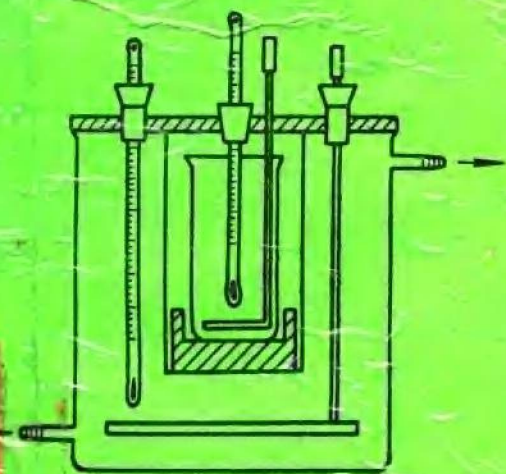


普通物理实验 指导

力学、热学和分子物理学

龚镇雄 刘雪林 主编



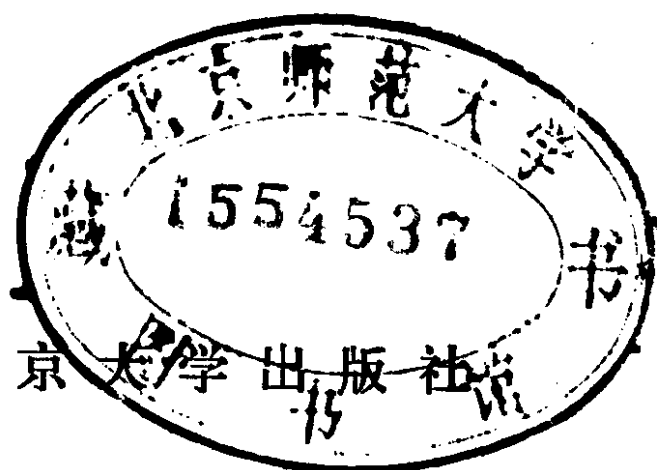
北京大学出版社

普通物理实验指导

力学、热学和分子物理学

龚镇雄 刘雪林 主编

JY1158/26



内 容 简 介

本书是北京大学物理系普通物理实验教师多年教学实践经验的集成。全书共分三册：力学、热学和分子物理学实验；电磁学实验；光学实验。每个实验项目除了简明地介绍必要的实验原理、基本的仪器装置、实验内容、实验结果、数据处理和设计思想外，还对实验中出现的各种有关问题及教学重点和难点进行了详尽的讨论、分析。并附有思考题及考试题，为教学工作和学生学习提供了方便。

本书可作为全日制高等院校、电视大学和职工大学普通物理教师和学生的参考书，也可作为专科学校和普通中学物理教学参考书，亦可供其他从事物理实验的科技工作者参考。

普通物理实验指导

力学、热学和分子物理学

龚镇雄 刘雪林 主编

*

北京大学出版社出版

(北京大学校内)

北京大学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

850×1168毫米 32开本 8.125印张 210千字

1990年9月第一版 1990年9月第一次印刷

印数：0001—4,000册

ISBN 7-301-01110-5/O·0193

定价：3.80元

前 言

普通物理实验是物理教学中的一个重要环节。长期以来，为了提高教学质量，我们教研室的实验教师和实验技术人员，深入钻研和讨论实验中的有关问题，不断更新和充实实验内容，作了大量的工作。我们认为，如果能把我们的教学经验和心得体会总结出来，不仅能提高我们的教学水平，也有助于与兄弟院校的同行人交流切磋，对青年教师和学生也有指导作用，为此我们编写了这本书。

书中所列的实验题目，除了简明地介绍必要的实验原理、基本的仪器装置、实验内容、实验结果和数据处理外，还着重分析讨论了与实验有关的问题。例如，实验的设计安排，仪器的调节，元件参数的选择，实验现象的分析，主要的误差等。本书还选编了我校历年所用的思考题、选作题和考试题。

考虑到近年来相继出版了一些普通物理实验试用教材，所以对这些书中已详细论述过的问题，本书不再赘述。但在写作过程中，为使阅读方便，我们也注意了保持全书的连贯完整。

虽然书中的各个实验是由实验室的同志们分头执笔编写的，但它是集体智慧的结晶。本书还吸取了兄弟院校同行们教学研究的成果，在此表示感谢。

虞福春教授热情支持、指导本书的编写工作，提出了许多有益的、中肯的意见，我们表示深切的谢意。

由于我们水平有限，书中难免有不妥之处，恳请广大读者批评、指正。

编 者

1985年2月

于北京大学物理系普通物理教研室

目 录

| | |
|----------------------------------|-------|
| 绪论——力学、热学实验的安排及教学要求 | (1) |
| 力学、热学实验中的测量误差教学 | (10) |
| 附有关测量结果有效数字的几个问题 | (20) |
| 实验一 用米尺、游标卡尺、螺旋测径器和读数 显微镜测量长度 | (26) |
| √实验二 测定物体的密度 | (31) |
| 实验三 牛顿第二定律 | (37) |
| √实验四 单摆实验 | (45) |
| √实验五 用金属丝的伸长测定杨氏模量 | (53) |
| √实验六 用自由落体测定重力加速度(光电计时) | (64) |
| √实验七 刚体转动实验 | (77) |
| 实验八 气轨上的碰撞实验 | (98) |
| √实验九 弦的振动实验 | (111) |
| 实验十 扭摆的受迫振动 | (121) |
| √实验十一 声速的测定 | (135) |
| 实验十二 弹簧振子和简谐振动 | (144) |
| 实验十三 测定冰的溶解热 | (154) |
| 实验十四 用冷却法测定液体的比热容 | (167) |
| 实验十五 用稳态平板法测定不良导体的导热系数 | (180) |
| 实验十六 用电热法测定热功当量 | (192) |
| 实验十七 测定固体的线膨胀系数 | (199) |
| 实验十八 测定空气密度 | (206) |
| 实验十九 用斯托克斯公式测定液体的粘滞系数 | (214) |
| 实验二十 观察布朗运动 | (226) |
| 力学实验笔试测验题选辑 | (236) |
| 力学、热学设计性实验操作测验题选辑 | (247) |

绪 论

——力学、热学实验的安排及教学要求

龚 镇 雄

(一)

普通物理实验是物理系学生的第一门实验课,而力学和热学、分子物理实验又是其中的第一部分。其具体安排和教学要求,都要从整个的培养目标、课程的性质任务和学生的实际情况出发,提高在当前及长远意义上的教学效果,把好这入门的第一关,以培养出具备比较扎实的理论 and 实验基础,思想活跃,见多识广,具有创造精神,善于提出问题,将来能从事研究工作,应用技术工作或教学工作的人材。

按我们目前的安排,力学和热学、分子物理实验是一个学期的课程,在学生入学后第一或第二学期进行,约共18次课,每次4学时。具体安排如下:绪论及第一次测量误差课之后,做一次长度测量实验,然后安排四个简单的实验(测定固体密度,单摆实验,自由落体,用金属丝的伸长测杨氏模量)作为一个循环。之后,是四个内容略比前面深一些的实验(分析天平,刚体转动实验,气轨上的碰撞实验,弦的振动实验)作为一个循环。在做过这些实验以后,用一周时间进行小结兼上第二次测量误差课,再用一周进行测验。我们把这十二或十三周课程看作是对学生最初的训练。在这以后,以热学、分子物理和机械振动实验为内容安排一个大循环(测定冰的溶解热,测定热功当量,校准液体温度计,用冷却法测液体比热,测定空气密度,观测布朗运动,简谐振动,受迫

振动)。由于学时的限制，学生只能做其中5—6个，或做其它由教师指定的选做实验。

(二)

在这一学期的普通物理力学、热学实验课程中，我们的教学工作着重于以下几个方面：

一、基本训练的严格要求

作为物理实验的第一课，这一点是首要的，务必把牢。基本训练包括：

1. 了解和掌握一些物理实验的知识和基本技能。诸如，掌握一些基本仪器的结构原理、规格性能、维护知识、使用方法；掌握一些物理量的测量方法；了解一些常用的物理实验方法（如替代法、比较法）；学会列表、逐差、作图，用回归法作直线拟合等数据处理方法；了解测量误差的基本知识，学会简单的误差计算；正确地运用有效数字；写好实验报告等。

2. 树立良好的实验习惯和作风，例如，习惯于遵守实验室规则和仪器的操作规程，做实验前预先考虑好实验要进行的内容和步骤，估计可能出现的问题，作出预习笔记；有条不紊、认真细致地做实验；如实地、清楚地记录下全部原始的实验数据和必要的环境条件，仪器编号、规格；维持实验室、仪器装置和实验环境的完好和整洁，等等。

3. 培养分析能力。在整个实验过程中要始终保持处于积极的思维状态。要努力做到，清楚地理解实验的原理、方法，掌握实验所依据的理论公式推导中每一步所要求的条件；了解实验所用仪器的规格；理解选择某些待测量数值大小的依据；有目的、有步骤地调节仪器；预期实验中每一步操作的后果；随时判断测得的每一个数据是否合理，各个数据之间是否合乎应有的规律？记

录实验中发生的现象，并进行分析等等。

为了达到上述训练目的，我们采取了以下一些措施：

1. 在安排上，把实验内容作必要的重复，如各种分度的游标、各种类型的作图等等，都在实验中包括设计性实验中作了不止一次的安排。另外，根据历年的情况把学生容易出错的地方专门设了“陷阱”，使其能够暴露出来。

2. 采取各种检查的措施。如检查预习报告；在实验课上巡回，按计划及时一一检查某些重要的操作是否正确；学生的测量数据要经过教员认可后才能离开实验室；对于学生在实验报告上计算的每一个数据（特别是前几个实验），教员都一一核算，算错了要重算。为此，我们在仪器的设计及计算方法上采取了措施，以提高教师把关的工作效率。

3. 及时讲评。每次课上要向学生指出上次实验中的问题。为此，规定学生在做完实验三天后就必须交来实验报告，教师在下一周上实验课时发还，并可就一些共同的问题进行说明。个别学生的问题要对本人当面说明。

4. 示范。头几个实验中，教师出示实验报告的样式。有时展示学生中写得好的实验报告。

5. 最重要的还是在实验课的整个过程中针对随时发生的实际情况，个别启发引导。

二、着意进行物理思想、物理实验方法等方面的培养

要从培养一个实验物理学家或具有开拓精神的实际工作者着眼，而不仅仅从培养一个实验技术人员着眼。这样，就要在对學生进行严格、扎实的基本训练的同时，着意进行物理思想、物理实验中带有普遍意义的一些方法和考虑问题的途径等方面的培养。这当然不是一门课程所能解决的问题，但在一开始就要给予注意。

1. 注意从物理内容上去理解和学习实验。例如，每一个实验

所要解决的问题是什么？它的物理依据和解决问题的途径和方法又是什么？有什么特点？其设计、仪器装置或安排有什么精彩或巧妙之处？对待做实验，不要仅仅看成是测几个数，而是要去观察和思考实验的物理过程，注意测量过程中物理条件满足的程度等等。

又如，物理实验中的数据处理不单纯是个数学问题，一个实验的数据用什么方法来处理是整个实验中处理和解决问题的不可分割的一部分。用任何数学方法去处理一个实验结果（如进行曲线的拟合），总是根据一定的物理模式来实现的。同一组数据，用不同的物理模型，亦即选用不同的物理公式或数学方法来处理，其结果是不同的，等等。

2. 每一个实验中都包括一些具有普遍意义的物理实验方法，解决问题的途径、考虑问题的角度等。事物的普遍性寓于特殊性之中，要从每一个特定的实验中让学生学到这些具有普遍意义的、对以后提高实验能力具有长远意义的东西。例如，在考虑设计和安排实验时，要尽量发挥理论的指导作用，又要结合实际进行考虑；要设法以最小的代价——包括物力和人力，得到预期的结果；要设法把不好测的量或不易测准的量变换成好测的或易测准的量；可以多测几组容易获得的量，消去一些不好测的量；要在现有条件下获得实验的最佳结果。又如，在进行分析和判断时，实行定性和定量分析相结合，进行数量级的估算；想法用重复实验，改变实验条件或参量数值，或故意突出某个因素等方法进行实验，作对比分析，来判断各个测量值的精确程度及各个因素对实验的影响程度。又如，怎样用实验方法去验证一个理论假设？怎样找寻各个物理量之间的相关关系？粗略的或较精确的方法又都是怎样等等。

在进行数据处理时，要有充分利用和合理选择现有数据，使之尽量符合实际情况和充分反映实验信息的思想，数据处理本身不能提高已经完成了的实验的精确度，但是，也绝不允许由于数据

处理的不慎(如计算工具选取不当,有效数字位数取得不当等)而引进了不应有的“误差”或降低实验结果应有的精确度;数据处理也要做到尽可能地提高效率,简化运算,不作无谓的过多的运算等。

在进行误差分析时,也有一些常常需要考虑的问题,比如,要设法找到这个实验的基本误差的数量级,找出影响测量结果精确度的主要因素;误差的传播不仅与直接测量的误差有关,有些还与其传递系数,即理论公式的表达形式有关;测量公式中不出现的量不见得不会对实验带来误差;在进行误差合成时,针对不同的具体情况,选用不同的模式;可以从实验方法的选择、理论公式的修正、测量参量的选择、测量步骤的安排等各个途径来减少误差等等。

3. 从哪些方面来做好或学习一个实验,对于初学者也是很重要的。我们引导学生从实验的设计、实验操作以及结果分析处理等几个方面去把握一个实验。具体说来,在实验前要力求弄明白这个实验所依据的理论、实验方法的特点和选择仪器的根据;在实验中了解实验安排、参量选择以及操作步骤为什么要这样规定的道理,找出需要测准的关键量,考虑实验条件如何保证及需要满足的程度;实验过后要学习数据处理方法,对实验结果作出合乎实际的应有的说明,有根据地、具体地进行误差分析。

每一个实验从表面上看来是很琐碎的,要让学生了解实验课学习的特点,逐步建立归纳、对比、总结的学习习惯。

为了做到以上几点,我们采取的措施是:

1. 在实验选题上,要考虑选择在方法上有特点、理论推导严谨、主要问题突出、在实验过程或分析处理实验结果时内容比较丰富的实验,把有关的内容安排进去,或者专门为此设计新的装置,排出新的实验。如实验原理和实验条件的分析,我们着重放在刚体转动实验和碰撞实验中,同时这两个实验又分别是以间接和直接用实验方法验证理论的例子;如把参量选择和实验安排

的考虑放在自由落体实验和测定冰的熔解实验中；解决一个不好测准的量的测量问题体现在用金属丝的伸长测杨氏模量和测定固体密度的实验中；等等。在各个实验的作业题中也对各项内容分别作了安排。

2. 除了实验安排以外，还要交待引导。我们在讲绪论和误差课时就举了许多例子，把这些思想体现出来。在列出课程的重点，交待每次实验课的注意事项及在讨论时，都要强调指出以上的这些内容，引导他们去举一反三。

3. 更加重要的还是通过在课堂上对学生适时的进行启发、提问、讨论。

以上这些做法是在保证学生的基本训练的前提下进行的。主要是给予学生一些熏陶，一些影响。

三、提高学生对实验的认识，培养他们对实验的兴趣

对于刚入学的同学来说，对于物理实验在物理学发展历史上的作用，学好物理实验对今后学习和工作的意义，物理实验到底有哪些内容，应该怎样在实验中培养自己？等等，他们的认识是很肤浅的。而如果学生没有一个对实验的正确认识，没有对实验的强烈的兴趣和爱好，要学好实验也是困难的。

我们认为，培养学生对实验的认识，主要是以下几个方面：

1. 物理实验的训练对于一个将来从事物理研究的人材的意义。实验与理论相辅相成，是物理学的两条腿，缺一不可，而实验训练又是培养物理思维，提高实际工作能力的极其重要的途径。要使学生自己意识到，对他们来说，实验这个方面是尤其不足的。

2. 认识到物理实验本身，无论是实验的设计思想，实现目的的途径，严谨的理论推演，各种各样的仪器，适当的安排，仔细的测量，保证实验条件的措施，对实验中出现的现象的分析，判断实验结果的方法，数据处理的方法，对于一个问题从实验和理论相结合的途径去探索等等，都有极其丰富的内容。一旦到了实验之

中，积极的思维，认真的观测，丰富的联想，即时的判断，是非常引人入胜的，这一点是最重要的。

3. 要认识实验本身是一种重复的、艰苦的劳动，不论是得出一个合乎实际的结论，或者是找到一个误差来源，或者判定一种测量方法的优劣，都不是轻而易举的。要从重复的操作中进行磨练，从平凡的测量中寻找乐趣。

为了达到这方面的目的，我们的措施是：

1. 灌输。通过绪论、小结、课外讲座等，对学生讲物理学发展中实验所起的作用，讲某些有名的实验的卓越思想和巧妙的方法，讲某些仪器的设计特点，讲物理实验中的数据处理方法，讲近似计算方法在实验中的灵活运用等等。有时结合历史讲，有时结合当前物理学的进展讲，有时结合生活中出现的故事讲，有时结合学生出现的问题讲，以期达到扩大眼界，提高兴趣的目的。这些内容一般放在课外活动时间内，同学可自由参加。

2. 通过做实验来认识实验，这是主要的途径。在课堂上，我们保证学生有较多的时间自己动手做实验，不断提出进行思考或通过实验去探索的问题；在课外及假期开放实验室，学生可以选做实验或帮助教师试作新实验，试用新装置或解决一些实验中出现的实际问题；也可以对学生自己提出的问题去寻求答案。我们把操作测验变成一次设计性实验，学生要准备回答十几个操作测验题，他们事先认真设计，到实验室来准备，表现出了很大的兴趣，也锻炼了他们独立解决问题的能力，有利于提高他们对实验工作全过程的认识。

3. 针对我们系不少同学程度不同地存在的轻视实验的思想，在第一次误差课后安排了份量很多，很容易出错的习题；又特别在开初几次操作实验课上以及课后通过批改实验报告，指出学生的每一个错误让他们改正；通过期中测验试题暴露学生一些似懂非懂的问题。通过这些让学生自己认识自己不足，这也是一种措施。

4. 鼓励同学的创造精神，鼓励同学在实验报告上发表自己的见解；在课外活动中，挑选自己主动提出并解决问题的，或深入地考察了某一个问题的学生，让他们作报告进行交流。

实践证明，通过各种途径和教师的努力，我们收到了较好的效果。此外，我们还开设了选修课。

(三)

在进行实验课的教学工作中，我们注意处理好以下几个关系：

1 严格要求与活跃思维的关系

作为入门的基础课，基本训练的严格要求是必须的，但是严格要求不等于死板，不是让学生盲目地按规定去做；学生做实验没有达到预定的要求，数据达不到规定的范围，是要重做的，但必须指出错在何处，或引导学生自己去找出问题所在，促使他去思考，不然就会使学生去凑数据过关。严谨的科学态度要求学生周密地去考虑问题的各个方面、各种因素和各个条件，这本身就促进了思维的积极活动。因此，严格要求与思维活跃是不矛盾的，要的是严而不死，活而不乱。

2. 知识与能力的关系

在学生在校学习的有限的时间内，一方面要从科学知识的总汇中精心挑选最精华的部分，用最科学、最有效的办法传授给学生；同时，要特别注意培养学生获取知识和应用知识从事实际工作的能力。不能把能力与知识隔裂开来甚至对立起来。能力的培养要以一定的知识和技能作为基础。例如，如果学生不知道测量物理量有哪些方法，不知道有哪些验证物理规律的途径，不掌握处理数据和消除系统误差的方法，不熟悉有关仪器元件的性能等等，就不可能运用它们去设计实验方案，安排实验和选用仪器。知识面越广，分析问题、解决问题、提出问题的能力也会相应地增强。学生对一些著名实验中的好的实验方法及物理思想知道得

多了，才会有启发，有联想，才可能在自己的实验中想出好的主意或借用其他实验中的好方法。知识被消化以后，可以成为驾驭工作的能力。只有能力提高了，才会更有效地获取知识。因此，我们在强调和着重实验能力培养的同时，注意对学生知识的灌输，以各种形式不断扩展学生的知识面。

3. 把手与放手的关系

基于我们对知识与能力关系的理解，基于对学生入学水平的估计，作为学生实验学习的入门，开始时按着讲义做一些排好的实验，即较多地把着手教一些是必要的。这样做的效率较高，可以从头培养起好的习惯。我们采取逐步放手的做法。把手是为了更快地达到可以放手，为了更好地放手。

(四)

要做好对学生的入门教学，关键还在教员。教员的水平决定了教学的水平。教员本身对于实验课的认识和态度必然会影响学生。力学、热学和分子物理实验的内容，有很多可以研究和发展的地方。教学工作是一门艺术，特别是实验教学，既要与人打交道，还要与物打交道，有着极其广阔的天地。当好入门的教师是一项责任重大的非常光荣的职责。我们的工作创造性的。我们要在平凡的工作岗位上做出不平凡的成绩。要树立起我们自己的教学风格，发扬每一位教员的教特点。我们从学生的进步和提高中得到了鼓舞和安慰，并以这种精神去感染学生。

力学、热学实验中的测量误差教学

龚镇雄 刘雪林

(一)

测量误差问题与做一个实验的整个过程都有不可分割的联系，它是普通物理实验课程的重要内容之一。力学、热学实验作为普通物理实验的第一部分，一开始就遇到测量误差问题。下面，就对力学、热学实验中测量误差教学要求的掌握，教学内容的选择和安排，教学方法的考虑以及某些经常被关心讨论的问题，提出一些我们个人的看法。

我们认为，测量误差是一门专门的科学，深入地讨论它，需要有丰富的实验经验和较高的教学知识。物理实验中有关测量误差的内容是要通过实验不断学习、不断积累经验的。它不仅仅是个数学问题，它首先是个物理问题。在普通物理实验中，也包括首当其冲的力学、热学实验中，要介绍有关测量误差的基本知识，希望学生着重了解它的物理内容，学会简单的计算，领会误差分析的思想对于做好实验的意义。

测量误差的基本知识，应当包括测量误差与物理实验的关系；系统误差和偶然误差的来源、性质及处理方法，它们之间的区别和联系；处理系统误差的一般知识，包括发现、消除、减小它的一般方法和途径；从概率统计的观点来认识偶然误差，建立置信度、分布的概念；以误差来表示测量结果等。

简单的误差计算应包括多次测量结果偶然误差的计算，绝对误差和相对误差之间的换算，偶然误差及系统误差的传递等。学

会简单的误差计算，其目的在于为以后工作中实际误差计算打下基础。

要让学生着重了解误差的物理内容和建立误差分析的思想，这需要在整个实验课的教学过程中自始至终地注意贯彻。

要特别注意对学生误差分析能力的培养。诚然，教给学生知识和计算方法是完全必要的，没有基本的知识和达到一定熟练程度的运算本领，要提高误差分析的能力也是不可能的。但是，我们着眼于培养善于思考、富有创见、能独立提出和解决问题的科研人材，就应着重物理思想和分析能力的培养。系统误差分析是误差分析的主要内容，计算偶然误差有现成的理论，而处理系统误差却需要丰富的实际经验和较高的实验素养。对普通物理实验中的力、热、电、光各部分中测量误差教学的联系和衔接，我们认为要在树立误差分析的思想和提高误差分析能力这个意义上统一起来，而对一些具体的知识和内容，则可以各有侧重并有所分工。

(二)

为了探索提高测量误差教学的实效，把有关的测量误差内容，特别是培养学生误差分析的思想以及逐步提高误差分析的能力贯穿到整个课程中去，我们在力学、热学实验课程中作了如下的安排，并采取了一些教学方式和教学方法。

1. 讲授

在实验课的一开始就讲测量误差是必要的。第一次课要教给学生一些有关测量误差的基本知识，建立一些正确的概念；要说明测量误差对物理实验的意义，初步阐述误差分析的思想；要从物理上讲误差而不能让学生仅仅学会计算误差；学习偶然误差的计算问题。

第二次讲课是在做完力学实验以后，结合小结进行的。这时

就可以结合已经做过的实验，以学生在实验中发生的问题为例，具体而生动地阐明误差分析在实验中的运用，从而进一步理解误差分析的思想。这次讲课中还进一步介绍有关系统误差的一般知识。

2. 在实验内容及作业题中作出安排

在开头的几个实验中，安排了多次测量的偶然误差计算、误差的方和根合成以及算术合成，一次测量的误差估计等。我们把从实验方法的选用以减小测量误差安排在测定密度实验中，把实验理论条件的近似满足以及由此产生的误差和修正办法安排在单摆实验和用斯托克斯方法测定液体粘滞系数的实验中。把要在实验中抓住测准可能引起较大测量误差的主要量，放在气轨上的碰撞实验中。把用误差分析的方法找出实验中的最佳参量选择安排在自由落体实验光电门的位置的选择及阻尼振动实验中。把系统误差对于实验结果的影响和修正方法安排在分析天平实验（空气浮力修正）和热功当量实验中（散热修正）。在有些实验的作业题中要求回答某些因素对测量结果影响的方向及量级等。

以上都属于一些最基本的内容，进一步的内容，我们在设计实验及选修实验中予以安排。

3. 在课堂上根据学生实验中出现的的情况随时引导

举例说，当学生在实验过程中发现分析天平在负载下的灵敏度下降了较多，即可问学生由于这项误差会对结果造成多大影响以及在一般测量情况下，减少这项误差的方法。又如发现在刚体转动实验中以移动一对相对距离不变的重锤，改变他们距转轴的位置来检验平行轴定理，其结果与理论值相差甚大时，让学生具体用误差传递公式计算一下，说明这是合理的，从而得出两个大量相减得出的小量，其相对误差将会是较大的结论。又如学生提出单摆的摆球的部位突出一块，将会影响摆球质心的位置时，就让他估算一下这项误差的量级等。

再举例说，当学生在实验中发生了一些错误，如用流体静力