

# 美国麻省理工学院 对近代物理实验课的要求

戴乐山

(复旦大学 上海 200433)

今年年初,原我校物理系研究生王玮同学从美国回上海探亲,带来了美国麻省理工学院1992/1993年度的近代物理实验教材(他们称为JUNIOR LAB相当于我们的近代物理实验室)。与我校原有的该校1978/1979年度的教材相比较,在实验课题及内容上都作了较大的变动,而且对近代物理实

验课程提出了明确的要求。在1980年访问该校时有一些了解,但没有这样详细。这份材料有不少内容是值得借鉴的。因此,把这一部分的材料主要内容译出(略去了实验室安全等段落),供大家参考。最后,结合复旦的情况,谈一些心得。

## 近代物理实验课的情况介绍

(美国麻省理工学院,1992年9月)

### 目 标

本实验室将使学生能亲身体会建立近代物理的实验基础,在这一过程中,加深理解实验和理论之间的关系。大部分是原子和原子核物理实验。在实验中,你可以观测到一些物理现象,它们在本世纪中使物理学获得重要的进展。由于你测得的实验数据总是有系统的和随机的误差,这样,我们根据直观的宏观变量所得的规律,与描述原子和原子核的亚原子结构理论的规律不符。因此,你必须努力去了解实验装置中的每一个设备的性能,及掌握它们的操作要领,这样你才可能得到最佳的数据。通过对实验误差的定量处理,就可以用理论来解释你的实验结果。实验室希望同学能通过实验掌握实验现象的观察、测量和解释的方法,其中的大部分实验是获得诺贝尔奖的。当然,如果您在他们之前发现它,您也将获得诺贝尔奖。

### 科学和科学教育的道德

我们在阅读权威性杂志上报导的物理实验结果  
物理实验 第14卷第4期

时,通常都认为作者是真实、正确地描述他所观察到的结果。你可以不同意他对实验结果的解释,或对他提出的解释他的实验结果的理论有不同的看法。但你要确信,如果你根据要求复现时,将得到一致的实验结果。

事实是检验科学真理的最终标准。如果以后有人证实某文献的测量结果是错的,即差异肯定大于给出的误差限,那时文献作者的声誉将受损。若发现有欺骗行为,那将毁了一生。所以,大多数有成就的科学家都极为郑重地对待他们的实验数据及发表的论文。

近代物理实验课是这样安排的,使学生在实验物理学和实验技术方面能得到严格的训练。为了维护科学的真实性和严肃性,实验室教师都相信学生的实验记录本上的数据、及实验报告和口头报告的内容是如实反映真实的观测结果。当你由于实验时的操作错误、仪器设备工作不正常、对物理概念的理解不当、或计算错误,这些都将导致错误的结果,这时,实验室教师将会帮助您分析哪些地方出错,在下次实验时,你就能得到改进。

由于仪器设备不能工作、天气不好、…等等的原因，以致你不能获得所需的实验数据，这时可以使用其他学生的数据，但必须事先经实验室认可。

“假实验”指的是：伪造或任意修改数据、未经许可使用他人的结果、或从资料中抄袭数据。这是一种智力犯罪，与剽窃罪一样严重，甚至可以导致开除学籍。

当然，教学实验与科研实验有很大的区别。在近代物理实验室的实验中，大部分是属于：1. 著名的基本物理常数的测量，例如， $h$ ,  $e$ ,  $k$ ,  $e/m$ ,  $G$  等。2. 重要的物理量，例如  $\mu$  介子的平均寿命、电子对光子的散射截面等。通过这些教学实验，可以观测原子和原子核物理现象、认识书本和课堂上讲授的理论和概念是真实的、及得到基本专业训练：如何获得可信的实验数据和从中得出有用的结论。学生能在上述几个方面获得实际经验。当然，从CRC（出版社名，译注）手册或书本中查阅实验应有的结果，是无可非议的。把近代物理实验作为一种游戏，即如何在现有的实验设备和分析方法的有效性的限制条件下，尽可能获得准确的测量结果，认真地估计实验误差，并与公认值比较，这确实是一种从近代物理实验课的实习中获得最大收益的好方法。当公认值在你的误差范围以外时，要努力去发现错在哪里，改正后再做实验。如果公认值在你的误差范围之内，也不能掉以轻心，要进一步证实这不是一次偶然的巧合。不论属于哪一种情况，你在实验报告和口头报告时都要如实地描述你的观测结果，不论它看上去是如何的不好。

### 实验室规则

你要充分利用安排给你的实验时间，有时甚至超过一些，这样你才能提高你的学习效率及得到你为3小时实验课所付的~\$100的回报。在实验室规定的上课时间内，有一位有经验的实验物理学专家教授值班，并有两位助教协助他工作，一位是研究生，另一位是上一年度选读过这门课程的高年级学生。实验室还有其他工作人员，一位高级讲师和三位技术员，他们负责实验设备的维护和准备新实验。实验室教师和工作人员随时愿意为你服务，使实验能正常地进行和回答所提的问题。当你遇到困难时，不要急于求助于他们。

在实验室安排给你的每次3小时的实验课，必须按时来实验室上课。如需更改，则必须事先与负责你这一部分的教授商谈。实验室记录学生的出席情况，它是评分时的一个重要因素。

实验室开放时间为每个工作日的上午9:00到下午5:00(学院的节假日除外)，这时你可以得到实验室人员的帮助，解答一些物理问题和维护实验设备。为了安全起见，在其他时间，实验室是不开放的。实验室会把实验室号码锁的数码告诉你，以便你在上课时间内能进出实验室。每个学生都要对实验室的安全负责，即保证实验室在课外时是上锁的。

### 实验记录本

这门课程的一个基本要求是使学生养成保存数据的习惯，这对今后的研究工作是十分有益的，为此，实验室将提供一本标准计算记录本。记录每一个实验的实验日期、步骤、操作过程、原始数据、计算方法和结果，以便保存。虽然，一般是两个学生一组，要求两人在实验过程中和分析数据时密切配合，但是每人必须各自保存一份完整的实验记录，包括日期、数据和数据分析。计算本中的方格页是用于制表、画方案框图和草图的。正式的图、照片和共用数据的复印件都要粘附在相应的位置上。在记录本上要对你的实验过程作必要的描述，这样，如果日后有需要，你还可以依此重复它，并得到相同的结果。说明及图表要简洁。同时，在记录本上留出一些空间，写注释和分段说明。注意，不要缺页或丢失粘附的图表。每次口头报告时，对你的记录本作出评估，它是评分的一个重要依据。

实验时随时分析你的数据是否合理是必要的，它可对数据作出初步的判断。当你在改变一个量，而测量另一个量时，你可得到一组数据。在测量过程中，随时把数据标在图上，你就可以看到变化的趋势、发现疏忽误差（或粗差，译注），并可决定测量数据是要密一些、还是稀一些。如果你在规定的四个实验单元中完成，并对实验结果作了初步的分析，你应抓紧时间，部分地或全部重复这一实验，以得到尽可能好的实验数据。学生必须按照常规，对每一个量至少要测量三次，而且要求它们尽可能是相互独立的测量，以符合估值随机误差时的

物理实验 第14卷第4期

要求,同时,还可减少实验中的疏忽误差。

## 预习题

每一份实验指导书上都有一组预习题,在这一实验的第一次实验课前,应把这些预习题的解答写在你的实验记录本上,并把它复印件投入4-310室的指定盒内,实验室在实验课开始后一小时收取,迟交的拒收。复印件由研究生助教评阅,在下一实验课时发还。

## 组织安排

一学期要做四个实验。每周有两次3小时实验课,周一/周三或周二/周四。每个实验安排四个3小时的实验课。对于四个入门实验,则为每个实验3小时。实验室的开放时间为周一到周四,上午9:00到下午5:00,周五对哪些来不及完成实验的学生开放。下午5:00以后及周末与节假日不开放,所以,你要充分利用安排给你的实验课时。

每个实验由一位教授负责,两位助教协助(一位是研究生,一位是上年度选这门课程的高年级学生),技术助理有四位。实验室秘书处理咨询、实验指导书及参考资料等事宜。

实验时,学生两人一组,在实验操作、分析和处理数据时,俩人要分工合作、机会均等。选择同组者时,要考虑俩人的住处是否相近、课程表是否协调,以便课后共同商讨实验方案及分析、处理实验结果。大部分学生每周至少需要18小时以上,才能达到近代物理实验课程的要求。如果你的学习负担过重,建议设法减轻它,以便有充分的时间来很好地修完本课程。

## 入门实验

在秋季学期中,要做四个实验,但在做这些实验前,先要用四次实验课来完成四个入门实验,掌握各种仪器设备、实验步骤、数据分析和正规的实验记录方法。在做每一个入门实验前,先要交预习题的解答。完成四个入门实验后,要做一个口头报告,每个学生10分钟,可在四个实验中选一个,描述它的理论和实验结果,同时要准备好讨论这四个实验的准备工作。

入门实验的成绩是不保存的,在课程评分中不计这一成绩。

## 前两次实验课

开学注册后的前两次实验课安排在9月10、14、15、16日,上午9—12时,下午1—4时。用于实验的绪论课及实验组的组织工作。在第一次实验课上,使你对实验室有一比较全面的了解,细读实验室指南及考虑怎样选择你的同组者。第二次实验课的主要任务是选定同组者及实验室为每一实验组指定实验顺序。实验从第三次实验课开始,即9月17或21日。

## 评分

在每一个实验结束后的两周内,学生要参加1小时的口头报告及讨论会,至少有一位教师参加这一报告、讨论会。会前学生要各自准备好篇幅为一页的实验小结,包括实验目的、实验原理及结果。在报告、讨论会上,学生要上交打印好的实验小结及实验记录本,并就实验中的某一部分的理论和实验方面作10分钟的口头报告,10分钟是很短的一段时间,但对你是很重要的,因为这是你以后在物理学会上报告的预演。在准备篇幅为一页的小结与口头报告时,希望你与同组者密切合作。在上交的小结中,要充分表明你是掌握了实验的全过程,及给出你自己对实验结果的表达方式。小结应写得简明扼要和语言准确。可以仿照物理评论或天体物理杂志文章中的摘要的格式来写小结。

在秋季学期中,每组学生要交一份共同准备的学期实验报告,一般选这学期的第二个实验,包括完整的实验背景、原理、实验过程、数据、数据分析和结果(也可以选第三个实验,但不希望这样做,因为时间太局促)。报告应按照物理评论快讯或天体物理快讯中的文章格式和篇幅来写。写作中心可以提供写作科技报告的要领。在11月2日前,将初稿交负责你这一组的教授修改和评议。报告必须于12月7日(周一)下午5:00时前交到系办公室,这是截止期。

在春季学期中,每个学生要在第一、二两个实验中选定一个实验,各自写一份学期实验报告。去年,学院写作中心收藏了许多春季学期的近代物理实验报告。

你选读的8.13课程是这样评分的,与同组者一起准备的学期报告占30%,预习题的解答、口头报

告讨论会,篇幅为一页的小结、实验记录本的质量及出席率总共占70%。

## 使用的教课书

课程使用的教课书是 A. Melissinos 的“近代物理实验”(学院出版社,1966)。该书提供了近代物理实验室中的许多实验所需的背景材料、理论方面的讨论、实验步骤及注意事项。凡是实验时

\* \* \* \* \*

我校从1956年开设近代物理实验课程以来,也积累了一些教学经验和教训。1956年初,我校在原有的原子物理实验室的基础上,筹建中级物理实验室,以原有的原子物理实验为基础,参照苏联斯皮瓦克编的《专门物理实验》一书,共准备了38个实验,于1956年秋,正式开设“中级物理实验”课程。由于准备得比较仓促,在教学法上没有给予足够的重视。在60年代中期进行的教学改革中,在教学内容和教学方法上都作了重要的改进,在个别实验上进行了试点,适当增加实验时数,即不限定一周完成一个实验,以保证学生在教师的指导下独立完成实验课题,加强了实验技能方面的训练。1978年末,重新开始筹建,并改名为近代物理实验室。根据以往的经验,在近代物理实验课中应以指导学生用实验方法研究物理现象为主要教学内容,因此,安排的实验以在物理学发展史中起重要作用的经典实验为主。在筹建时提出,教学内容可从实验思想、实验设计、实验技术及数据处理等四个方面进行安排,在各实验中可以有所侧重。要求学生通过亲自实践前人的科学实验,从中学习如何用实验方法研究物理现象及加深对实验与理论的相互关系的理解。实验时,不是简单的要求学生按教材上的描述和步骤即可顺利地测得数据,得到前人的结果。由于仅有半年的筹建时间,很多准备工作未跟上,例如,备课、教学要求与教学内容的讨论、总的课程负担过重、……等等。因此,在以后的教学过程中遇到了不少困难,甚至有挫折。下面就复旦的近代物理实验教学作初步的探讨。

### 1 “点实验”与“面实验”

在80年代初,主要的工作内容是增加“点实验”,即按 $2 \times 6$ 节课完成一个实验的要求来准备实验。到80年代的中、后期,有的教师提出学生做的实验太少、知识面不够宽,要求“点面结合”,

所需的重要资料在该书中已有时,我们在写实验指导书时就省略了。这本教材中还有误差分析和辐射安全的章节。我们建议你添置一本 P. R. Bevington 的物理中的“数据处理和误差分析”(McGraw-Hill出版社),书中详尽地讨论了误差分析方法,同时给出了许多用 Fortran 语言编写的程序,这些对你以后的研究工作是有益的。

即安排一些6节课能完成一个实验的“面实验”。有的教师则认为物理系的学生是学习物理学科的基本知识和规律,对于高年级学生应以能力培养为主,只需做点实验(即在物理发展史上起重要作用的科学实验和一些重要的基本物理常数,如里德伯常数等),不必安排面实验。近一年来,我们开始实践按模拟科研实验的要求来准备实验,使同学能更好地在教师的指导下,独立完成实验。教学实验不同于科研实验,但也有相同的地方。教学实验的理论部分对教师来说都是成熟的,这是不同于科研实验之处;但是对同学来说,在实验与理论上都需作一些探索及阅读一些有关资料,通过亲自实践前人的科研实验,学习用实验方法研究物理现象,这是与科研实验相似之处。所以在近代物理实验的教学中把教学实验作为模拟科研实验来安排,这对培养学生的独立工作能力是重要的。从麻省理工学院的教學要求与内容来看,秋季开设了10个正式实验,但只要每位学生完成其中的4个。因此,秋、春两季共做约8—9个正式实验,每个实验都需 $2 \times 6$ 节课,相当于我们周数为16—18周的一学期、每周6节课,或8—9个“点实验”,即所做的实验个数不多,但都要求在教师的指导下,由学生自己独立完成。每位学生所做的实验也不是全同的。如果按每次有12个、套实验(例如6个实验、每个2套),实验室可接纳96位学生选读。

### 2 课时的安排

他们是每周二次实验,每次3节课,我校则是每次6节课。也就是,他们是用四段时间( $4 \times 3$ 节课),而我校用两段( $2 \times 6$ 节课)。从效果来看,四段的应优于两段的,因为它有利于随时发现问题和改正错误、逐步掌握仪器设备的操作和使用方法、完善实验方案、及“在现有的设备和分析方

法的有效性的限制条件下, 尽可能获得准确的测量结果”。

### 3 课内、外时数的比例

在教学计划中, 近代物理实验安排在三上、三下(或三下、四上), 每周4节课。在复旦, 对于“点实验”是作这样的安排, 每三周完成一个实验, 即两周、每周6节课完成一个实验。但由于课内、课外的比例为1:1, 学生要仔细阅读完实验室资料是困难的, 因此, 很难做到在教师指导下由学生独立完成实验。当然, 这也与学期的总课程负担轻重有关。而麻省理工学院则要求课内、课外的比例为1:2, 也就是, 如果每周以60小时计算, 则近代物理实验课程将占用近三分之一的学习时间, 有的还要超过。但是, 要求学生确实是在教师指导下独立完成实验, 这些时间是必不可少的。

### 4 对数据记录和实验报告的要求

对于“点实验”, 我们坚持了口头报告的制度, 当然还有不少地方要改进。对于“面实验”的实验报告则有争论, 有的认为与“点实验”一样, 要交实验报告, 有的则认为只需交数据记录本, 在记录本上作一小结即可。做一个实验报告, 学生是要花不少时间的。我们需要明确学生写实验报告的目的。当然, 麻省理工学院对实验报告的要求是很高的, 根据我们的具体情况, 是否可以先要求学生近代物理实验课程中有一、二个实验参照“物理实验”或“大学物理”两期刊上的近代物理实验方面的文章, 书写实验报告及一页的口头报告。用口头报告、讨论会的方式来帮助学生进行实验小结, 确实是优于单纯批阅报告的方式。尤其在1小时的口头报告、讨论会中, 二位学生的口头报告仅各为10分钟, 而师生之间的讨论则长达40分钟, 教学相长, 师生均有不小的收获。

### 5 实验室的准备工作

实验室的准备工作主要是指仪器设备方面的问题。有的可以把实验所用的装置全部安排好, 除了仪器设备有故障外, 学生只需按教师的要求就能比较顺利地在规定时间内得到满意的结果。有的则只有实验所用的基本装置, 所需的其他仪器设备由学生自己提出, 经教师同意后借用, 用毕归还。例如, 在质谱仪的实验中, 基本设备是真空机组及散

装质谱仪, 实验时所需的灯丝电源、聚焦电源、扫描电源及微电流计(高阻抑低阻), 均由学生提出具体要求, 与教师讨论。经教师同意后借用。然后把散装质谱仪与测试设备组装成一套完整的测试装置, 然后进行实验, 这也是一种方式。由于还没有与A. Melissinos的“近代物理实验”相当的中文参考书, 在编写教材之外, 还需编写或编译一部分实验参考资料, 最好能让学生读一些与实验有关的文献。当然, 仪器使用说明书也是必不可少的。

### 6 教学人员

从目前的情况来看, 我校担任近代物理实验课程的教师, 不仅要指导学生实验, 而且还要负责实验设备的维护及保证实验的正常地进行。如果有3—4位技术助理负责实验设备的维护及协助准备新实验, 这对提高近代物理实验课的教学质量是很重要的。显然的, 一般的实验室辅助人员是不能胜任技术助理的工作。当然, 如能再配备1—2位管理人员则更有利于实验室的管理工作, 例如实验参考资料和仪器设备的保管与借用。

从目前的情况来看, 要求在三年级开设的近代物理实验课的课内、外比例达到1:2是有困难的, 但这又是必需的。因此, 是否可以考虑把近代物理实验课安排在四年级上学期, 每周6小时。因为基础课在四年级上学期前已全部结束, 四上时, 其他课程可以安排得比较轻, 使学生可以有更多的时间用在实验课上, 最好达到课内、课外比为1:2以上, 以保证实验课的教学质量。如果四年级上学期以18周计, 则可要求学生选做7—8个实验。同时安排做两个实验报告, 其他实验可采用一页小结的方式。实验后通过小结(或实验报告)宜采用口头报告与师生共同讨论的方式。另外, 三年级下学期可以开设一门选修课: 应用物理实验。应用物理实验课是在教师指导下, 由学生自己选择和进行实验。利用实验室的设备, 在应用物理领域内选择几个实验: 光信息处理, 光纤通讯, 激光技术, 薄膜的制备和测量, 超导测量, 微波技术, X光技术及温度、流量、压力传感器在自动控制中的应用等。要求同学阅读资料, 设计、修改、完善实验方案, 组建实验装置和制作部分辅助设备, 在教师指导下, 由学生自己完成实验。使有志于实验工作或拟分流的学生, 在实验方面获得更好的训练。