研究等。

• 创业人才与教育：新兴市场企业家创业精神培育；“千人计划”“百人计划”“黄鹤英才”等创业人才培养；高校创新创业教育发展方向；校企协同育人的创新创业教育模式探索；中国创客的新态势；创业导师制度研究；创新创业人才的高校创新创业实践教育；不同创业文化对创业教育及创业行为影响等。

• 区域创新发展：创业、创新与区域绩效；创业社区、枢纽、集群和公共政策；家庭创业、网络、团队和联盟；城市企业生态系统研究；区域孵化器协同合作等。

• 管理论评：创业认知与行为；公司创业与董事会的治理、领导；创业文化建设与创新；创业企业上市与挂牌；创业领导力的修炼；创业典型案例研究等。

• 创新创业思维方法：创业设计思维、精益创业研究、增长黑客研究、TRIZ等。

微信扫描下方二维码获取本刊论文模板及投稿方式：





刊号: CN11-4650/N

# 中国科技纵横

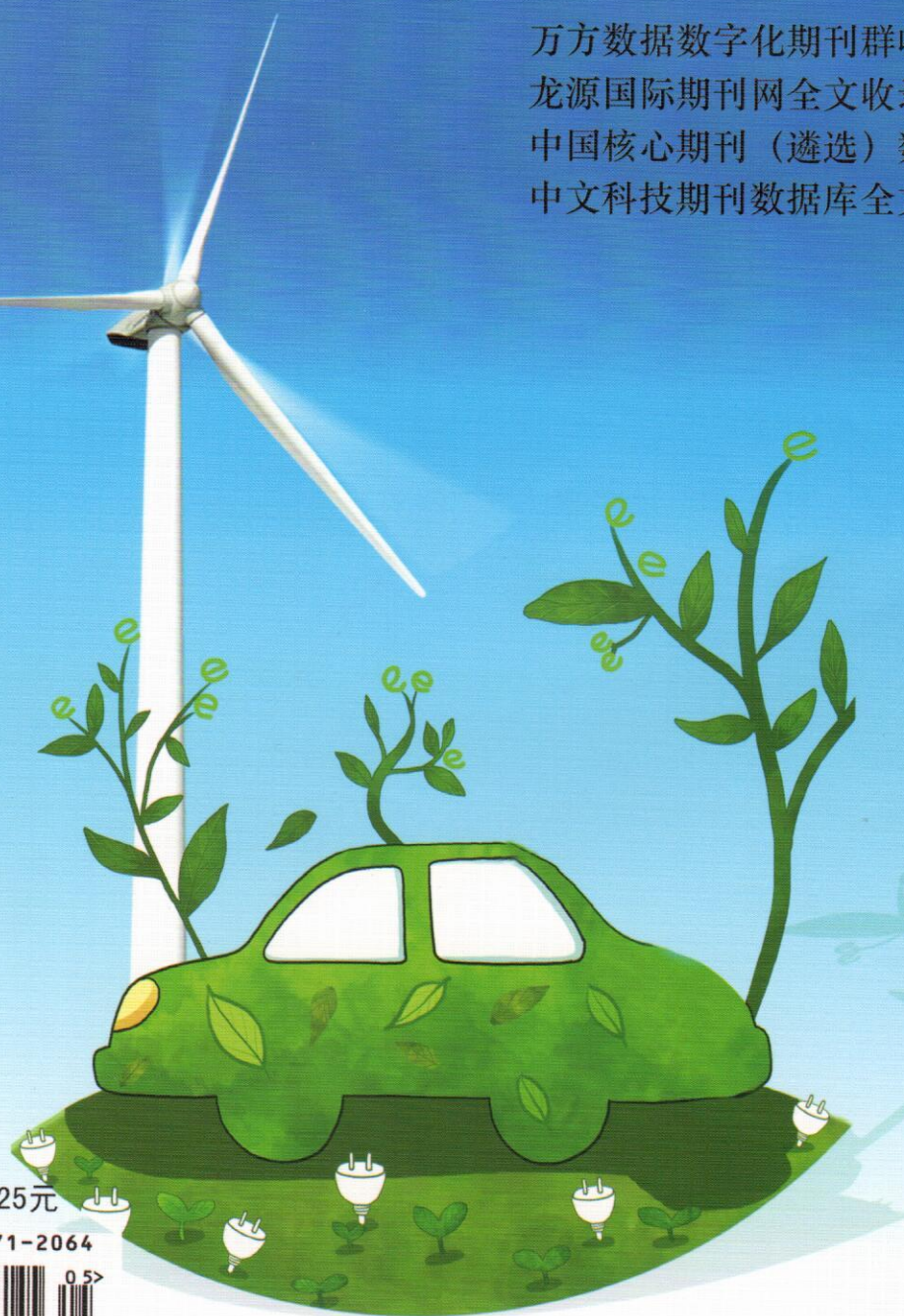
03<sup>上</sup>  
2019

主管: 中华人民共和国科学技术部

总第305期

万方数据数字化期刊群收录期刊  
龙源国际期刊网全文收录期刊  
中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊  
中文科技期刊数据库全文收录

定价25元  
ISSN 1671-2064  
9 771671 206145 05>





## 节能环保与生态建设

金沙江昭通段两侧环境生态屏障保护恢复建设研究 .....	周一波 1
环境监测综合管理系统在钢铁企业的研发与应用 .....	袁伟 3
同步检测柴油机排放物气体成分及不透光度的检测系统 .....	叶校波 5
关于环保监测应急系统的现状及应用研究 .....	李映鹏 7
中小型城镇污水处理厂提标改造技术探讨 .....	金东辉 9
浅析化工在悄然走红的循环经济中的作用 .....	黄帅 11
讨论垂管方式下环境监测质量管理体系的变化及对策 .....	陈奉军 13
温州市城区非点源总氮和总磷负荷量估算研究★ .....	王学东 黄宏 15
乌鲁木齐阴雾天气统计分析 .....	孙少明 张茜 王楠楠 杜安妮 18

## 信息技术与应用

大数据在石油石化行业统计信息系统中的设计应用 .....	张熔 20
基于shell脚本配网自动化终端在线率异常自动检测方法 .....	杨仁利 吴淑思 22
门诊中医综合治疗区智慧管理系统的研发与应用★ .....	徐明珍 潘晓东 周维龙 林基伟 吴海滨 24
大数据环境下地方党校图书馆数字化建设 .....	吴根珍 26
基于神经网络的手写体数字的识别 .....	宋季泽 28
基于大数据背景下人工智能与计算机应用研究 .....	卢文成 30
VB编程在管线排水量计算中的应用 .....	李兆崔 张为华 席晓 宋章亮 32
现代飞机模拟显控系统软件测试平台的设计分析 .....	李勤 尹馨 王铁军 36

## BIM+3DGIS技术在智慧城市基础设施及数字化管线运管系统中的应用与研究 .....

刘百韬 潘艳艳 李梦培 马文新 沈辰楠 37	
人工智能在VoLTE语音质量评测优化中的应用与研究 .....	李飞 曹雷雷 付永振 42
以人工智能为例浅析计算机科学技术对智能生活的影响 .....	金雨欣 45
关于数据库加密技术的设计与应用研究 .....	黄萍 47
R语言的图形边框 .....	耿秀华 冀建平 49
车载接触网缺陷在线智能识别系统 .....	陶岩 51
熔融沉积式3D打印路径优化算法研究★ .....	周名侦 黄健霏 余金荣 53
浅析智慧城市中的新一代信息通信技术 .....	冯芃博 55
地理信息质检数据库建设和应用的技术 .....	范璐 58
钢铁行业中两化融合体系的应用 .....	范春迎 马一然 吴卫亮 60
基于脑电信号的飞行员工作负荷识别研究 .....	何金松 吴东苏 62

## 工艺设计改造及检测检修

起重机主梁上拱度检验技术分析 .....	周科 虞杰 66
影响便携式镜面露点仪测定天然气水露点的准确度因素的研究 .....	张馨予 68
复晶砂、粉在硅溶胶精密铸造面层制壳中的应用 .....	张建雄 70
一种自变形轮胎式轨道铺板门式起重机的研究 .....	苑喜斌 72
钻具正弦波形螺纹的成形原理及牙形分析 .....	薛明星 74
浅谈中波重型发射塔的架设方法 .....	徐暴 76
无卤阻燃型覆铜板的发展研究 .....	谢灿强 78
水平式安装金属管浮子流量计的仿真与实验研究 .....	王孟军 80
铝电解用预焙阳极原料石油焦混配技术 .....	王桂琴 82
热轧加热炉结瘤问题剖析与治理 .....	田凯 84



隔膜压缩机高压段柱塞、缸套材料与摩擦副间隙试验 .....

..... 路伟 郭殿文 安俊霖 丛雨飞 86

汽车内燃机曲轴锻件生产分析与研究 .....

..... 林升垚 88

管道对接焊缝常见缺陷的危害及其超声波波形辨别 .....

..... 葛玉雄 90

某车型遥控钥匙失效问题分析 .....

..... 李宇斌 92

机械结构稳定性设计探讨 .....

..... 郎帅 95

浅谈铁路大型养路机械使用和管理 .....

..... 贾飞 97

固定式燃气内燃机SCR系统尿素喷嘴设计及试验研究★

..... 洪浩楠 叶燕仙 99

浅析隔膜压缩机无配油盘技术的发展 .....

..... 郭殿文 路伟 王晓龙 101

某型飞机飞参系统漏记原因探讨与分析 .....

..... 冯宇 103

NB窄边框机种BLU遮光胶带偏移不良改善研究 .....

..... 杜彤 105

304不锈钢表面激光高熵合金化 .....

..... 董振 浦一凡 107

浅谈焊接缺陷与预防的分析与研究 .....

..... 柴志亮 110

## 工程设计施工与管理

高速公路监控系统的现状及其发展 .....

..... 张文超 112

公路工程监理工作质量影响因素分析 .....

..... 张瑞霞 114

沥青微表处施工技术探讨 .....

..... 张国泉 116

高速公路现浇景观护栏施工(新施工工艺) .....

..... 于丽恒 118

市政园林绿化工程造价优化管理研究 .....

..... 易云鹏 120

山区高速公路特长隧道施工风险评估及安全控制措施研究

..... 姚伟 122

高速公路养护工程造价编制分析 .....

..... 王兴龙 124

机械化施工配套在高速铁路隧道施工中的应用 .....

..... 王海东 126

浅谈水利工程施工中的安全管理措施 .....

..... 孙福祥 128

基于市政桥梁优化设计的研究 .....

..... 施海峰 130

浅析公路工程中路面垫层施工技术 .....

..... 盛慎勇 132

高速公路养护维修中常见病害处理措施 .....

..... 苗国军 134

关于高层建筑地基沉降与控制研究 .....

..... 孟凌娟 麻晔 136

建筑设计阶段BIM技术的实践与探究 .....

..... 刘星雨 138

大跨度钢结构异型金属屋面防水施工 .....

..... 刘彪 高俊 李杰 王闯 140

道路桥梁设计的现状与改善措施研究 .....

..... 李理 田齐文 142

大坝坝体变形监测技术及其应用分析 .....

..... 姜新元 144

浅谈道路交叉口设计 .....

..... 封志军 146

高速铁路桥梁综合接地施工技术要点 .....

..... 方国强 148

基于锈蚀电位的复合式衬砌钢架锈蚀规律研究 .....

..... 崔学忠 150

高速公路沥青混凝土路面施工质量管理研究 .....

..... 常冬梅 155

一种隧道口零距离架梁的公路架桥机的研究与应用 .....

..... 曹静蕾 157

小断面隧洞TBM掘进同步钻孔灌浆施工技术研究与应用

..... 景小青 周建龙 159

油气、地矿、电力设备管理和技术

关于新能源风力发电的发展探讨 .....

..... 赵嘉伟 赵正杰 李先龙 161

水电站建设征地移民安置创新实施长期实物补偿的研究

..... 杨平 赵迪华 徐恒健 叶正飞 163

基于RFID技术的电力资产设备管理系统研究与应用 .....

..... 谢志杨 李志锦 甄卫国 165

10kV电力线路的运行维护与检修 .....

..... 王效民 孙晓东 167

基于IEC61850的主变铁芯电流远程采集智能终端开发 .....

..... 宋庆林 李辉 169

..... 宋庆林 李辉 169



基于适用于变电站的结合电力五防的新型智能锁具设计研究

..... 沈华 林林 陈葛亮 172

油气储层预测甜点属性的研究与应用 .....

任秋月 174

土壤中重金属形态化学分析策略研究 .....

刘兴锋 177

基于大数据的风电场风能资源及风机选型评估 .....

..... 梁旭东 179

矿井通风技术和通风系统改进分析 .....

黄旭利 181

纳米导电精在城市轨道交通的应用 .....

郭栋 183

1000MW超超临界机组锅炉高温过热器泄漏原因分析 .....

..... 宫伟基 王志荣 张建立 185

大型露天矿高台阶排土工艺及安全管理措施探讨 .....

..... 杜晓诗 187

浅析110kV山会变电站自动化系统 .....

杜春丽 189

矿山化验室金分析结果精准度的提升路径研究 .....

..... 曹年凤 191

企业低压配电系统设计优化措施研究 .....

蔡舜庆 193

## 消防安全与防雷减灾

浅谈南京地区农村消防工作问题及对策 .....

周学宁 195

## 医学综述

Y染色体多个Y-STR等位基因缺失一例★ .....

..... 张茵 杨璐瑜 黄仁武 刘林林 197

HPLC法测定杏香兔耳风熊果苷和对苯二酚的含量 .....

..... 杨飞 199

2018年上半年大连地区食品药品投诉举报(咨询)信息的分析 .....

..... 刘莹 孙睿 刘尧 李宪刚 张敬武 201

建立大连市药品不良反应补偿制度的调查问卷分析 .....

..... 范平平 邵建芳 丛林 董薇 203

一种新型智能吸药器 .....

..... 刁勋涛 周劲松 205

中医药治疗三阴乳腺癌的研究进展 .....

柴鑫心 207

## 学术研究

加强改进国有企业先进典型选树工作研究报告 .....

..... 苏培霜 汤卫中 彭静 喻萍 李义勇 211

篮球罚篮落点对命中率影响的数学模型 .....

..... 张弘毅 213

加速棉花纤维检验技术在整个棉花产业中的运用 .....

..... 于杰 216

微扰理论的可视化—以一维线性谐振子为例★ .....

..... 肖奎 罗子安 218

浅谈电影放映技术的应用以及未来发展趋势 .....

..... 吴小青 220

浅谈数字电影放映技术在农村文化建设中的重要性 .....

..... 吴传胜 222

旅客列车开行方案评估研究综述 .....

..... 郭春兰 224

浅谈飞机维修计划控制优化的重要性 .....

..... 王建德 226

基于SWOT分析法的湖南省创建长株潭国家军民融合创新示

范区研究 .....

..... 唐朋 228

浅谈对外协队伍机械设备的管理 .....

..... 苏平 何龙彪 230

浅谈企业设备管理 .....

..... 蒲永彦 232

浅谈电力机车重载列车在神朔铁路的应用和发展 .....

..... 吕硕亮 234

浅谈玻璃钢管道性能与应用 .....

..... 刘卫东 236

网络环境下的公民法律意识与法律规范差异的原因分析 .....

..... 李梓玉 238

浅谈玻璃钢管道性能与应用 .....

..... 关辉 240

南京空管CDM运行特点分析及改进建议 .....

..... 官利苹 242

基于现代造船模式的精度管理研究 .....

..... 单文强 244

中国新型智库人才队伍评价的研究 .....

..... 陈卓 时艳琴 石雅婷 张伟 李杨 常颖 246

对科技成果转化评价指标体系的分析 .....

..... 陈思英 249

水管内汽液两相流压降计算研究 .....

..... 陈敏 251

对我省科技馆建设的对策与建议 .....

..... 陈飞 253

多角度探究解析几何的应用研究 .....

..... 白天羽 255

注: ★号论文为基金资助论文。



# 微扰理论的可视化 ——以一维线性谐振子为例\*

肖奎 罗子安  
(湖南工学院,湖南衡阳 421002)

**摘要:**对许多实际物理问题而言,哈密顿量比较复杂,使得薛定谔方程精确求解难以实现,需要发展近似方法,微扰理论是量子力学中的一种近似方法。量子力学中的微扰理论,有一套完备的计算步骤,但计算过程相对较为繁杂,较难直观展示微扰理论的物理内涵。为了直观展示微扰理论对波函数及能级产生的影响,本文以一维线性谐振子为例,做简谐振动的粒子为带电粒子,当其处在弱电场中时,会受到微扰。本文借助Mathematica软件,展示带电谐振子处在弱电场时,能量及波函数的变化情况。

**关键词:**量子力学;一维线性谐振子;微扰;Mathematica

**中图分类号:**0413.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1671-2064(2019)05-0218-02

量子力学中的定态问题,通过解薛定谔方程,原则上可以得到哈密顿算符的本征值谱和本征函数系。但当哈密顿算符比较复杂的时候,很难获得薛定谔方程的精确解。量子力学发展了很多近似的方法,比如微扰理论、变分法等。本文以一维线性谐振子为例,当谐振子处在外电场的情况下,并利用Mathematica来展示如何直观的展示波函数和能量的变化情况。

## 1 模型

考虑一个带电粒子,其电量为 $q$ ,如果该粒子做简谐振动,其哈密顿量为:

$$\hat{H}_0 = \frac{\hat{p}^2}{2m} + \frac{1}{2}m\omega^2 x^2$$

在不考虑微扰的情况下,谐振子的能量及波函数为<sup>[1]</sup>:

$$E_n = (n + \frac{1}{2})\hbar\omega$$

$$\psi_n(x) = \left(\frac{\alpha}{\sqrt{\pi}2^n n!}\right)^{1/2} \exp[-\xi^2/2] H_n(\xi), n=0,1,2,\dots$$

考虑粒子处在一个外电场 $\vec{E} = \epsilon x \vec{l}$ ,假定 $\epsilon$ 是一个小量,则可以看作为微扰。此时哈密顿量转化为:

$$\hat{H} = \hat{H}_0 + \hat{H}' = \frac{\hat{p}^2}{2m} + \frac{1}{2}m\omega^2 x^2 - q\epsilon x$$

通过求解方程,可以得到微扰后的能量和波函数为<sup>[2]</sup>:

$$E_n = (n + \frac{1}{2})\hbar\omega - \frac{q^2 \epsilon^2}{2m\omega^2}$$

$$\phi'(x) = \phi\left(x - \frac{q\epsilon}{m\omega^2}\right).$$

可见,当带电谐振子处在弱外电场时,其能级以及波函数都相应的发生了变化。微小量 $\epsilon$ 对波函数的影响显而易见,即谐振子的平衡位置发生了平移。但其对能级的影

响情况是怎样的?单从公式的表述中难以得到一个直观理解。为了得到一个直观的理解,可以借助数学软件实现。借助数学软件理解量子力学,国内外已经有大量的实例<sup>[3,4]</sup>,这里,我们采用Mathematica软件,比较上述实例中的波函数及能级变化情况。

## 2 图形展示

在Mathematica网站中,对谐振子的微扰进行了两种不同情况下的展示。本文采用比较简单的命令,来实现微扰理论的可视化。在Mathematica软件中,利用内部命令Manipulate 可以实现对控件的操作,其基本形式为:

Manipulate[expr, {u, u<sub>min</sub>, u<sub>max</sub>, du}]

其作用是产生一个带有控件的expr表达式版本,该控件允许对u的值进行交互式操作,其中u<sub>min</sub>, u<sub>max</sub>分别是u的最小值和最大值,du表示从最小值到最大值以du步长变化。

为了方便,我们直接令质量 $m=1, \hbar=1$ 。为了能比较波函数及能量微扰前后的变化情况,这里我们采用Mathematica中的内部命令Manipulate进行演示。代码如下:

```
phi[n_, x_, e_] := 1/Sqrt[Sqrt[Pi] 2^n n!] Exp[-(x-e)^2/2] HermiteH[n, x-e]
En[n_, e_] := (n+1/2) - e^2/2
Manipulate[
  {Plot[{Evaluate[phi[n, x, e]], Evaluate[phi[n, x, 0]]},
    Evaluate@{x, -Sqrt[n] - 4, Sqrt[n] + 4}, Frame -> True, Axes -> False,
    ImageSize -> {500, 400}, ImagePadding -> {{30, 20}, {20, 20}},
    PlotStyle -> {{Red}, {Black, Dotted}}},
  Plot[Evaluate[En[n, e]] - Evaluate[En[n, 0]], {x, 0, 0.5}, Frame -> True,
  Axes -> False, ImageSize -> {500, 400}, ImagePadding -> {{30, 20}, {20, 20}},
  PlotStyle -> DotDashed],
  {{n, 0, "能级"}, 0, 10, 1}, {{e, 0, "微扰"}, 0, 0.1, 0.02}]
```

其中左图中红色实线表示未受微扰的波函数,黑色点线表示微扰后的波函数;右图表示微扰前后的能级差。

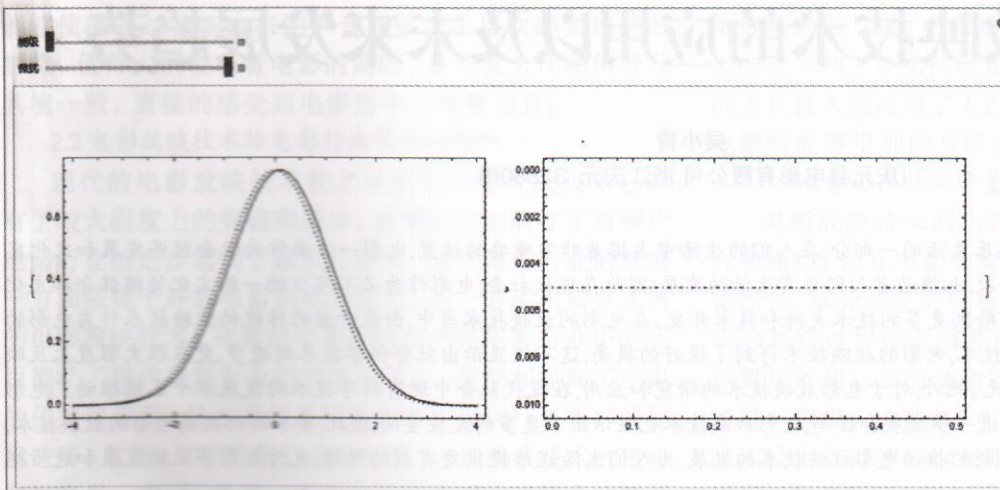
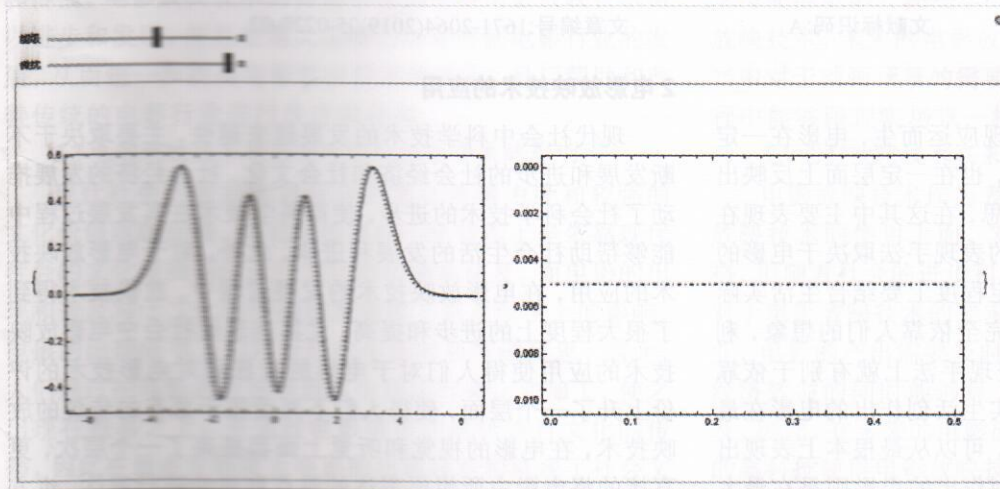
为了能分析不同能级,不同微扰给波函数及能级带来

收稿日期:2019-01-12

\*基金项目:湖南省大学生研究性学习与创新性实验计划项目《理论物理课程的研究性学习模式的探索与实践》(项目编号:HNDC1717)

作者简介:肖奎(1981—),男,汉族,湖南宁乡人,博士,副教授,研究方向:理论物理;罗子安(1997—),男,汉族,湖南娄底人,本科在读,研究方向:材料物理。



图1  $n=0$  的情况下,微扰前后波函数的变化及微扰前后能级差图2  $n=1$  两种情况下,微扰前后波函数的变化及微扰前后能级差

的差异,我们设置了两控件,分别为能级 $n$ 及微扰量 $\epsilon$ ,其中 $n \in [0, 10]$ , $\epsilon \in [0, 0.1]$ ,步长分别为1及0.02。为了方便比较能级的关系,我们直接用微扰后的能量减去未微扰的能量。运行上述程序,可以得到不同情况下的未微扰波函数和能级与微扰后的波函数和能级的关系,具体展示如图1及图2。

通过调整微扰能量 $E[n, \epsilon]$ 、波函数 $\phi[n, x, \epsilon]$ ,及控件 $n, \epsilon$ 的取值范围,可以得到不同微扰情况下,未微扰波

函数与微扰波函数的关系。

### 3 结语

由于量子力学所研究体系的哈密顿量算符一般比较复杂,从而能严格求解的薛定谔方程非常少。引入微扰理论获得薛定谔方程就显得非常重要。微扰理论的求解往往都是直接对方程进行运算,但微扰对原来波函数及能级所产生的影响到底有多大,很难得到一个直观的印象。本文利用Mathematica计算软件,对一维线性谐振子的微扰理论进行了分析,比较直观的展示了微扰对原波函数以及能级的影响,为进一步深入理解相关物理知识奠定了基础。

本文展示了如何实现微扰理论的可视化,同时,借用Mathematica软件中的“量子力学应用的函数”,可以进行更多模拟和展示。

### 参考文献

[1] 仲顺安,田黎育,等.理论物理导论(第3版)[M].北京:北京理工大学出版社,2014.

[2] David J. Griffiths, Darrell F. Schroeter, Introduction to Quantum Mechanics (3rd Edition)[M].Cambridge: Cambridge University Press,2018.

[3] 陈凤翔,汪礼胜,谭改娟,许文英.量子力学虚拟实验的MATLAB演示[J].大学物理,2012,31(05):58-61+65.

[4] 鲍曼.理论物理中的Mathematica——电动力学,量子力学,广义相对论和分形[M].北京:科学出版社,2011.

## Visualization of the Perturbation Theory

### ——Taking 1D Linear Harmonic Oscillator as an Example

XIAO Kui, LUO Zi-an

(Hunan Institute of Technology, Hengyang Hunan 421002)

**Abstract:** For many problems, the Hamiltonian is very complex, then it is impossible to solve the Schrodinger equation. In this case, the approximation method needs to be developed. The perturbation theory is one of the approximation methods in quantum mechanics. The perturbation theory has a very complete calculation steps, but it is difficult to get the physical connotation. In order to show the influence of the perturbation theory on the wave function and energy, as an example, we investigated a perturbed 1D linear harmonic oscillator. Considering a charged particle, and the perturbation field is a weak electric field, we showed the difference in the wave function and energy before and after perturbation.

**Key words:** quantum mechanics; 1D linear Harmonic Oscillator; perturbation; Mathematica







# 用稿通知书

肖奎，罗子安作者：

您的作品《一维线性谐振子波函数及几率分布的可视演示》经编辑部评审，符合本刊要求，决定采用。拟安排刊登在本刊 2019 年第 3 期并将被收录在：中国知网、维普、万方、龙源、超星、中国期刊网、中国学术期刊（光盘）等。

特此通知。

《企业科技与发展》编辑部

2019 年 1 月



主管：广西科学技术厅

国内统一刊号：CN 45-1359/T

邮发代号：48-158

邮政编码：530022

主办：广西科学情报技术研究所

国际统一刊号：ISSN 1674-0688

电话：0771-5302017

地址：广西南宁市星湖路 24 号《企业科技与发展》编辑部



# 一维线性谐振子波函数及几率分布的可视演示

肖奎<sup>1</sup>, 罗子安

(湖南工学院, 湖南 衡阳, 421002)

**摘要:** 本文探讨如何将数学软件引入到教学中, 更好的辅助学生理解量子力学中相关物理理论。本文以一维线性谐振子为例, 利用 Mathematica 软件中的内部命令 Manipulate, 分别展示以为线性谐振子的波函数和几率密度图样。

**关键词:** 量子力学, 一维线性谐振子, 波函数, Mathematica

## Visual demonstration of the wave function and probability distribution of the 1D linear harmonic oscillator

Xiao Kui, Luo Zian

(Hunan Institute of Technology, Hunan Hengyang 421002)

**Abstract:** To help students understand quantum mechanics, we introduced Mathematica to our class. As an example, we showed how to use the Manipulate in Mathematica to display the wave function and probability distribution of 1D linear harmonic wave function.

**Key Words:** quantum mechanics, 1D linear harmonic oscillator, wave function, Mathematica

简谐振动, 在自然界中广泛存在, 所有在平衡位置附近做微小振动一般都可以视为简谐振动。晶体中, 原子在某个平衡位置的振动, 其形式和简谐振动类似, 但原子的振动本质上是量子谐振子。深入研究量子谐振子, 有助于晶体性质深入学习<sup>[1]</sup>。一维线性谐振子的可视化, 已有部分文献进行讨论<sup>[2,3]</sup>, 本文以 Mathematica 软件为例, 利用控件, 探讨一维线性谐振子的波函数及几率密度的变化, 使学生能更直观的认识波函数及几率密度的物理意义。

### 1. 一维线性谐振子的波函数和几率密度

考虑一维线性谐振子的势能为  $U(x) = kx^2 / 2$ , 则薛定谔方程为

$$-\frac{\hbar^2}{2\mu} \frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{1}{2} kx^2 \psi = E\psi$$

该方程的解为

---

<sup>1</sup> 基金项目: 本文受湖南省教育科学“十三五”规划课题《地方应用型本科院校创新创业人才培养模式研究》(编号: XJK17BGD015); 湖南省普通高等学校教学改革研究项目《工程教育认证背景下材料物理专业创新创业人才培养模式探讨》(湘教通[2017]452号-527); 湖南省普通高等学校教学改革研究项目《多维立体化教学模式在《大学物理》课程中的应用实践探索》(湘教通[2018]436号-822)及湖南工学院大学生研究性学习与创新性实验计划项目及湖南省大学生研究性学习与创新性实验计划项目“理论物理课程的研究性学习模式的探索与实践”(编号: HNDC1717)的资助。

作者简介: 1. 肖奎 (1981.6-), 男, 汉族, 湖南宁乡人, 博士, 湖南工学院 创新创业就业学院, 副教授, 研究方向: 理论物理。

2. 罗子安 (1997.10-), 男, 汉族, 湖南娄底人, 湖南工学院 数理科学与能源工程学院, 2015 级材料物理专业, 在读本科生, 研究方向: 材料物理。



$$\psi_n(x) = \left( \frac{\alpha}{\sqrt{\pi} 2^n n!} \right)^{1/2} \exp[-\xi^2/2] H_n(\xi), n = 0, 1, 2, \dots$$

其中,  $\alpha = (\mu\omega/\hbar)^{1/2}$ ,  $\omega = k/\mu^{1/2}$ ,  $\xi = \alpha x$ 。  $H_n(\xi)$  为厄米多项式。一维线性谐振子的能量为  $E_n = (n+1/2)\hbar\omega$ 。其几率密度为  $|\psi_n(x)|^2$ 。

## 2. 波函数及几率密度的作图

Mathematica 中, 利用内部命令 Manipulate 可以实现对控件的操作, 其基本形式为:

Manipulate[expr,{u,u<sub>min</sub>,u<sub>max</sub>,du}]

其基本含义为, 产生一个带有控件的 expr 表达式版本, 该控件允许对 u 的值进行交互式操作, 其中 u<sub>min</sub>, u<sub>max</sub> 分别是 u 的最小值和最大值, du 表示从最小值到最大值以 du 步长变化。

根据一维线性谐振子的波函数, u<sub>min</sub>=0, du=1, 设置 u<sub>max</sub>=20, 其代码为:

```
ψ[n_,x_]:=1/Sqrt[Sqrt[Pi]2^n n!] Exp[-x^2/2] HermiteH[n,x]
Manipulate[
  Plot[Evaluate[ψ[n,x]], Evaluate@{x,-Sqrt[n]-4,Sqrt[n]+4},
  Frame→True,Axes→False,ImageSize→{500,400}],
  {{n,0,"能量"},0,100,1},SaveDefinitions→True]
```

为了方便, 我们直接令质量  $\mu=1, k=1, \hbar=1$ 。可以展示不同能级的波函数, 这里设置的是 n=0 到 n=100 的能力, 根据需求, 可以调节{{n,0,"能量"},0,100,1}中的“0”和“100”以及步长“1”。

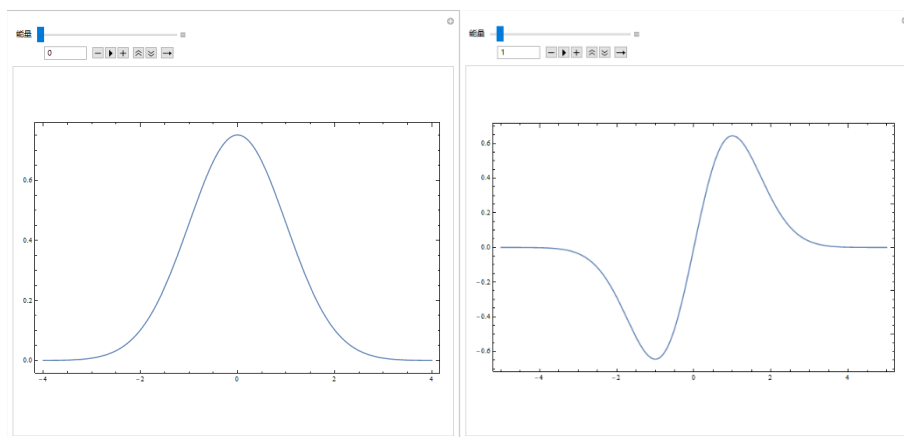


图 1 一维线性谐振子的波函数交互式图样 (n=0, 1)

通过调节控件, 可以直接得出不同情况下的波函数图样, 可以直观的让学生感受到不同能量情况下的波函数。

为了得到几率密度与波函数图样的关系, 可以在 Manipulate 中加入概率的相关命令, 代码为:



```


$$\psi[n, x] := 1/\text{Sqrt}[\text{Sqrt}[\text{Pi}] 2^n n!] \text{Exp}[-x^2/2] \text{HermiteH}[n, x]$$

Manipulate[
  {Plot[Evaluate[ $\psi[n, x]$ ], Evaluate@{x, -Sqrt[n] - 4, Sqrt[n] + 4},
    Frame → True, Axes → False, ImageSize → {500, 400}],
    Plot[Evaluate[ $\psi[n, x]^2$ ], Evaluate@{x, -Sqrt[n] - 4, Sqrt[n] + 4},
    Frame → True, Axes → False, Filling → Axis, ImageSize → {500, 400},
    PlotLabel → "概率"]},
  {{n, 0, "能量"}, 0, 100, 1}, SaveDefinitions → True]

```

其交互式图形见图 2。通过调节控件，可以分别得到不同波函数图样以及概率图样。

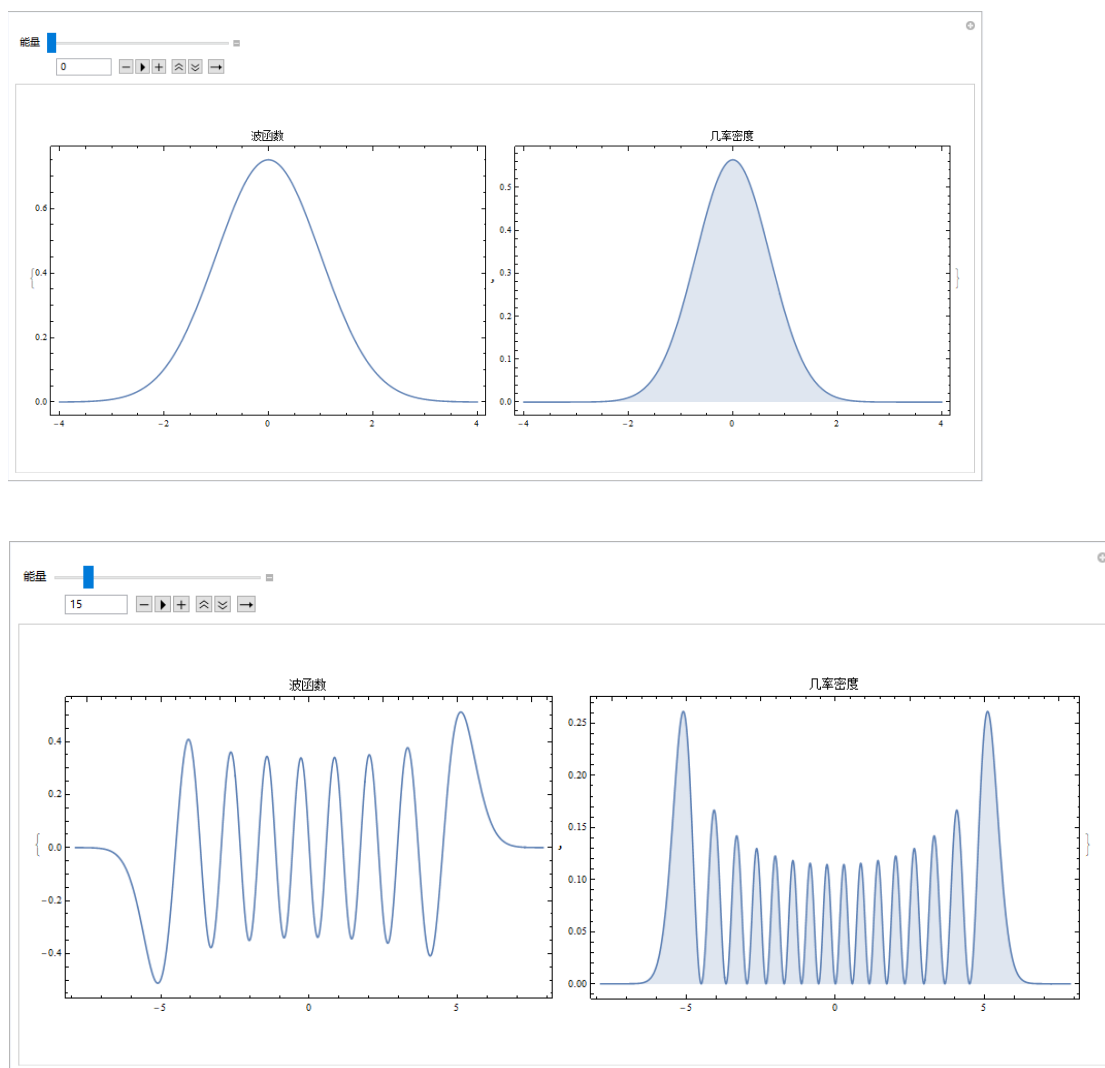


图 2 一维线性谐振子的波函数交互式图样 ( $n=0, 15$ )

从概率图中可以看出，当  $n>2$  时一维谐振动的粒子的波函数及几率密度呈现中间小，两头大的情形，张迪等已经进行了比较详细的讨论<sup>[3]</sup>，这里不再阐述。

### 3. 结语

理论物理导论是材料物理专业的学科基础课，涉及到分析力学、量子力学、热力学与统计物理，内容多、数学基础要求高、难度大。为了利用有限的课时，将物理概念讲深讲透，不能纯粹只利用板书教学，需要将所授知识可视化。Mathemtaica 等数学软件，为数学知识



内容可视化提供了便利。本文以谐振子的波函数和几率密度为例,以 Mathematica 的可控件操作,直观的展示了波函数、几率密度与  $n$  的变化情况,可以直观的展示  $n$  变化的情况下,波函数及几率密度的变化,为学生更深刻的理解谐振子的相关物理性质奠定了基础。

参考文献:

- [1]. 仲顺安,田黎育等, 理论物理导论(第3版)[M],北京:北京理工大学出版社,,2014:43-47.
- [2]. 陈美华.一维线性谐振子的波函数和几率密度作图方法探讨[J].怀化学院学报,2009,28(02):111-113.
- [3]. 张迪,王丽,姜其畅,苏艳丽.量子力学中线性谐振子的可视化研究[J].运城学院学报,2015,33(03):34-36.