

高等学校物理实验教学示范中心系列教材

大学物理实验

樊国梁 主编 那日 副主编

高等教育出版社

高等学校物理实验教学示范中心系列教材

大学物理实验

DAXUE WULI SHIYAN

樊国梁 主编 那日 副主编

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是在总结长期的物理实验课建设和教学改革的经验基础上,按照教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》(2010年版),结合面向21世纪高等教育教学改革发展的需要而编写的。

全书共分7章,59个实验项目,由演示实验、预备实验、综合实验、设计性实验、研究性实验组成,可供教师根据不同需要组织教学,灵活性大。书后列出了常用实验仪器以及大学物理仿真实验内容,以拓宽学生知识面,发展学生个人兴趣,体现出时代性和先进性,提高学生的创新能力,以适应时代发展的要求。

本书可作为高等学校物理实验课程的教材和教师的教学参考书,也可供广大工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/樊国梁主编.--北京:高等教育出版社,2015.9

ISBN 978-7-04-043103-2

I. ①大… II. ①樊… III. ①物理学-实验-高等学校-教材 IV. ①O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 141202 号

策划编辑	王 硕	责任编辑	王 硕	封面设计	李小璐	版式设计	于 婕
插图绘制	杜晓丹	责任校对	刘丽娟	责任印制	张泽业		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京天时彩色印刷有限公司
开 本 787mm×960mm 1/16
印 张 18.75
字 数 340 千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2015 年 9 月第 1 版
印 次 2015 年 9 月第 1 次印刷
定 价 32.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 43103-00

前言

本书是根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科大学物理实验课程教学基本要求》(2010年版),结合我国高校应用型人才培养体系,为培养素质高、能力强的应用型人才的教育教学需求而编写的。

1992年我国制定的《物理专业基本培养规格和教学基本要求》中提出了课程目的:“培养学生良好的实验素质和技能,通过普通物理学实验的教学,使学生掌握物理实验的基本知识、基本方法,并在实验的基本技能方面得到较系统和较严格的训练”。以此目的为主线编写教材时,我们力图通过课程训练,激发学生的学习热情,提高学生的综合思维 and 创新能力。本书在内容编排上,打破了旧的实验课程体系中“力、热、光、电”的顺序和专业界限,按照演示实验、预备实验、综合实验、设计性实验、研究性实验的顺序,由浅入深、循序渐进,同时充分考虑到理工科有关专业特点及基础课教学的需要,既有专业特点,又具有普及性,既有普通物理的经典实验,也有结合现代特点的实验,学生可以根据自己的专业特点和兴趣进行选择。

在编写过程中,我们参阅了大量国内物理实验的优秀教材,同时融入了我校实验教师多年积累的教学经验。本书是物理实验中心全体教师辛勤劳动的结果,是集体智慧的结晶。

本书的编写得到了学校和学院有关领导的大力支持,在此表示由衷的感谢,同时感谢几十年来在我校物理实验教学中作出贡献的所有老师。

本书由樊国梁主编,由樊国梁绘制全部插图并统稿。

由于编者水平和条件有限,书中难免有不妥之处,欢迎读者批评、指正,希望能在再版时修订。

编 者

2014年8月于内蒙古大学

学生实验守则

为了培养学生良好的实验素质和严谨的科学态度,保证实验顺利进行和进一步提高教学质量,特制定以下实验制度:

1. 课前认真预习,掌握实验原理及仪器操作规程,写出预习报告,经教师检查同意后方可进行实验,无预习报告者取消实验资格。

2. 上课不迟到,不早退,不旷课。无正当理由迟到者实验要扣分,迟到超过15分钟以上者教师有权取消其本次实验资格;无故缺课者按旷课处理,旷课3次以上者实验课程总成绩记零分;请假需学院开具假条,管理员同意备案后方可重新选课。

3. 上课须携带学生证,实验必须独立完成并做好相关实验记录。严禁伪造和抄袭数据,或替做实验,一经发现,取消实验资格,实验课成绩按作弊处理,并上报学校给予相应处分。

4. 必须严格按照实验要求和仪器操作规程进行实验,对违反操作规程的学生,教师有权按照相关规定处理。

5. 按签到顺序就座后检查仪器是否完好,如有缺损及时报告教师处理;做完实验,学生应将仪器整理还原,将桌面和凳子收拾整齐,教师审查测量数据并签字后,方可离开实验室。

6. 爱护实验室及仪器设备,不得随意调换仪器,不准擅自拆卸仪器;仪器发生故障应立即报告,不得自行处理;仪器如有损坏,照章赔偿;一经发现偷窃实验仪器,上报学校给予相应的处分。

7. 实验室内严禁吸烟、吐痰和大声喧哗。

8. 实验报告应在实验后一周内交实验室。

实验选课指南

大学物理实验是高等学校理工科专业学生的一门重要公共基础实验课程，实验人数和实验内容较多。为了给学生提供自主学习的时间和空间，满足学生个性化的发展要求，打破传统的固定班级的教学形式，逐步形成以学生为主体、教师为主导、分层次、开放式的大学物理实验教学体系，大学物理实验实行网上选课，学生根据自己的专业特点和学习计划在网上自主选择实验。

一、选课要求

1. 上网认真阅读选课指导，学习选课、退选方法及选课注意事项。
2. 每学期开学的第一周安排实验理论讲座，要求按时出勤，认真听讲，之后即可选课。
3. 实验选完后要按时完成，旷课则该实验计0分。
4. 每位同学在同一天只能选1个实验，在同一周最多只能选2个实验，系统将自动控制选课个数。

二、选课方法

1. 登录“内蒙古大学物理实验中心”主页 (<http://202.207.14.87>)。
2. 第一次登录后要修改用户密码，并且保存在安全的地方。
3. 根据自己的学习计划选择要求的实验项目，并且记录下来，按时做实验。
4. 如果更改实验时间，要提前一天以上进入选课系统自己退课。
5. 选课过程中如果遇到问题，可以联系物理实验中心大学物理实验办公室。



选课请扫描登录

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目录

绪论	1
第一章 误差分析与数据处理的基本知识	11
第一节 测量与误差	12
第二节 系统误差	14
第三节 随机误差的数学处理	16
第四节 实验不确定度	21
第五节 有效数字	28
第六节 作图法处理实验数据	34
第七节 逐差法处理实验数据	37
第八节 用最小二乘法处理实验数据	39
第二章 演示实验	45
实验一 直升机演示角动量守恒	46
实验二 伯努利原理	47
实验三 傅科摆	49
实验四 锥体上滚	51
实验五 角动量守恒原理	52
实验六 普氏摆演示实验	53
实验七 能量转化轮演示实验	55
实验八 水驻波演示（鱼洗）	56
实验九 昆特管	57
实验十 弦驻波	59
实验十一 形状记忆合金	60
实验十二 麦克斯韦速率分布演示仪	62
实验十三 皂膜	63
实验十四 激光琴	65
实验十五 无源之水	66
实验十六 光学幻像演示实验	67
实验十七 白光全息片	68
实验十八 偏振光干涉	69

实验十九 旋光色散	71
实验二十 磁悬浮地球仪	72
实验二十一 雅各布天梯演示实验	73
实验二十二 辉光球演示实验	75
实验二十三 静电高压发生装置	76
实验二十四 温差电磁铁演示实验	77
实验二十五 电磁炮	79
实验二十六 跳环演示楞次定律	80
实验二十七 手触电池	81
实验二十八 静电系列实验	83
第三章 预备实验	87
实验一 固体密度的测定	88
实验二 单摆测重力加速度	89
实验三 电表改装与校准实验	91
实验四 电子示波器的使用	95
实验五 薄透镜焦距的测定	102
第四章 综合实验	107
实验一 梁的弯曲法测定杨氏模量	108
实验二 CCD 成像系统测定杨氏模量	111
实验三 导热系数的测定	115
实验四 分光计	119
实验五 迈克耳孙干涉仪的调整和使用	125
实验六 直流电桥	129
实验七 交流电桥	136
实验八 RLC 串联电路暂态特性	143
实验九 RLC 交流电路的谐振现象	151
实验十 铁磁材料的磁滞回线和基本磁化曲线	158
实验十一 线阵 CCD 输出信号的二值化测量	164
第五章 设计性实验	171
实验一 测定冰的熔化热	172
实验二 通过测定平均速度求瞬时速度	174
实验三 红外传输实验	175
第六章 研究性实验	181
第一部分 热机效率综合实验	182
实验一 热机与温差	187

实验二	热机效率研究	189
实验三	热泵制冷效率	190
实验四	热传导率	192
实验五	最佳负载	192
第二部分	线阵 CCD 应用开发综合实验	195
实验六	线阵 CCD 传感器工作原理实验	196
实验七	应用线阵 CCD 非接触测量物体尺寸的实验	197
实验八	应用线阵 CCD 非接触测量物体的倾斜角度实验	198
实验九	应用线阵 CCD 非接触测量物体振动的实验	198
实验十	利用线阵 CCD 进行图像扫描的实验	199
实验十一	利用线阵 CCD 进行条码扫描的实验	200
实验十二	利用线阵 CCD 实验仪进行关于 CCD 信号处理的编程	201
第七章	常用仪器使用说明	203
第一节	钢尺	204
第二节	游标卡尺	204
第三节	螺旋测微器	205
第四节	JXB-D 型读数显微镜	206
第五节	电子天平	207
第六节	智能单摆计时器	208
第七节	MOS-626 模拟示波器	208
第八节	TDS-1000 数字示波器	211
第九节	MKS-100 型迈克耳孙干涉仪	216
第十节	FB310B 智能型磁滞回线组合实验仪	218
第十一节	WS-JD-II 红外传输实验仪	222
附录一	大学物理实验仿真与预习系统简介	229
附录二	物理量的单位及常用数据	237
附录三	数据记录页	247
参考文献		286

绪论

太平天国革命，是中国历史上一次伟大的农民战争。它发生在鸦片战争之后，中国半殖民地半封建社会开始形成的时期。太平天国革命的领导人是洪秀全，他创立了拜上帝教，作为革命的思想武器。太平天国革命的目标是建立一个“有田同耕，有饭同食，有衣同穿，有钱同使”的理想社会。太平天国革命的过程充满了曲折和斗争，最终在清军的镇压下失败。太平天国革命对中国历史产生了深远的影响，它是中国近代史的开端，也是中国农民战争的高峰。

太平天国革命的背景是鸦片战争后中国社会的深刻变化。鸦片战争的失败，使中国开始沦为半殖民地半封建国家。外国资本主义的入侵，使中国社会经济结构发生根本性变化。同时，清政府的腐败无能，使人民生活在水深火热之中。这种社会背景为太平天国革命的爆发提供了土壤。

太平天国革命的领导人是洪秀全。他出生于广东花县，是一个贫苦农民的儿子。他早年接触基督教，创立了拜上帝教。拜上帝教是太平天国革命的思想基础。洪秀全通过拜上帝教，组织农民，发动革命。他提出了“天父下凡”的理论，认为自己是天王的弟弟，受命下凡，领导农民推翻清政府，建立天国。

太平天国革命的过程充满了曲折和斗争。1851年，洪秀全在广西金田发动起义，建立了太平天国。太平天国在初期取得了一系列胜利，占领了广西、湖南、湖北、安徽、江西等地。但是，太平天国在军事上和政治上都存在着严重的问题。在军事上，太平天国缺乏统一的指挥和协调，各将领之间存在着矛盾。在政治上，太平天国缺乏明确的政策和纲领，内部存在着派系斗争。这些问题最终导致了太平天国的失败。

太平天国革命对中国历史产生了深远的影响。首先，太平天国革命是中国近代史的开端。它标志着中国开始沦为半殖民地半封建国家。其次，太平天国革命是中国农民战争的高峰。它展示了农民阶级的力量，也暴露了农民阶级的局限性。最后，太平天国革命对中国社会产生了深远的影响。它动摇了清政府的统治，促进了中国社会结构的变革。

物理学研究的是物质运动的基本规律,它揭示自然的奥秘、探索自然、认识自然,从而推动人类历史的前进和社会的发展.物理学是自然科学的基础,而实验物理又是物理学的基础.

实践是检验真理的唯一标准,物理实验就是独立的实践活动之一,物理学的理论来源于物理实验又必须由物理实验来验证.无论是物理概念的产生还是物理规律的发现,都是建立在严格的科学实验基础上的,并接受实验的检验,因此说物理学是一门实验科学.

物理实验不仅对于物理学自身的研究工作极其重要,对于物理学在其他学科中的应用也十分重要,特别是近代各学科相互渗透.例如,物理电子、电子工程、光信息工程等学科都是以物理学为基础的,其中有大量的物理学内容;材料科学、化学、生物学、医学等的发展也都离不开物理学,而物理实验正是物理学应用到其他学科的桥梁.

因此,要想研究和发展物理学,并且将物理学应用到各行各业的实际中,就必须重视物理实验.

物理实验是大学生进行科学研究的基础必修课程,它能够培养学生运用实验手段去发现、观察、分析、研究和解决问题的能力,在提高学生科学实验素质方面具有重要的作用,同时,它也将为学生今后的工作和学习奠定一个良好的实验基础.

一、物理实验课的目的

1. 通过对物理实验现象的观察、分析和对物理量的测量,加深对基本物理概念和基本物理定律的认识和理解.

2. 培养和提高学生的科学实验能力.通过阅读教材或资料,能概括出实验原理和方法的要点;正确使用基本实验仪器,掌握基本物理量的测量方法和各种测量技术;正确记录和处理数据,判断和分析实验结果,撰写合格的实验报告,以及完成简单的具有设计性内容的实验等.

3. 培养学生理论联系实际和实事求是的科学态度,严谨踏实的工作作风,勇于探索、坚忍不拔的钻研精神以及遵守纪律、团结协作、爱护公物的优良品德.

二、物理实验课学习方法

物理实验是学生在教师指导下独立进行实验的一种实践活动,只有按照下面的步骤,才能真正上好实验课.

1. 实验讲座

在实验之前,每位同学必须参加实验讲座,其主要内容有物理实验基本知识、数据处理的方法、实验注意事项等.

2. 课前预习

课前预习是上好实验课的前提,学生应该充分发挥主动性,认真阅读教材内容及实验中心网站上有关课件及 CAI 软件,查阅有关参考资料,在理解本次实验的目的、原理的基础上,弄清楚要观察哪些物理现象,测量哪些物理量;要明确哪些物理量是间接测量量,哪些是直接测量量;用什么方法和仪器来测定,并在此基础上写出预习报告。

认真阅读讲义和实验中心网站上的仪器介绍,学习仪器的结构原理,操作、读数方法及注意事项,必要时利用实验室开放时间到实验室对照实物进行预习。

3. 实验操作

实验操作是实验课的重要环节,学生进入实验室后应按照实验内容安排实验步骤,在教师的指导下独立进行实验。

认真听取教师对本实验的要求、重点、难点和注意事项的讲解,对照仪器,仔细阅读有关仪器的使用说明和操作注意事项,进一步明确本实验的具体要求。

在实验中要仔细观察、积极思考、认真操作,在实验所具备的客观条件(如温度、压力、仪器精度等)下,严格按照操作规程进行调节,认真且实事求是地观察和测量。

实验记录是计算结果和分析问题的依据,也是实验的重要组成部分,实验记录在实际工作中则是宝贵的资料,要认真对待,全面真实地把实验步骤、测量条件以及测量到的数据清晰地记录在原始数据记录页上。

每个实验都有一张原始数据记录页,把任课教师认可的实验数据填写到记录页上,任课教师签字后方为有效。实验数据记录页要粘贴到实验报告的最后面,以便核对数据。

初步学会分析实验,遇到问题时应冷静地分析和处理,仪器发生故障时,在教师指导下学习排除故障的方法,在实验中有意识地培养自己的独立工作能力。

4. 课后分析

课后要对测量数据进行处理,给出测量结果及其不确定度,并对结果的合理性、不足之处进行分析和讨论,分析误差产生的主要原因、改进方法以及对实验现象的分析解释。

三、如何写实验报告

实验报告由预习报告和数据处理分析两部分组成。

1. 预习报告

在做实验之前必须完成,具体内容包括:

(1) 实验名称 在统一的实验报告封面上填写。

(2) 实验目的 参考实验教材并加上自己预习后的体会。

(3) 实验原理 这部分内容要求充分理解了教材内容之后,用自己的语言概括性地叙述该实验的基本原理和测量方法,包括理论依据所用公式的简单推导、必要的图示(如电路图、光路图)等。

(4) 实验仪器 列出实验所需的仪器、量具等,给出型号、规格、参量等。

(5) 实验内容 要写出哪些是已知量,哪些是待测量,待测量用什么仪器去测量,测量中可能遇到的问题及注意事项。

注意:对于设计性实验,以上内容要求查阅相关参考书完成,并给出设计方案。

2. 数据分析

该部分内容在结束实验后完成,包括:

(1) 实验步骤 根据自己做实验的过程概括出主要过程。

(2) 数据处理 数据处理是实验的关键部分,在实验报告中要对原始数据进行整理、归类,重新做成表格.根据误差和数据处理理论,选择合适的处理方法对测得的数据进行处理,并给出所有直接和间接量的结果(包含平均值和不确定度),所有结果都必须有中间过程.如果实验要求描绘曲线,必须绘制在坐标纸上。

(3) 分析与讨论 要对数据处理的结果进行必要的讨论,评估测量结果是否达到预期目的,效果如何,查明主要误差来源,提出减小或消除误差的改进措施,解释发生的实验现象。

注意:不能把数据记录页当做数据处理部分。

四、实验报告示例(简谐振动)

大学物理实验报告

姓名:_____学号:_____专业:_____

实验日期:_____年_____月_____日

实验时间:_____时_____分至_____时_____分

实验台号:_____成绩:_____

实验题目:简谐振动

实验目的

1. 观测弹簧振子的简谐振动,加深对简谐振动的感性认识。
2. 掌握光电计时器的调节和使用。

实验仪器

表 0-1 仪器参量

名称	编号	量程(FS)	分度值 e	$\Delta_{\text{仪}}(\text{MPE})$
光电计时器	00001	0~999 s	1 ms	1 ms
物理天平	00002	0~2 kg	0.1 g	0.05 g

气垫导轨,气源,滑块,平板挡光片,U形挡光片,光电门,弹簧.

实验原理

1. 气垫导轨上,滑块两端各连接一个振子弹簧,两振子弹簧的另一端分别挂在气垫导轨两端的弹簧挂钩上,就构成一个弹簧振子.假设振子系统的质量为 m' ,弹簧的劲度系数为 K ,若以 x 表示滑块偏离平衡位置的位移,则滑块的运动方程为

$$-Kx = m' \frac{d^2 x}{dt^2}$$

其解为

$$x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

即振子系统做简谐振动,其中

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K}{m'}}$$

是振子系统的固有圆频率.

实验中简谐振动只是一个近似的过程(只有在振幅较小时成立).设滑块质量为 m ,弹簧的有效质量为 m_0 (注意:有效质量不是弹簧的实际质量),则振子系统质量为 $m' = m + m_0$.

系统的振动周期为

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m+m_0}{K}}$$

实验中通过增加配重改变滑块的质量,测出相应的振动周期,就可以测定 T 与 m' 的关系,即

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{K} (m + m_0)$$

通过作图即可求出 K 和 m_0 .

2. 由此可见简谐振动的周期与弹簧劲度系数和系统总质量有关.

实验内容

1. 测定滑块-弹簧系统的周期 T 与质量 m' 的关系, 确定弹簧的劲度系数 K 和有效质量 m_0 .

不断改变滑块的质量(所加砝码的质量记为 δm), 测出对应的周期. 实验数据用作图法处理, 在标准坐标纸上以 m 为横坐标, 以 T^2 为纵坐标, 作 T^2-m 图, 根据图中曲线的斜率 b 和截距 a 求出 K 和 m_0 的值.

已知量: 每个砝码质量为 10 g;

未知量: 滑块质量 m'' , 用天平测量; 振动周期 T , 用光电计时器测量.

2. 测定滑块-弹簧系统的周期与振幅的关系.

实验步骤

1. 用天平测量滑块质量 m'' ;
2. 安装好弹簧振子, 记住滑块平衡位置, 将光电门移至平衡位置 2 cm 处.
3. 设置计数器为 10 周期计时.
4. 增加砝码改变滑块质量, 测量振动周期, 记录数据, 观察周期与质量间的关系.
5. 改变振幅测量振动周期, 记录数据, 观察周期与振幅的关系.

数据处理

1. 周期与质量关系

根据数据处理要求由实验数据记录重新作表, 如表 0-2 所示. 其中,

$$m = m'' + \delta m$$

表 0-2 数据记录与处理

m/g	45	55	65	75	85	95	105	115	125
$10T/s$	9.300	9.998	10.65	11.26	11.85	12.40	12.93	13.45	13.94
T/s	0.930 0	0.999 8	1.065	1.126	1.185	1.240	1.293	1.345	1.394
T^2/s^2	0.864 9	0.999 6	1.134	1.268	1.404	1.538	1.672	1.809	1.943

根据表格数据在坐标纸上作图, 如图 0-1 所示.

由图 0-1 可以看出 T^2-m 为一直线, 取 $A(70, 1.19)$ 、 $B(100, 1.60)$ 两点计算斜率:

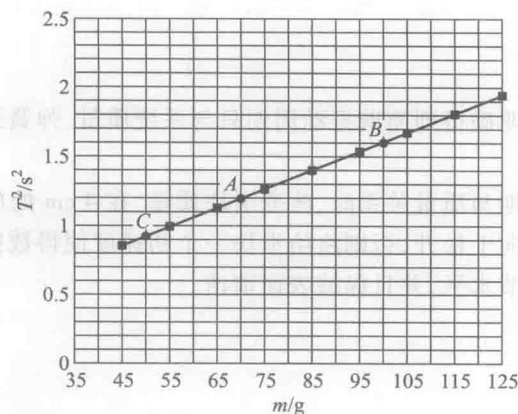


图 0-1

$$b = \frac{1.60 - 1.19}{100 - 70} \text{ s}^2/\text{g} = \frac{0.41}{30} \text{ s}^2/\text{g} = 0.0137 \text{ s}^2/\text{g}$$

再取一点 C(50, 0.94), 计算截距:

$$a = 0.94 \text{ s}^2 - 50 \text{ g} \cdot b = (0.94 - 0.685) \text{ s}^2 = 0.255 \text{ s}^2$$

由公式 $T^2 = \frac{4\pi^2}{K}(m + m_0)$ 得

$$b = \frac{4\pi^2}{K}, \quad a = \frac{4\pi^2}{K}m_0$$

所以

$$K = \frac{4\pi^2}{b} = \frac{4 \times 3.142^2}{0.0137} \text{ g/s}^2 = 2881 \text{ g/s}^2 \approx 2.88 \text{ kg/s}^2 = 2.88 \text{ N/m}$$

$$m_0 = \frac{Ka}{4\pi^2} = \frac{a}{b} = \frac{0.255}{0.0137} \text{ g} = 18.6 \text{ g}$$

2. 周期与振幅关系

表 0-3 周期与振幅关系

滑块质量: $m'' = 45 \text{ g}$

振幅/cm	10	15	20	25	30	35
10T/s 平均值	5.086	5.085	5.086	5.084	5.088	5.086
T/s 平均值	0.5086	0.5085	0.5086	0.5084	0.5088	0.5086

由表中数据可以看出, 改变振幅, 振动周期基本不变, 所以振动周期与振幅