



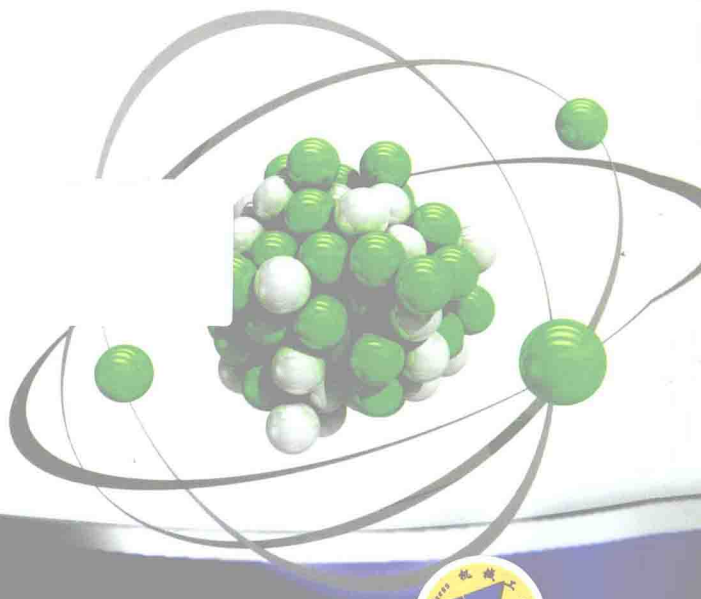
“十二五”普通高等教育本科规划教材
全国高等医药院校规划教材

医学物理学

实验教程

Medical physics experiment

薛俭雷 田春华 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

“十二五”普通高等教育本科规划教材
全国高等医药院校规划教材

医学物理学实验教程

主 编	薛俭雷	田春华
副主编	万永刚	张立平
参 编	王晓东	耿 魁



机械工业出版社

本书是依据全国医学类专业医学物理学实验课程教学基本要求,充分考虑医学院校学生的学习特点及专业特点,结合编者多年的医学物理学实验教学经验,参考国内外相关教材编写而成的。

全书共分5章,包括绪论、实验误差及数据处理、基本物理实验、综合性设计性物理实验、创新性物理实验,共33个实验。在每个具体的实验中,设有实验目的、实验器材、预习提示、实验原理、实验内容、数据记录与处理、注意事项和思考题等内容。

本书可作为高等医学院校各专业的教科书和参考书,适合不同层次的教学要求。

图书在版编目(CIP)数据

医学物理学实验教程/薛俭雷,田春华主编. —北京:机械工业出版社, 2013. 8

“十二五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-111-43249-4

I. ①医… II. ①薛…②田… III. ①医用物理学—实验—医学院校—教材 IV. ①R312-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第156281号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:张金奎 责任编辑:张金奎 熊海丽

责任校对:李秋荣 封面设计:张 静 责任印制:乔 宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2013年8月第1版第1次印刷

169mm×239mm·11.25印张·276千字

标准书号:ISBN 978-7-111-43249-4

定价:19.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

物理学研究物质世界最基本的运动与变化的现象及其规律，任何复杂的运动和变化都是由最基本的物理运动和变化构成的。因此，物理学是一切自然科学或物质科学的基础，物理学的研究和思维方法贯穿渗透在所有自然科学研究中。物理学对形成人的科学思维能力和提高科学素养发挥着重要作用。

实验是物理学的基础，物理学实验可以验证物理规律的正确性，也是探索和揭示物理规律的主要方法。现代的物理学与医学相结合，形成了许多新的交叉学科和边缘学科，如生物物理学、生物医学工程学、血液流变学等。因而，在医学院校中物理实验课的教学直接承担着培养学生的科学素养、创新精神、科学实验能力及全面推进素质教育的任务，不仅要使学生掌握实验所需的物理理论，更重要的是学习物理学的实验方法、思维方法、设计思想及操作技能。因此，我们从 21 世纪关于学生知识结构、能力结构、素质结构的培养目标入手，按照建设国家实验教学示范中心的要求，结合编者长期从事医学物理实验教学的实践经验及教学改革成果，同时参考兄弟院校的经验的基础上编写了此书。

本书的编写特色是对医学物理实验的教学体系、教学内容和方法进行了深层次的改革。

本书在内容上主要分为五个部分。

第一章重点阐述医学物理实验对医学类专业的重要性、医学物理实验常用的实验方法。

第二章讲述测量误差、不确定度及数据处理方面的知识。培养学生掌握实验基本知识、测量方法和测量误差及数据处理的方法，提高误差分析能力，写出规范的实验报告。

第三章为基本物理实验，包括与医学有关的力学、电磁学、光学、近代物理实验以及电子线路方面的实验。这部分内容注重一些基本物理量的测量、基本实验操作、常用仪器的使用和验证性实验，重点阐述实验原理和计算公式的推导；通过具体而又详尽的实验内容和步骤来验证每个知识点，旨在通过这部分内容加强对学生基本实验技能和基本实验方法的指导。

第四章为综合性设计性物理实验。安排这部分内容的目的在于使学生通

过实验内容、实验方法、实验手段的综合,培养综合考虑问题的思维方式及运用综合的方法、手段分析问题、解决问题,培养学生创新意识和创新能力,同时培养学生实事求是的科学态度和团队精神。采用以学生独立操作为主,教师辅导为辅的实验教学模式。

第五章为创新性物理实验。创新性实验中,学生在教师的指导下,根据给定的实验目的,提出实验任务和基本要求,由学生自行查阅资料,设计实验方案,选择合适的实验器材,拟定实验程序,完成实验的测量,并对结果进行分析处理。这就为今后他们从事相关工作的设计与研究打下了坚实的基础。

参加编写本书的有:薛俭雷(第三章,第四章中的实验一、实验二、实验三、实验四、实验五),田春华(第四章中的实验七、实验八、实验九、实验十、实验十一、实验十二),万永刚(第二章),张立平(第五章),王晓东(第一章),耿魁(第四章中的实验六)。

在本教材编写过程中,参考了大量我国物理实验教学工作者编著的教材、著作和研究成果,有些已在参考文献中列出,有些未能一一列出,在此向他们一并表示衷心的感谢!本书适合医学院校五年制本科临床医学、口腔、预防、药学、检验、影像、护理、麻醉等专业使用。

本书的编写得到了齐齐哈尔医学院的领导与医学影像实验中心领导的关心和大力支持,同时得到了机械工业出版社的领导与编辑们的支持,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,编写时间仓促,本书难免有不当之处,欢迎批评指正。

编 者

参 考 文 献

- [1] 仇惠, 张瑞兰. 医学影像物理学实验 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2002.
- [2] 陈曙, 韩永胜. 物理学实验与指导 [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2005.
- [3] 甘平. 医学物理学实验 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [4] 冀敏, 陆申龙. 医学物理学实验 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2009.
- [5] 汪红志, 张学龙, 武杰. 核磁共振成像技术实验教程 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [6] 付研, 梁路光. 医用物理学实验 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [7] 万永刚, 薛俭雷. 医学物理学实验教程 [M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2007.
- [8] 周英君, 刘迎九, 陈付毅, 等. 医学电子学基础实验 [M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2004.
- [9] 胡新珉. 医学物理学 [M]. 6 版. 北京: 人民卫生出版社, 2006.
- [10] 李秀忠. 常用医疗器械原理与维修 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [11] 杨述武. 普通物理学实验 (力学及热学部分) [M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [12] 杨述武. 普通物理学实验 (电磁学部分) [M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [13] 杨述武. 普通物理学实验 (光学部分) [M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [14] 张维廉. 应用电子技术基础 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1994.
- [15] 王乐新, 李天和. 大学物理实验 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2004.
- [16] 王廷兴, 郭山河, 文立军. 大学物理实验 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [17] 胡新珉. 医学物理学 [M]. 7 版. 北京: 人民卫生出版社, 2008.
- [18] 关乃爵. 大学物理实验教程 [M]. 杭州: 杭州大学出版社, 1996.
- [19] 关泳华, 霍剑青, 熊永红. 大学物理实验 (第一册) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [20] 吴平. 大学物理实验教程 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [21] 刘文军. 大学物理实验教程 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [22] 岳小萍, 刘东华. 医学物理学实验 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [23] 张淑丽. 医学物理学实验 [M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [24] 邓玲. 医学物理实验教程 [M]. 重庆: 西南师范大学出版社, 2007.
- [25] 彭友霖. 医用物理学实验 [M]. 南昌: 江西高校出版社, 2009.

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 医学物理学实验对医学类专业的重要性	1
第二节 医学物理学实验课要求	2
第三节 如何做好医学物理学实验	4
第四节 医学物理学实验中常用的实验方法	6
第二章 实验误差及数据处理	10
第一节 物理量的测量及实验误差与数据处理	10
第二节 实验不确定度的评定	22
第三节 实验数据的制表记录法、作图法	25
习题	26
第三章 基本物理实验	28
实验一 基本测量	28
实验二 学习使用电子示波器	33
实验三 人耳听觉听阈的测量	46
实验四 分光计的调节	52
实验五 液体表面张力系数的测量	57
实验六 弦本征振动的观测	62
实验七 用分光计测定三棱镜的折射率	65
实验八 液体黏度的测量	69
实验九 医学摄影	74
实验十 暗室技术	81
实验十一 光波波长的测定	85
实验十二 显微摄影	89
实验十三 万用表的使用	94
实验十四 人体阻抗的频率特性的测定	103
第四章 综合性设计性物理实验	109
实验一 核磁共振实验	109
实验二 声速的测量	115
实验三 用示波器研究简谐振动的合成	121
实验四 全息照相	126
实验五 B 型超声波诊断仪的基本原理及其声像图观察	131

实验六	心电图实验	135
实验七	CT 图像后处理技术的计算机模拟实验	143
实验八	CT 医学图像的三维重建	145
实验九	呼吸机的使用	147
实验十	用 GM 管测铅对 γ 射线的吸收曲线和半衰期	149
实验十一	多普勒效应及声速的测试与应用	153
实验十二	热敏电阻温度计的设计与制作	159
第五章	创新性物理实验	164
实验一	人体电特性（电阻抗、电压、电流）研究	164
实验二	用分光计测量人体组织液的声阻抗	165
实验三	生物医学信号处理研究	167
实验四	液体黏度与温度关系测量	168
实验五	溶液的表面张力系数与浓度关系研究	169
实验六	用超声诊断仪测量物体的缺损	170
实验七	万用表的设计与组装	171
参考文献		173

第一章 绪 论

第一节 医学物理学实验对医学类专业的重要性

物理学是研究物质运动一般规律及物质基本结构的科学，它必须以客观事实为基础，必须依靠观察和实验。归根结底物理学是一门建立在实验基础上的科学，是认识自然的基础。物理实验是根据研究的目的，利用科学仪器设备人为地控制或模拟自然现象，排除次要矛盾的干扰、突出主要矛盾，在最有利的条件下去研究自然规律的一种活动。

医学的研究对象是生物机体的正常生命活动规律以及患病肌体的某些特殊现象，其在自然界中属于较复杂、较高级的物质运动形式，它同样遵循物理学的相关规律。

物理学和医学两大学科相结合，它们相互渗透、相互促进、不断发展，形成了物理学的一个重要分支——医学物理学。它是将物理学的理论、方法和技术应用于医学而形成的一门新兴学科。

包括物理学在内的各门学科，其研究方法都遵循“实践—认识—实践”的认知法则，具体地说，物理学的研究方法包括观察、实践、假说和理论各个环节。自然科学的很多规律是通过实验发现的，其理论是通过实验反复验证而总结出来的。实验可以发现新事实，结果可以为物理规律的建立提供依据，同时，实验又是检验理论正确与否的重要判据。例如，伽利略（Galileo, 1564—1642）观察到教堂中吊灯的摆动具有等时性，并依此在实验基础上推导出单摆的振动周期与摆长的平方根成正比，并用于测量人的心率；他发明了测温计，还设计出了第一个现代意义上的显微镜；他用斜面把落体速度放慢进行落体实验，开辟了定量的实验方法。

历史上在对光的本性认识上，波动说与微粒说之争在 18 世纪就已经开始了。1800 年，医生、物理学家托马斯·杨（T. Young, 1773—1829）的双缝干涉实验，证实了光具有波动性；1887 年，德国科学家赫兹（H. R. Hertz, 1857—1894）发现光电效应，光的粒子性再一次被证明。1905 年爱因斯坦（A. Einstein, 1879—1955）的光量子假说总结了光的微粒说和波动说之间的争论，能很好地解释光电效应的实验结果。但是直到 1916 年当密立根以极其严密的实验证实了爱因斯坦的光电方程之后，光的粒子性才为人们所接受。

1895 年 11 月, 德国实验物理学家伦琴 (W. Röntgen, 1845—1923) 在实验室发现了 X 射线, 并用它拍下了他夫人手骨的照片, 这是世界上第一张活体骨骼照片。伦琴将他的新发现写成论文发表后, 在整个科学界包括医学界在内引起了巨大的轰动。几周后, 芝加哥电气技师格鲁勃 (E. Grubbe) 利用 X 射线为一名 55 岁患乳腺癌的妇女进行了放射治疗; 3 个月后, 维也纳一所医院将 X 射线拍片应用于外科诊断。X 射线的发现还进一步推动了气体中电传导的研究, 也给洛伦兹创立电子论提供了实验基础。而电子理论又给塞曼效应, 即光谱线在磁场中会分裂这一事实以理论解释。

自 1931 年艾琳·居里 (I. Joliot-Curie, 1897—1956) 和她的丈夫弗雷德里克·朱里奥特 (F. Joliot-curie, 1900—1958) 继皮埃尔·居里夫妇发现镭对于动物组织的破坏力以及用于治疗肿瘤的有效性之后, 又发现人工放射性物质。随着科学技术的进步, 放射性同位素在医学研究、诊断和治疗中发挥了极其重要的作用, 并在此基础上建立起一门崭新的学科——核医学。

1963 年, 美国物理学家科马克 (A. M. Cormack) 发现人体不同的组织对 X 射线的吸收本领不同, 提出了用投影数据重建图像的数学方法。依此方法, 英国工程师亨斯菲尔德 (G. N. Hounsfield) 在 1972 年研制成第一台头部 X-CT, 在临床上使用并获得清晰的诊断影像, 使医学影像技术发生重大变革。目前, 医用 X-CT 已成为临床医学诊断中最有效的手段之一。

生命科学研究中的一些重大进展也离不开物理学这个基础。例如, 脱氧核糖核酸 (即 DNA) 是储存和传递生命遗传信息的物质基础, 它的双螺旋结构的发现, 就是在 1953 年由美国生物学家沃森 (J. D. Watson) 和英国物理学家克里克 (F. H. Crick) 根据 X 射线衍射方法获得的。

还有光纤内窥镜技术、激光技术、介入技术、X-CT 技术、核磁共振成像技术以及放射线在诊断和治疗肿瘤方面技术的进步和突破, 大多是从实验室中诞生的。这些物理学重大理论和技术在医学上的广泛应用, 极大地推动了现代医学的发展进程, 改善了我们生活的质量, 对现代医学的发展产生了巨大而深远的影响。另外, 物理实验在素质教育中同样充当着极为重要的角色。因此, 医学院校的学生应努力学好医学物理学的理论课和实验课, 学会用物理学的理论和技术指导和应用于医学实践活动, 为今后的学习和工作打下坚实的基础。

第二节 医学物理学实验课要求

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, 教学方式主要是学生自己动手, 完成实验内容规定的任务, 教师只是在关键的地方给予提示和指导。因此, 要充分发挥学生的主观能动性, 通过以下三个教学环节培养学生独

立工作的能力和严肃认真、实事求是的工作作风。

一、实验前的预习

预习是至关重要的。为此，要求在实验前必须认真阅读实验教材的相关内容，也可参考其他资料（首次实验要认真学习实验室规则和电学、电子学操作规程），了解实验的全貌，明确该实验的目的、实验原理、待测物理量及实验和测量方法，了解仪器的构造、操作方法和注意事项，在此基础上书写预习报告。预习报告内容主要包括实验名称、实验目的、原理摘要、主要仪器设备、实验步骤、数据记录表格等。上课时，指导教师可以检查学生的预习情况，对于没有预习和未完成预习报告的学生，指导教师有权停止该生本次实验。

二、实验中的操作

实验操作是实验的主要内容。首先要检查仪器设备，看其是否完备、齐全，如有问题，应向指导教师提出解决。然后记录主要仪器的名称、型号、规格和编号，仔细阅读仪器说明书或仪器使用的注意事项，在教师指导下正确地组装和调试仪器，不要盲目操作、急于求成。实验时先观察实验现象，再进行精确测量。在观察、测量时，要做到正确读数，将原始数据如实记录在事先准备好的表格中。原始数据要做到整洁、有条理，以便于计算和复合。如确系错误数据，应轻轻画上一道并注明原因，在旁边写上正确值，使正、误数据都能清晰可辨，以供在分析测量结果和不确定度时参考。

实验中遇到故障时要积极思考，在教师指导下学习排除故障的方法。实验结束时，将实验数据交教师审阅签字，整理还原仪器后方可离开实验室。

三、实验报告的书写

实验后要对实验数据及时处理并撰写出一份简洁明了、工整、有见解的实验报告。其目的是为了培养和训练学生以书面形式总结工作或报告科学成果的能力，这也是物理实验基本功训练的重要组成部分。实验报告要思路清晰、字迹清楚、文理通顺、图表正确、数据完备和结论明确。

四、实验报告、实验室规则及电学、电子学操作规程的内容

1. 实验报告的内容

- 1) 实验名称、实验者和合作者、学号、组别、座位号、日期等。
- 2) 实验目的和要求（预习时完成）。
- 3) 实验仪器设备（在实验时记下型号和规格）。
- 4) 实验原理：用自己的语言简要地写出实验原理、主要计算公式，画出必要的原理图（预习时完成）。
- 5) 实验基本步骤：写出主要的实验操作步骤，注意重点记录实验中的关键步骤。
- 6) 数据记录和处理：将原始数据整理后再记录于实验报告的数据表格中，

并求出误差或不确定度, 给出实验结果或结论; 绘出相关的图表。

7) 实验讨论: 对实验结果分析讨论, 总结实验过程, 对实验中观察到的异常现象进行解释, 回答思考题以及提出改进建议等; 说明通过实验得到的收获, 指出并讨论误差原因, 回答课后思考题等。

8) 最后, 将原始数据记录、图表粘贴在实验报告内一同交上, 没有原始数据的实验报告不记成绩。报告中如有严重错误或字迹不清楚, 则需重做。

2. 实验室规则

1) 进入实验室的一切人员必须严格遵守实验室的各项规章制度。

2) 实验前要根据指导教师的讲述或实验教程上的说明检查仪器、元器件, 如有缺损应立即向指导教师报告。

3) 未了解仪器性能之前切勿动手操作, 使用仪器时必须严格遵守实验操作规程。

4) 学生不准私自拆卸仪器, 未经教师许可, 不许做与本实验内容无关的实验。实验过程中要注意节约实验材料。

5) 实验完毕, 要清理仪器及元器件, 填写仪器使用登记表。关闭电源和水道, 做好卫生工作, 经实验指导教师允许后方可离开实验室。

6) 如有损坏仪器或丢失器材, 视情节轻重, 对有关责任者要进行相应的处罚。

3. 电学、电子学操作规程

1) 首先认清实验仪器和元器件的名称、极性、标值。

2) 按电路图摆好各仪器及元器件位置, 根据测量范围, 选好量程, 断开开关。一般用红色导线接电源的“+”极输出。电表“+”极接高电势, “-”极接低电势, 顺次连接电路。

3) 电路连接完毕后, 必须请指导教师检查, 确认无误后方可闭合开关。

4) 在实验测量过程中不允许改变仪器、仪表的量程, 如需改变量程, 要断开电路(切断电源), 在整个电路不通电的情况下, 再重新选定量程。

5) 测量出实验数据后, 经指导教师审阅许可后, 方可拆卸电路。拆卸电路时, 要先断开开关, 关闭电源, 再将实验仪器、各元器件及导线整理复原。

第三节 如何做好医学物理学实验

一、端正学习态度, 充分认识物理学实验课的重要性。医学物理学实验课是学生接受系统科学实验训练的开端。实验训练能使學生掌握物理实验的基本方法、基本知识和基本技能。

基本的实验方法和测量技术在实际工作中会经常用到, 它也是复杂实验和测

量的基础。所以,要弄清它的原理、适用条件、操作要领,通过实验训练,达到在实际应用中也能灵活运用的程度。而且还要通过从事科学实验的基本训练来培养学生科学实验的能力和素质。因此学生必须有严肃、认真的学习态度。

医学物理学实验课的教学时数少,需掌握的内容多。因此,学生应充分利用短暂的实验课教学时间。实验前充分地预习,实验中按实验要求合理进行实验操作,仔细观察、思考实验现象,正确记录实验数据,并对实验结果加以全面分析,实验结束后认真写好实验报告,认真上好每一次实验课。

二、实验前应认真预习好基本物理仪器的原理和使用方法,能够借助实验教材或仪器说明书,正确地使用仪器和进行各种基本操作;培养一定的动手操作能力,能够解决实验中的一般性技术问题,排除实验中的简单故障;在一定的仪器设备条件下,通过努力,得出尽可能好的实验结果。只有在大学的医学物理学实验课课堂上,学生才有机会接触许多精密、贵重的物理实验仪器和设备。因此在实验过程中要创造更多的使用和熟悉物理仪器的机会,尽可能做到熟练操作,为掌握复杂的医疗仪器设备打下坚实的基础。

三、要注意养成良好的实验习惯,确保安全第一。良好的实验习惯是培养学生综合素质的重要组成部分,需要经过很多实验的总结、反思、回顾和实验中的不断磨练才能形成。首先根据实验场所的环境和实验所需的器材,正确合理地安排好各种装置、电源及导线的位置,做到实验线路一目了然,实验材料不随意摆放。尽可能减少实验过程中可能发生的人为故障,使实验得以准确、无误、顺利进行。特别是进行电学实验时,要养成安全用电的习惯,对每一个连接点都要确保完好连接。否则线路中只要有一个点虚接,就会浪费大量时间去反复检查线路,使实验不能顺利进行,甚至使整个实验得到错误的结论。

四、要注意掌握实验中所采用的基本测量方法,它也是复杂测量方法的基础,实验过程中不但要理解其原理,同时要尽力熟悉和牢记,通过实验训练,达到在实际应用中能灵活运用的程度。

五、养成真实记录原始实验数据的习惯,字迹一定要清楚、整洁。对原始实验数据一定要实事求是地进行记录,要用钢笔或圆珠笔将原始数据、实验环境的温度、所使用仪器的名称与编号等准确无误地记在事先设计好的表格和预习报告上。对于原始数据绝不能随意更改,有些学生当看到自己的实验结果与所预期的不相符时便随意改动原始数据,这是物理实验的大忌。众所周知,历史上许多物理定律都是由于实验数据与根据已有理论所预期的结果不相一致才得以发现的。所以,真实地记录原始数据是取得正确实验结果的前提。

六、培养对实验结果进行分析、判断的能力。分析能力是实验者最重要、最基本的素质之一,分析是科学思维的基本过程和方法,能使在实验过程中由观察得到的现象和信息所反映的本质及其变化规律得以显现和总结。通过对实验过程

中的正常和“反常”现象的分析、测试故障的分析、仪器的分析、测试环境影响的分析、误差分析和测量结果的分析等,来培养学生的分析和综合能力。当实验结果与所预期的不相符时,先根据不符合程度的大小来判断问题可能存在的环节,加以改正后重做实验。若无法判断出问题的原因,则请教师帮助解决,从中学会如何判断和解决问题,从而提高判断分析的能力。

七、珍惜每次实验课的时间。有时在完成规定的测量内容后还有剩余的时间,这时不要忙于结束实验。首先重新回忆和检查一下自己的整个实验过程,分析一下实验可能存在的问题,找出本实验的关键步骤所在,思考怎样做才能使实验更准确。如果仍有剩余时间,则多进行一些仪器的操作,进一步掌握仪器的原理和使用方法。

八、培养学生理论联系实际、实事求是的工作作风,严肃认真、一丝不苟的工作态度,积极主动的探索精神和遵守纪律、团结协作、爱护公物的优良品德。

第四节 医学物理学实验中常用的实验方法

物理实验方法是基本的实验方法,是学习与掌握其他科学实验方法的基础。

一、比较法

比较法是最基本和最重要的测量方法之一。这种方法就是把待测物理量直接或者间接地与作为基准(或标准单位)的同类物理量进行比较而得出结论。比较法可分为直接比较测量法和间接比较测量法。

(1) 直接比较测量法 直接比较测量法是把待测物理量 X 与已知的同类物理量或者标准量 S 直接比较,这种比较通常要借助仪器或者标准量具。例如,用米尺来测量某一物体的长度就是最简单的直接比较法。其中分度值毫米就是作为比较用的标准单位。

(2) 通过平衡或示零测量进行直接比较 在使用天平称物体的质量时,是利用天平这一仪器达到平衡状态时,使待测量与标准件(砝码)直接比较,其测量结果的准确度受天平本身灵敏度的制约,只能接近砝码的精度。用惠斯通电桥测量未知电阻就是平衡测量,平衡时检流计示零。

(3) 间接比较测量法 当一些物理量难用直接比较法测量时,可以利用物理量之间的函数关系将待测物理量与同类标准量进行间接比较测量。如电流表,是利用通电线圈在磁场中受到的电磁力矩与游丝的扭力矩作用达到平衡状态时,电流的大小与电流表指针的偏转量之间具有一定的对应关系而制成的,因此可用电流表指针的偏转量间接比较出电路中的电流。

二、转换测量法

如果知道某些物理量之间的相互关系和函数形式,就可以将一些不易测量的

物理量转换成可以或易于测量的物理量来进行测量,此即转换测量法。它几乎渗透到力学实验的各个领域,是物理实验中常用的方法之一。寻求物理量之间的关系,是探索物理学奥秘的主要方法之一,也是物理学中常见的课题。转换测量法大致可分为参量转换测量法和能量转换测量法两大类。

(1) 参量转换测量法 它利用各种参量在一定实验条件下存在着的简单的换算关系来实现待测参量的转换测量。例如,测定钢丝的弹性模量 E ,就是利用钢丝在线弹性范围内应力与应变成正比的规律,将待测量 E 用弹性模量测定仪转换成对应变量 $\Delta L/L$ 与应力量 F/S 的测量,即通过测量 L 、 ΔL 、 F 、 S ,利用公式 $E = (F/S) / (\Delta L/L)$,求出待测量。

参量转换测量法在实用技术中亦有广泛应用,例如,当偏振光进入旋光物质后偏振面将发生旋转,其转角的大小与旋光溶液的浓度成正比,依此可制成测定糖溶液浓度的“量糖计”;用弹簧秤测物体质量,本质上是通过将其转换成测量物体重力来实现的。

(2) 能量转换测量法 此法是利用换能器(又称传感器)将一种形式的能量转换成另一种形式的能量进行测量。

1) 热电换测:它是将热学量转换成电学量进行测量的。热电偶即是利用温差电效应,吸收被测物体的热量并将其转换成电能,将温度测量转换成温差电动势的测量。

2) 磁电换测:这种方法利用半导体的霍尔效应,用霍尔电势的大小反映磁感应强度的大小,以霍尔电势的方向判断磁感应强度的方向,是磁电换测中的方法之一。

3) 压电换测:它通过压力与电势间的变换进行测量。一些结构上不对称的晶体,或正常的晶体,由于切割而具有不对称结构,如石英、钛酸钡、酒石酸钾钠等,它们在特定方向受压力时会发生极化,进而在两个端面出现电势差,这种现象称为压电效应。这个现象的逆效应是在这种晶片的特定方向加上一定电压,晶体将发生弹性形变,称为电致伸缩效应。利用这种性质可制成压电传感器,实现压力与电势间的变换测量。

4) 光电换测:通过光通量的变化转换为电量变化再进行测量称为光电换测。如常见的硅光电池、光敏二极管、光敏晶体管、光电倍增管等皆为光电换测传感器(器件)。其中硅光电池可把光能直接转换为电能,其转换效率为12%,故可作为电源使用。

三、线性放大法

当待测量很小又无法使用宽度展延时,就必须考虑予以放大,而且必须线性放大,否则会失真。常见的放大方法有以下几种:

(1) 机械放大 利用机械部件之间的几何关系使标准单位量在测量过程中

得到放大,从而提高测量仪器的分辨率,增加测量的有效数字的位数。例如,在游标盘的设计中,若盘的半径做得越大,其分辨率会越高。千分尺(旧称螺旋测微计)的原理等皆属于机械放大。

(2) 电磁放大 在电磁学物理量的测量中,鉴于被测量微弱,常需放大才便于检测。另外,在非电学量测量中将其转换成电学量再进行放大而测量之,几乎成为科技人员的常用方法。如在光电效应测普朗克常量的实验中,测量电流时,仪器中设置了微电流放大器,否则就无法检测。这个例子是通过电子线路实现放大的。

此外,将待测电学量利用示波器或显像管将信号放大进行测量,不但能定性,而且可以定量,还兼有直观的优点。例如,示波器应用及电子束偏转实验的测量中即利用此类放大方法。

(3) 光学放大 望远镜、读数显微镜以及许多仪表中应用的“光杠杆”皆属于光学放大。光学放大有稳定性好,受环境干扰小的特点,几乎渗透到各个科研领域。

四、模拟法

模拟法是以相似性原理为基础,从模型实验开始发展起来的,是研究物质或事物物理属性变化规律的实验方法。此法并不直接研究某物理现象或物理过程的本身,而是根据相似性原理人为地制造一个类似于被研究对象或者运动过程的模型来进行实验。它可分为物理模拟法和数学模拟法。

(1) 物理模拟法 若被模拟的物理过程与模拟的物理本质与过程是一致的,则称之为物理模拟法。如利用风洞对汽车进行气动力和气动力矩的测量、表面压强的测量,用“流槽”模拟河流的冲积作用等皆属于物理模拟法。

(2) 数学模拟法 两个物理量,尽管它们的物理本质和产生的物理现象或过程并不相同,但可用相同的数学表达式来反映它们的规律。这样,就可以用其中的一个物理过程来模拟另一个物理过程,这称为数学模拟法。如流体力学中,用液体的速度场模拟气体的速度场即属此种方法。

五、光的干涉、衍射法

干涉法是将一列行波分成两个或两个以上的波列,使它们在同一区域中叠加而形成稳定的干涉图样,通过对干涉图样的分析而对行波的特性进行研究的一种方法,在精密测量中,光的干涉、衍射法具有重要的意义。光的波长虽然很小,但干涉条纹间的距离或干涉条纹的数目却是可以计量的。因此,通过对条纹数目或条纹改变量的计量,可以获得以波长为单位对光程差的计量。干涉法在引入全息摄影技术后已发展成一门新的技术——干涉计量技术。光的衍射原理和方法在现代物理实验方法中具有重要的地位。光谱技术与方法、X射线衍射技术与方法、电子显微技术与方法都与光的衍射原理与方法相关,它们已成为现代物理技

术与方法的重要组成部分，在人类研究微观世界和宇宙空间中发挥着重要的作用。现介绍两种常见的基本干涉法。

(1) 驻波法 驻波，是指两列纵波或两列具有相同偏振面的横波，以相同的频率、相近的振幅和恒定的相位差，彼此沿相反方向传播，叠加后形成的波。实验中常使波传播遇到障碍物（或另一种介质的界面）而产生反射波，它与入射波叠加，相互干涉而形成驻波。此外，光学测量中广泛应用的“等厚干涉法”也是利用入射光波与反射光波相干形成驻波而进行测量的，它在检验工件的光洁度和球面度，测量微小长度、角度等方面快捷而有效。

(2) 衍射法 光波通过与其波长可以比拟的狭缝时会发生衍射现象。在波的衍射中，波场能量的分布，是连续的相干波源发出的波相互干涉的结果，所以衍射现象的本质，是一种特殊的干涉。衍射法是光学测试的一种重要方法，许多仪器是依此设计的。汞光源通过光栅衍射得到汞灯的光栅光谱，从而可求出谱线的波长，该实验在一定程度上体现了光栅摄谱的思想。而光栅摄谱仪的分辨率是很高的，它对于确定与分析发光物质的成分是一种十分快速、便捷的分析手段。

六、测量宽度延展法

当待测量的数量级与测量仪器的误差较为接近时，其测量数据是不可信的。如何改进测量方法，增加测量值的有效数字，从而提高测量的精度呢？宽度延展法将在一定程度上解决这一问题。

如欲测某均匀细丝的直径，可将其并排密绕 100 匝，测量出其宽度而求之。又如在单摆测重力加速度实验及三线摆测转动惯量实验中，测量摆的周期时，采用测量 10 个或 50 个周期的时间来求周期。这种在不改变待测物理量性质的情况下，将待测量延展若干倍，从而增加待测量的有效数字位数，降低测量值的相对误差的方法称为测量宽度延展法。

七、仿真法

仿真法是利用计算机编程和 3D 动画等模拟（仿真）真实实验装置的结构、功能和实验环境，通过计算机进行相关实验操作的方法。通过实验操作，既能加强学生对实验的物理思想和方法、仪器的结构及功能原理的理解，又能对仪器的操作方法进行训练，可以达到实际实验难以实现的效果；实现了培养设计思维能力、比较判断能力、动手能力，学习实验技能，深化物理知识的目的。另外，它还有无真实装备的损坏、使用成本低、利于资源共享等优点。

上述几种基本实验方法，在医学物理学实验及科学研究中都有着广泛的应用。在具体的实验中，往往需要把几种方法结合起来应用。因此，实验者只有对各种实验方法有深刻的了解，才能在今后的学习和工作中熟练应用。