



## 美国大学物理教学和管理考察报告

实验教学研究

俞 熹, 乐永康, 冀 敏, 马世红

(复旦大学物理学系物理教学实验中心, 上海 200433)

**摘 要:**介绍 2012 年初赴美考察哈佛大学等 6 所大学的物理课程和物理实验教学以及管理情况, 并讲述考察的收获与体会.

**关键词:**美国高等教育; 物理课程; 物理实验; 物理教学和管理

**中图分类号:**G642.423 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-4642(2013)04-0014-07

### 1 引 言

复旦大学物理教学考察组, 于 2012 年 1 月 30 日至 2 月 12 日期间分别访问了美国斯坦福大学(Stanford University, 简称 Stanford)、加州大学伯克利分校(University of California at Berkeley, 简称 UCB)、田纳西大学(University of Tennessee, 简称 UT)、约翰霍普金斯大学(Johns Hopkins University, 简称 JHU)、哈佛大学(Harvard University, 简称 Harvard)和麻省理工学院(Massachusetts Institute of Technology, 简称 MIT)6 所世界一流大学的物理学系. 目的是学习和交流本科生的物理课程教学和实验教学以及管理等方面的做法和经验.

该次行程安排得充实、紧凑, 在每个学校都花了几乎一整天的时间, 看到和听到很多感兴趣内容, 对方也对中国的物理教学情况相当关注, 因此双方的交流非常集中和热烈, 以致于时钟已临近傍晚, 大家还意犹未尽. 考察组此行收获颇丰, 故将此行的见闻和体会细致地整理后介绍给国内的物理教学同仁, 以供参考.

### 2 大学学制、课程教学安排及其人员配置

该部分着重突出大学的学制、课程教学及其人员配置, 及中美大学之间的具体差异, 以便读者理解美国大学的物理课程安排.

#### 2.1 学制和课程教学安排

美国大学的学期较短, 一般一年分为春秋两季, 每学期为 15 周(实际教学安排为 14 周, 另有 1 周用于考试).

而斯坦福大学较为特殊, 每学年分为春、夏、秋、冬 4 个短学期, 每个学期为 10 周. 一般夏季学期不授课(类似于中国大学的暑假), 常常用于学生自己申请校内相关院系的科研实验室工作, 或外出到校外其他科研组工作. 所以总的来算, 美国每所大学每年的正常教学时间为 30 周, 要远远少于国内大学实行的 40 周学制, 下文提到的学期除特别提出外, 一般还是指 15 周的长学期制).

上述 6 所大学的物理系学生人数一般都很少, 常常在 10~40 人不等, 在所访问的几所学校中 MIT 的学生人数最多, 可以有 80 人之多, 这个数字应该也是全美最大的了. 美国的大学数量相当多(有几千所), 所以物理学专业总的人数来算也是不太少的. 经过了解这几所大学的学费约均在 5 万美元/年, 相差不是很大, 大学生们可以申请助学贷款或者奖学金来偿付学费. 除华裔以外, 美国一般家庭, 如果有困难, 均可能由于经济原因而放弃一流大学的入学机会, 仅仅享受次一流大学的奖学金来偿付学费.

每个大学物理系开设的物理类的基础课程选课人数也很多, 一般每年在 500~800 人, 每周会开设 2~3 次同样进度的课程. 笔者认为这是与

收稿日期: 2012-11-25

基金项目: 国家基础科学人才培养基金资助项目(No. 10730310; No. J1103204)

作者简介: 俞 熹(1978-), 男, 浙江东阳人, 复旦大学物理学系高级讲师, 博士, 从事低温扫描显微镜、核磁共振及成像技术, 以及物理实验教学研究工作.

通讯作者: 马世红(1963-), 男, 河南温县人, 复旦大学物理学系教授, 博士, 从事功能超薄物理与器件及物理实验教学研究工作.

大学内部的资源分配有关,越多的课程将带来更多预算.一、二年级普通物理的教学主要分为层次不同的三类课程:第一类是物理类专业课程,需要较高的数学基础;第二类是理科和工程类相关专业课程,也需要微积分基础;第三个层次一般专为生命科学类学生(Life Science)和医科预备生(Premedical)专设,这类课程在一些学校需要微积分基础,另一些甚至直接用代数教学.

以下以哈佛大学物理系所教授的普通物理学为例,详细叙述物理类学生的普通物理类课程.哈佛针对物理类学生所讲授的课程名称为 Physics 15A(力学,选课人数在150人/年),15B(电磁学和热学基础,选课人数在100人/年)以及15C(光学及近代物理介绍,选课人数在60人/年);针对非物理类的理工科专业学生所开设的是2个学期的物理课程,亦即 Physics 11A和11B;而针对生命科学类和医科预备生开设的课程名称为 Physical Sciences PS2和PS3.选择15A/15B/15C类课程的学生一般也不完全是物理专业的,哈佛的物理专业分3个方向,有物理学专业、双学士学位中含物理学专业的学生以及生物物理专业,以上合计也不过40~50人/年.选15A的课程还有一部分学生是为了获得“荣誉毕业”(Honored)头衔的学生.

哈佛在15A/15B/15C的课程安排上,也与国内大学的普通物理教学有很大的不同,往往在这3个学期中均穿插着实验和讨论课程.在课程时间设计上,基本上采用3+3+2的形式,即每周2次(1.5h/次)的课堂教学,1次3h的实验课,以及2次(1h/次)小组讨论.

## 2.2 课程人员配置

在美国高校,教授每年需要考核教学工作量.他们承担了主要的课堂教学任务,研究生TA(Teaching Assistant)也承担了大量的教学工作,也有的学校叫做GSA(Graduated Student Assistant).但是,这几年也有学校(如MIT)开始利用高年级的学生承担起实验教学的课程TA,好处是他们刚做完这些实验,印象比较深,知道问题出在哪里,与学生沟通也比较容易.

对于讲座类课程配置1个教授,1~2个TA课堂辅助(1次250~300人,每周2次).

每周的讨论课程全部由TA负责教学过程和讨论,内容是习题讲解和实验报告讨论等,一般为

6~10个学生组织在一间讨论教室内进行.

实验课程配置1+1+1,一般为1个教授(Faculty member),1个新进教员(Junior member),1个TA,平均师生比为1:10.

## 3 课堂教学和课堂演示

这一部分主要介绍各个大学低年级的课堂教学及课堂演示.美国各个大学的课堂教学相比国内大学来说要远远的生动活泼,特别注重学生的参与和相互之间的讨论,以及师生之间的互动.为了更能在课堂上抓住学生的注意力,课堂演示的实验注重“硕大”(实验教具)、“新奇”(提高兴趣)和“冲击力”(加深印象),特别能引起学生的注意和思考.

讲课采用的是大课堂教学(300~500人)阶梯教室,课堂一般配置6~9块大黑板,2个大屏幕投影和1个超大屏幕投影.有专门的摄像工作人员,负责将各块黑板投影到大屏幕上.在物理演示实验的过程中,如果课堂演示的设备过小,也有专门的摄像机拍摄演示实验并投影到大屏幕上.摄像工作人员也在后台编辑摄像(如图1所示),课后剪辑好放置在学校网站供学生预习或者复习使用.



图1 哈佛大学的多媒体技术服务中心

物理演示实验被广泛地应用在普通物理的教学过程中,物理演示实验室就位于黑板的后方,实验仪器的储藏室位于阶梯教室楼梯下.

每个阶梯教室有旋转讲台,便于课间准备演示实验或课后教师与学生讨论(如图2),笔者看到的是2个相对的教室配备1间准备室,各占120°.课间可以将将在实验准备室里面所布置准备好的物理演示仪器转到下个教室,这样就可不必错开需要演示实验的课程了.

演示实验室充分利用了阶梯教室阶梯下面的

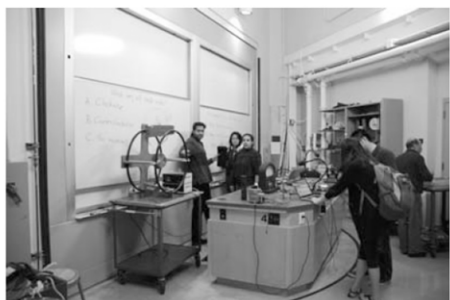


图 2 斯坦福大学的学生课后与授课教授讨论

空间进行设备存储,所有演示实验都有详细的设备编号,可以在网上查到适用于哪些课程内容,存储在哪个柜子里面,以便教授课前备课查阅。不少大学的演示实验室还配有加工车间,可以自行设计和制作演示仪器和设备。很多演示实验都是各个大学独有的,自行设计和制作的。

课堂演示实验所涉及到的几个要素在于“硕大”、“新奇”和“暴力”,特别能够吸引学生的注意力和引起学生主动思考。笔者印象最深的一次是在 Harvard 的课堂上,教授们利用 1 个超大的充电电容,将 1 根直径约 0.5 cm,长 30 cm 的金属丝瞬间击穿,在课堂里面放了一朵“大型礼花”(如图 3 所示)。如此惊人的演示实验,配合 i-Click 的提问环节,可以极大地调动学生的积极性。学生非常乐于在提问后与身边的同学相互之间讨论 5 min 后并投票。也有的教师往往将特别新奇的实验在课程结束前提出,让学生在课后继续思考,或者是告诉学生通过阅读后面课程的某一章节去解释这一现象,从而学生往往能够有的放矢,带着疑问去快乐地学习。



图 3 哈佛大学课堂上演示实验绽放的“礼花”

值得一提的是,i-Click 作为基于无线的投票系统,每个客户端是学生新入学时购买的,完成学业后学校可以以一定折扣回收。课堂上提问给出

选择题的选项后发起投票,教师利用 i-Click 的接收装置接收学生的投票。投票结束以后将结果通过投影仪公布给学生。由于 i-Click 装置是与学生的学号绑定在一起的,这样一来不仅仅是调动了学生的积极性,还可以免去了课堂点名,另一方面如果学生在课堂上给出正确的答案,教师还可以给予一定的学分奖励,以评估学生的预习等情况,加强了上课的教学效果。

#### 4 基础物理实验

这部分主要介绍低年级普通物理实验课程及实验室建设情况。大部分美国大学的基础物理实验都是穿插在普通物理的课程中间同步进行的,尽管实际操作的实验数目不是太多,但是非常注重培养学生的科学方法和科学素养。

各所大学的基础物理实验课程叫法也不同,但是基本上都是每周穿插在课堂教学之间,以普通物理课堂教学辅助课程形式出现的,但是在实验内容方面也是完全做不到与课堂教学内容的同步。一个说法是:无非是先做实验还是先学理论而已,实验和理论是交错上行的。

各所大学的基础物理实验课程内容都很简单,以提高学生的兴趣为主,实验数量也不多(1 学期平均 2 周 1 个,一共 6 个实验左右),教学理念上更多的是教会他们如何建立模型,能够科学地进行思考。笔者看到的一个物理实验是这样的:3 个同学 1 组,2 个同学相互以各种方式抛掷小球,另 1 个同学负责录像。随后通过录像分析,得出小球的运行轨迹是抛物线的结论。

学生只有 3 h 做物理实验的时间,一般不要要求撰写实验报告,而是在课堂上完成填写简单的实验表格,减轻了学生的工作量。当然这样的做法是否合理,还需要大家去斟酌。

#### 5 高年级物理实验

这部分主要介绍高年级近代物理实验的教学及实验室建设情况。高年级的课程各个大学的风格都不尽相同,每个学校都保持着自己的特色。由于历史的积累和沉淀,实验内容和器材往往能够体现出该大学的科研方向和实力。

美国高校物理类学生在完成普通物理学课程和同时进行的物理实验课程后,一般只有在三年级有 1~2 个学期的物理进阶实验课程(Ad-

vanced Physics Lab),在 MIT 称作为 Junior Lab. 实验课程的内容涵盖电子线路课程、光学、核物理和低温方向. 由于物理类的学生很少,很多学生就有机会在 1~2 年级参与到科研实验组中,学校也是鼓励推动学生加入科研课题组,所以一般来说学生做近代物理相关实验的积极性不是很高. 各个学校在这个阶段的教学相当不同,不能一概而论. 但是教学理念上还是倾向于让学生接触科学研究的方法,体验科研前沿领域的方向. 也有很大的部分是在具体训练学生写 paper 的格式(writing up)等方面.

近代物理实验的教学内容和实验器材方面还是在于历史的积累和沉淀,实际在使用的教学设备都比较有年头,甚至有 60 多年的设备还在使用. 实验室相对于基础物理实验来说相对拥挤一些(可能由于实验仪器较多的原因),同一个实验的套数也很少,一般为 1~2 套. 在近代物理实验室建设上,各个学校都投入了很多精力,平均 2 年建设出一个现代科研领域的物理实验. 以哈佛为例,这几年他们特别重视实验建设,投入了相当多的人力和财力,以至于每年开会讨论后,特别指定 1 名教授开发 1 个实验,开发时间按照实际情况,可以视为完成当年的教学任务. 这点类似英国一些学校的做法. 由于 JHU 拥有全美第一流的医学院,所以他们这几年在生命科学类和医学院预备生的物理实验建设上投入较多,实验设计非常重视物理与生命科学的结合,教学效果相当好.

## 6 金工车间、机械加工及环境布置

这部分主要介绍金工车间及物理系的环境布置. 这 2 个方面似乎是我们大学不太注重和关心的,而美国大学却花了很大精力在做和关注,所以特别列出这一节的内容来做详细地介绍.

### 6.1 金工车间和机械加工

美国各个大学的物理系均有很强的机械加工背景,一般来说至少有 1 个专为科研服务的精工车间(如图 4 所示),以及给高年级学生和博士生使用的学生金工车间;还有给演示实验室制作演示实验仪器所使用的机械加工车间,一般在演示实验仓库附近.

每所大学都鼓励学生动手,比如 UC Berkley 有专设给学生专设的机械加工课程,学生能够独立完成 1 件“作品”以后,就授予学生该金工车间

的钥匙.



图 4 UCB 的金工车间

### 6.2 环境布置

笔者所访问的几所大学的物理系均有很强的科学研究背景,一走进物理学系所在的大楼里面,能够马上感受到该院系的学术氛围和学术传统. 以 JHU 为例,他们有较强的光学和天文学背景,在大厅中央陈列的是 19 世纪所使用制作光栅器件的机械设备和 1902 年所使用的分光计(如图 5 所示),而在另一处则陈列着他们所制作的哈勃望远镜上使用的一个主要光学部件的模型. 哈佛大学在大厅陈列的是世界上第一台军用计算机.



图 5 约翰霍普金斯大学 1902 年所使用的分光计

另一方面,各所大学将演示实验放在大厅,设备较大,而且大多数都能给路过的学生直接摆弄,以提高学生对于物理的兴趣. 如哈佛大学在走廊陈列的“水透镜”,直径有 1 m(如图 6 所示). 这些演示实验往往是该学校教授提出想法,由他们自己制作,只此 1 套!

哈佛大学还专门有 1 间科学历史博物馆: Harvard's Collection of Historical Scientific Instrument, 其网址在: <http://dssmhi1.fas.harvard.edu/emuseumdev/code/eMuseum.asp?lang=EN>,其中有相当多的历史收藏,如果访问时间充足,值得一看.



图 6 哈佛大学走廊陈列的“水透镜”

### 6.3 教学楼和实验室设计

各所大学的物理实验室及教室均设计得相当好,据了解是在实验室方案的具体设计阶段中反复推敲过而确定下来的,与中国的大学教学实验室相比的几个特点在于:1)实验教室比较集中,布局有序合理,而且相当大,空间上非常宽敞,教室里面往往仅有几张大桌子(如图 7 所示). 2)楼层特别高,所有管道和电缆都在上方裸露,房间从不吊顶,电线和网线通过上方垂直下放铺设(不怕漏水),可以根据情况随时调整实验室布局(如图 8 所示). 3)教室周围是一系列的实验柜子,各类常用的仪器分类合理整洁,每间教室都有大量的各类导线悬挂在墙上供学生选用. 4)拥有大量的供 10 个人左右讨论的小教室,往往是大教室通过简



图 7 JHU 的普通物理实验室(位于地下室)的布局



图 8 UCB 的基础物理实验室的具体布局

单的隔离,便于助教辅导 1 个小组的学生时使用.

## 7 小 结

### 7.1 物理实验教学和管理几个明显的特点

通过对美国 6 所大学的考察和了解,笔者们认为对方的物理教学与管理有比较明显的特点.具体如下:

1)非常重视在课堂讲授中的演示实验教学,演示的具体实验内容由授课的教授亲自指定,实验技术人员负责具体实施,在课堂中共同完成演示教学过程.

2)对低年级的学生,主张和提倡实验内容的趣味性,将深奥的物理原理寓于趣味之中,以便让学生们学得非常快乐与轻松.

3)重视低年级学生参与到实验动手过程中,教师(或助教)融入学生之中且贯穿讨论和交流中;重视高年级学生的口头报告和实验报告.

4)重视对物理学专业学生的科学研究能力的培养.

5)实验设备中通用仪器(如示波器,信号源等)均为大公司产品,而专用仪器中有很大部分是自制的,可以组合或便于拆装,实验仪器的透明度较高,不采用“集成化”仪器,多为“积木式”教学仪器.

6)计算机(主要是 Mac 系统电脑)广泛应用于教学实验过程中,其作用是丰富和深化教学内容,而不是代替学生动手.

7)各校均没有统一的正式出版实验教材,自编的实验教材能够适应教学内容和实验仪器的不断更新和新技术的应用.

8)利用实验题目的编号来处理实验教学内容,体现出实验室所开设过的实验教学内容的历史沉淀和底蕴.

9)考核方式不采用一般意义上的笔试和操作考试,学生成绩由平时实验、讨论和实验报告,或口头报告等综合评定.

10)实验技术人员具有很强的业务能力和很高的实验室管理水平.

11)非常重视实验室的安全教育和培训,警钟长鸣,在实验课程概论或讲义中列出专门的章节介绍,并且签署安全培训回执单.

12)注重科学文化底蕴的传承,且定期开放实验室,对社会大众开展科普教育.

## 7.2 收获和体会

根据收集到的第一手资料,并通过听取对方的情况介绍、近距离参观实验室、与实验室的负责人员面对面的教授讨论,以及与学生一对一的交谈,笔者们对美国大学的物理实验教学情况有了比较全面的了解,从中也得到了宝贵的启示,学到了教学与管理方面的经验。归纳起来,主要有下面几点收获和体会。

1) 物理实验和实验室安全受到充分重视。各校均把物理实验放在十分重要的位置上,为物理系本科生开设了必修的实验课,实验课采取教授负责制。即使是专攻理论物理的学生,实验课也是不可缺少的。而从事实验工作的学生则要在实验上投入更多的时间,但理论课可以不必全修。有的学校具体安排实验室的安全培训活动,或在讲义中专门讲授注意事项。

非常重视演示实验,在课堂教学上大量采用精心准备的演示实验,演示效果十分明显和震撼。科学技术在不断地进步,实验内容也在不断地更新,但他们重视物理实验以及演示实验的这一传统始终没有改变。

2) 物理实验课目的明确。物理实验课的目的就是要通过物理实验使学生懂得如何去研究物理问题,而不是只局限在知识的传授和技能的训练。但是,这并不意味着他们不重视实验基本技能的训练,在参观实验室时笔者们发现他们的学生基本实验技能都相当好。对方之所以这么强调,是要把着眼点放在培养学生用实验方法解决物理问题的能力上。

3) 实验课程设置各有特色。这几所大学的实验课程设置各有特色,教学组织形式多样,没有固定统一的模式。有的学校将基础物理实验与理论课结合在一起,上完部分章节后做几个实验;有的学校分不同层次单独开设实验课。

对高年级学生更是灵活,有的开设“Project”实验课程,有的组织学生在暑期到实验室工作等。在高年级的近代物理实验中要求学生做实验的数目不多,主要采取“少而精”和“触类旁通”的方式。对学生的实验报告要求也按年级和不同学生有所不同,这样的课程设置完全体现以学生为本的原则,对我们很有启发。

4) 注重科研能力的培养。各校在为本科生高年级开设的实验课中,无论是麻省理工学院的

“Upper Division”实验课,还是斯坦福大学、哈佛大学的“Project”实验课,他们的共同特点都是实验室非常注重为学生提供足够的条件,以便在实验过程中充分发挥他们的主观能动性,使学生置身于富有探索和创造性的学习环境中,积极主动地思考、分析问题,使他们受到类似于专业科研人员搞科研的训练。

学生在做上述这类实验时,需要亲自完成调研和阅读文献资料、选择实验题目、拟定实验方案、配置实验设备、制作仪器部件(或者搭建电子线路)、测量实验数据、分析实验结果、完成实验报告等工作,这对他们是非常好的科学研究的训练过程。

在实验中出现的問題完全由学生自己解决,教师只是在必要时加以适当的指导。对实验的时间和最终结果不作硬性的规定,学生可以根据自己的时间、能力及兴趣来安排。这种注重培养学生科研能力的做法,是极有远见的,非常有利于学生创新能力的培养和提升。

5) 及时将科研成果转化为新实验。各校的近代物理实验的内容新颖,实验题目分布在物理学的各个领域,且各有特色,显得更有生气和更有活力,既有广度,又有深度。对方学校能够不断地更新实验教学内容,就是因为他们能及时地将一些前沿或先进的科研成果转化成新的物理实验。例如:MIT的“量子信息处理”实验,斯坦福大学的“超流”实验,Harvard的“混沌实验”、“光镊子”实验,UCB的一系列核物理实验,以及JHU的“布朗运动”实验和“生物医学物理芯片”实验等内容。

这说明只有将实验教学与学科建设和发展紧密结合起来,将前沿科研成果不断转化,才能使近代物理实验内容不断地发展和进步。

6) 因材施教培养优秀学生。在斯坦福大学,选修“Project”实验课的学生积极性很高,工作相当投入,这是因为这个课的选题都是科学前沿。学生在教授的指导下,从事创造性的实验工作,从而极大地激发了学生对实验工作的兴趣。

教授与学生的交流十分密切,教授对每个来实验室工作的学生的兴趣及特长了如指掌,因而能够以人为本和因材施教。他们之所以能够培养出许多优秀的物理人才,与他们能够充分发挥学生的主动性和积极性、因材施教是分不开的。

7) 有高水平的专职实验技术人员。各校的物

理实验室中都有一支人数不多的专职实验技术人员队伍。这些人员没有教授职称,因此不计在 FACULTY 中,但他们属于系里的 STAFF。这些人员不仅负责平时教学实验的管理工作,还负责按照任课教授对实验内容的设想来组建新实验。这批人的动手能力较强,知识面较广,在实验室的建设过程中发挥着十分重要的组织和管理作用,故建立和稳定一支责任心强、业务水平高的专职实验技术人员队伍是实验室工作的一个非常重要的环节。

8) 设备齐全的金工车间。各校物理系均有自己的金工车间,而且加工机械设备非常齐全,工人的素质较高。一般学生可以自己去做,也可以请工人做,比较自由而方便。同时,在 UCB 的理工科研究生,如果经过几周的金工培训,这些研究生都可以自己加工一些简单的部件。这对科研工作,特别是创新性(原创性)的科研工作是十分重要的。

9) 计算机在实验中应用的“三原则”。各校在近代物理实验中大部分使用计算机,而在基础物理实验中用计算机进行必要的采集实验数据、控制实验过程的约占 1/3,而作图、计算等用到计算机的几乎是 100%,并非所有的实验工作均由计

算机来代替或完成,有些应该学生实际动手的事(如手动作图和某些具体数值运算或演算等),尽管可以利用计算机,仍然要让学生动手去做(学会做),不应全部“电脑化”,而“人脑废”。

各校在有利于对物理原理解释和理解、有利于实验方法的掌握和有利于实验精确度的提高“三原则”的前提下,才用计算机。

#### 参考文献:

- [1] 姚凯伦,刘祖黎. 美国大学的物理实验教学及其管理[J]. 物理实验,1986,6(3):137-139.
- [2] 戴乐山. 美国麻省理工学院对近代物理实验课的要求[J]. 物理实验,1994,14(4):179-183.
- [3] 沈元华. 香港五所大学物理实验教学情况考察报告[J]. 物理实验,2000,20(11):28-29.
- [4] 沈元华. 美国大学物理实验教学考察报告[J]. 实验室研究与探索,2001,20(1):89-92.
- [5] 赵永俭,陈小平,刘云,等. 日本大学实验室建设与管理[J]. 实验技术与管理,2002,9(6):1-6.
- [6] 段家祗,曹惠贤,王煜,等. 美国高校物理实验教学和管理情况考察报告[J]. 大学物理,2004,23(3):42-45.
- [7] 沈元华. 访德报告[J]. 物理实验,2002,22(2):44-48.

## Investigation report on physics teaching and management in American university

YU Xi, LE Yong-kang, JI Min, MA Shi-hong

(Central Lab for Physics Education, Department of Physics, Fudan University, Shanghai 200433, China)

**Abstract:** The conditions of physics course and physics experiment teaching as well as management in USA universities were investigated at the beginning of 2012, the study gains was mentioned also.

**Key words:** American undergraduate education; physics course; physics experiment; teaching and management

[责任编辑:尹冬梅]