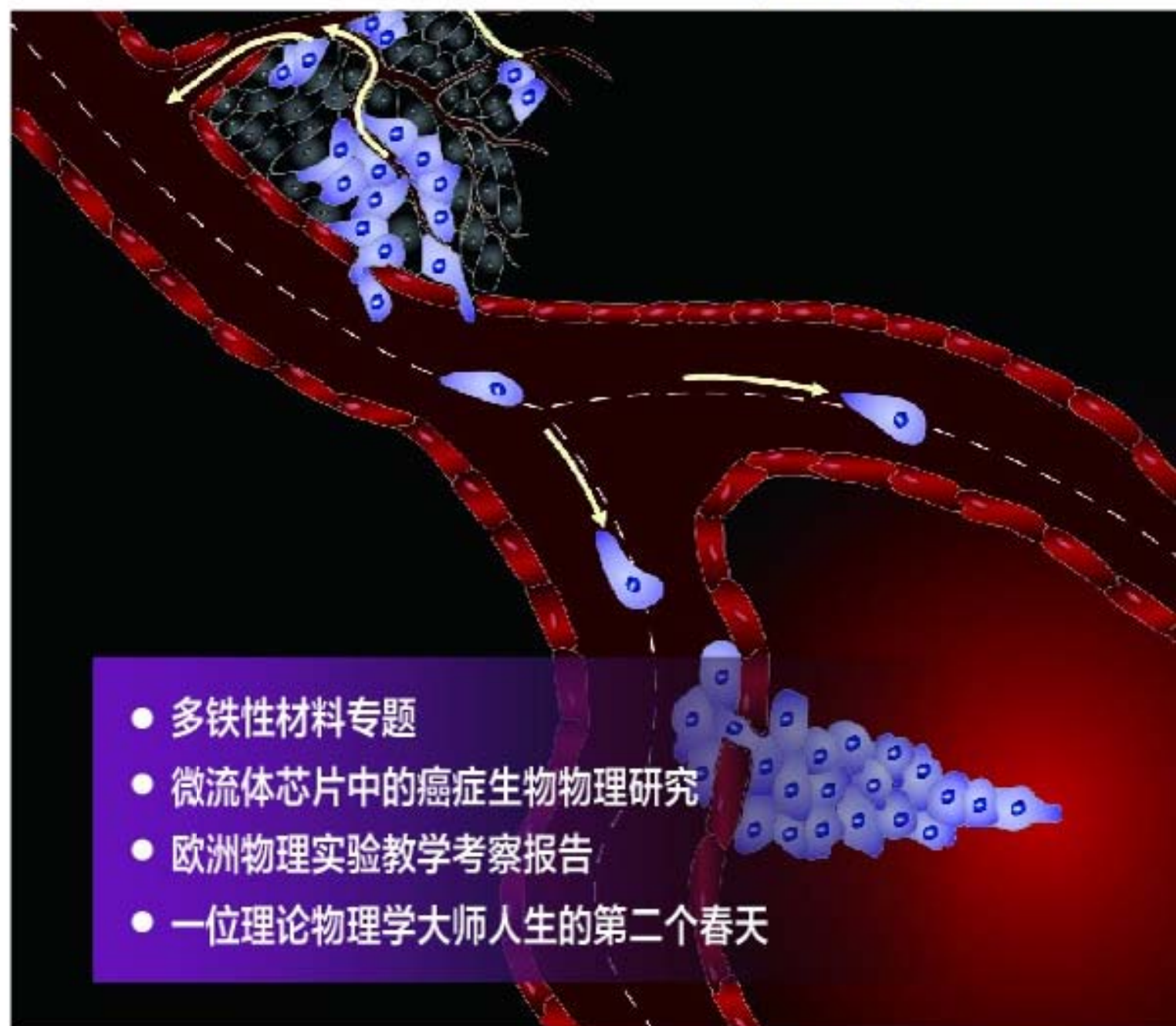


物理

第43卷 第4期 2014



- 多铁性材料专题
- 微流体芯片中的癌症生物物理研究
- 欧洲物理实验教学考察报告
- 一位理论物理学大师人生的第二个春天



中国物理学会 主办
中国科学院物理研究所

物理 (WULI)

PHYSICS

(Monthly, First Published in 1972)
Http: www.wuli.ac.cn

月刊 • 1972 年创刊
国家科技部 “中国科技论文统计源期刊”
(中国科技核心期刊)
国家自然科学基金委员会数理学部资助
中国科协精品科技期刊工程资助



主管 中国科学院
主办 中国物理学会
中国科学院物理研究所
协办 国家自然科学基金委员会数理科学部
中国工程物理研究院
主编 杨国桢
副主编 刘寄星 朱邦芬 朱星 张闯
出版 《物理》编辑部
地址 北京 603 信箱, 100190
电话 (010) 82649470, 82649277
传真 (010) 82649029
广告业务 (010) 82649277
Email: physics@iphy.ac.cn
Http: www.wuli.ac.cn

印刷装订 北京科信印刷有限公司
国内统一刊号 CN11-1957/O4
国内邮发代号 2-805
国内定价 20.00 元
总发行 北京报刊发行局
订购处 全国各地邮局
国际标准刊号 ISSN0379-4148
国外代号 M51
国外总发行 中国国际图书贸易总公司
(北京 399 信箱 100044)
广告经营许可证 京海工商广字 第 0335 号
出版日期 2014 年 4 月 12 日
© 2014 版权所有

Editor-in-chief:
YANG Guo-Zhen

Editorial Office:
Institute of Physics, Chinese Academy of
Sciences, 8 Nanshanjie Zhongguancun, P.O.
Box 603, Beijing 100190, China

Tel:
+86-10-82649470 or 82649277

Fax:
+86-10-82649029

Email:
physics@iphy.ac.cn
Published monthly by the Chinese
Physical Society
Supported by the National Natural
Science Foundation of China

Distributed by China International Book
Trading Corporation
P.O.Box 399, Beijing 100044, China

© 2014 Chinese Physical Society.
All rights reserved. No part of this publica-
tion may be reproduced, stored in a re-
trieval system, or transmitted in any form
or by any means, electronic, mechanical,
photocopying, recording or otherwise, with-
out the prior written permission of the copy-
right owner.

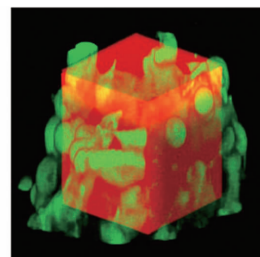
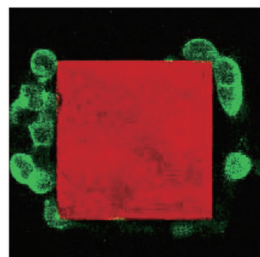
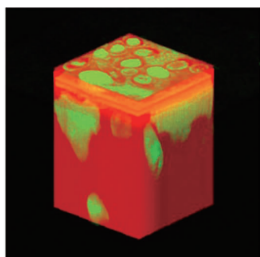
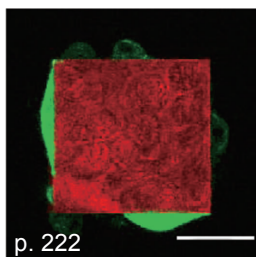
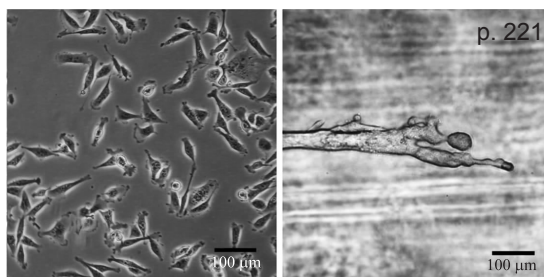
目次 CONTENTS

第 43 卷 第 4 期 2014 年 4 月

评述 Review Articles

220 微流体芯片中的癌症生物物理研究 容晓晖 顾长志 刘雳宇

Cancer biophysics research in
microfluidic landscapes
RONG Xiao-Hui GU Chang-Zhi LIU Li-Yu



多铁性材料专题 Feature Articles

227 磁电多铁性材料的宠儿:铁酸铋(BiFeO_3)研究进展的十年回顾

姚携菲 张金星

Decade of advances in the most desired magnetoelectric multiferroic material—— BiFeO_3

YAO Xie-Fei ZHANG Jin-Xing

236 多铁性 BiFeO_3 异质结构在多场作用下物理性质研究

金昱伶 金奎娟

The physical properties of multiferroic BiFeO_3 heterostructures under multi-field coupling

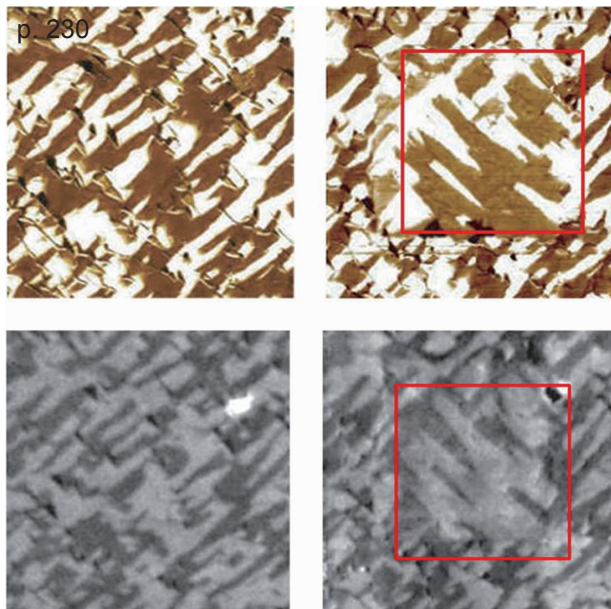
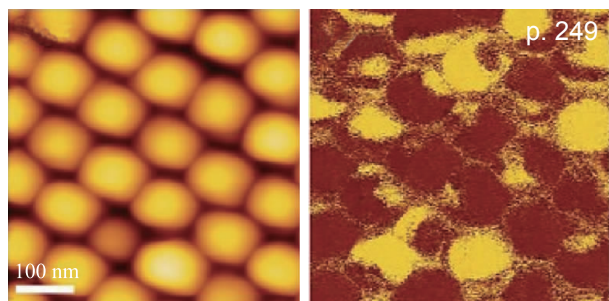
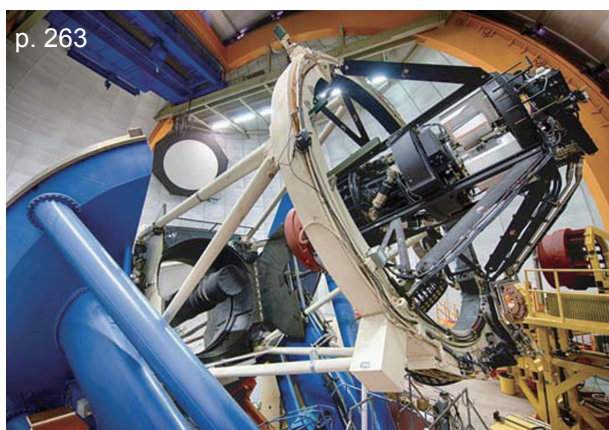
JIN Yu-Ling JIN Kui-Juan

246 多铁性纳米点结构及微纳器件应用

高兴森 曾敏 刘俊明

Multiferroic nanodot structures and their applications in micro/nano devices

GAO Xing-Sen ZENG Min LIU Jun-Ming



前沿进展 Progress at the Frontiers

254 闪烁体与光子人工微结构

刘波 陈鸿 顾牡 易亚沙

Scintillators boosted by nanophotonics

LIU Bo CHEN Hong GU Mu YI Ya-Sha

Physics Today 撷英

Highlights from Physics Today

263 探索加速膨胀的宇宙

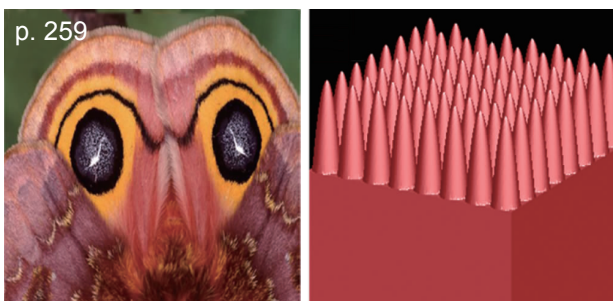
Probing the accelerating universe

范祖辉 译

265 出人意料的电子电偶极矩上限

Surprising upper limit on the electron's electric dipole moment

王如泉 译



物理教育

- 266** 欧洲物理实验教学考察报告
苏卫锋 姚红英 高渊 白翠琴 张新夷

Report on the teaching of
experimental physics in Europe
SU Wei-Feng YAO Hong-Ying GAO Yuan
BAI Cui-Qin ZHANG Xin-Yi

物理学漫谈

- 272** 走近量子纠缠系列之一
薛定谔的猫
张天蓉

书评和书讯

- 276** 一位理论物理学大师人生的第二个春天
——读杨振宁先生 *Selected Papers II*
With Commentaries 有感
朱邦芬

物理学咬文嚼字

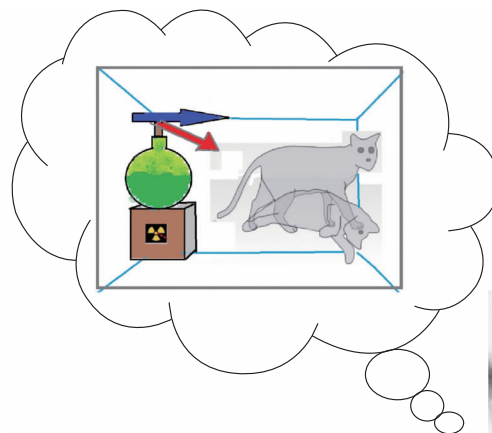
- 281** 物理学咬文嚼字之六十二
注入灵性与赋予血肉
曹则贤

读者和编者

- 253** 订阅《物理》得好礼
253 《物理》有奖征集封面素材



p. 273



物理新闻和动态

- 284** 使用中子的新型显微镜
心蛛 编译
- 285** 指尖上的粒子加速器
树华 编译

招生招聘

- 286** 南京大学物理学院诚聘海内外优秀人才
中物院高性能数值模拟软件中心诚聘英才
同济大学“声子学与热能科学研究中心”人
才招聘
Quantum Design 中国子公司招聘信息
北京大学量子材料科学中心博士后招聘启事
半导体超晶格国家重点实验室诚聘英才
同济大学物理科学与工程学院李同保院士课
题组招聘

广告

Zurich Instruments (封二) 北京鼎信优威光子科技有限
公司 (封三) 美国理波公司 (封底) 北京汇德信科技
有限公司 (插1) Stanford Research Systems (插2、3)
住友重机械工业管理(上海)有限公司 (插4) 上海日
启实业有限公司 (插5) 北京优赛科技有限公司 (插6)
Advanced Research Systems, Inc. (第262页) 安徽量子
通信技术有限公司 (第275页) 中国光电周 (第283页)

欧洲物理实验教学考察报告*

苏卫锋 姚红英 高 渊 白翠琴 张新夷[†]

(复旦大学物理教学实验中心 上海 200433)

2013-06-19收到

[†] email: xy-zhang@fudan.edu.cn

DOI: 10.7693/wl20140406

Report on the teaching of experimental physics in Europe

SU Wei-Feng YAO Hong-Ying GAO Yuan BAI Cui-Qin ZHANG Xin-Yi[†]

(Physics Teaching Laboratory, Fudan University, Shanghai 200433, China)

摘 要 复旦大学物理教学实验中心一行5人,于2012年10月对英国、法国、德国七所大学的物理实验教学进行了深入考察,通过听课、听取介绍以及与学校及物理系领导、教师、助教和学生的广泛交流与讨论等多种形式,了解了这七所大学的物理实验教学概况。强大又配合密切的实验教学团队,科学而灵活的课程设置,丰富多彩的实验课堂,以及教师对实验教学的热爱和全身心投入,都给我们留下了深刻的印象。我们把考察中的所见所闻及我们的思考写成这份报告,以飨国内从事物理实验教学的领导、教师 and 广大学生。

关键词 物理实验教学, 欧洲, 考察报告

Abstract A group of five delegates from Fudan Physics Teaching Lab visited seven universities in the UK, Germany and France from 30 September through 12 October in 2012 to conduct an in-depth investigation of the teaching of experimental physics in Europe. We acquired a comprehensive understanding through visiting laboratories, attending lectures, and discussing with course organizers, professors, demonstrators and students. Strong, close-knit teams, systematic and flexible curricula, a rich variety of experimental classrooms, and the teachers' passion and commitment, all left us a deep impression. A note about what we saw and heard and our thoughts is reported here for the benefit of the organizers and teachers of physics lab courses, as well as the undergraduates.

Keywords teaching experimental physics, Europe, investigation report

1 引言

2012年9月30日到10月12日,复旦大学物理教学实验中心一行五人访问和调研了欧洲德、英、法三国七所大学的物理实验教学,它们分别是德国的卡尔斯鲁厄理工学院(Karlsruhe Institute

of Technology, KIT)和慕尼黑工业大学(或称慕尼黑理工大学, Technical University of Munich, TUM),英国的剑桥大学(Cambridge University)和伦敦帝国学院(Imperial College London, ICL),以及法国的巴黎南大学(University Paris-sud)、高等师范学校(Ecole Normale Supérieure, ENS)和皮埃尔—玛丽·居里大学(Université Pierre et Marie Curie, UPMC)。这些学校在欧洲,乃至世界上都享有盛誉。访问前,我们给每个学校发去了一份访

* 国家基础科学人才培养基金(批准号: 10730310; J1103204)资助项目

问提纲和我们五人的电子名片。这些学校对我们的访问十分重视,都做了认真准备。针对访问提纲上的问题,有的学校,如KIT, TUM, ICL等,还给我们做好了书面“答卷”,有的为我们准备了相关资料。所有学校对我们的访问都做了精心的安排,如剑桥大学执意要将访问安排在10月8日,后来我们才知道,这一天是他们的大一学生第一次做物理实验,主人是为了让我们看到他们的第一堂物理实验课是怎么上的。UPMC则事先用Email给我们发来了为我们的访问所做的具体安排,细化到了每一个时段由谁做报告,几点钟茶歇,几点钟由哪几位学生来跟我们座谈,等等。这次访问收获颇丰,本文记录了部分我们的所见、所闻、所思,如要获取更多信息可浏览我们实验中心官网公共事务区的“欧洲访问”一栏(<http://phylab.fudan.edu.cn/doku.php?id=phylab:europe>)。下面谈到的一些例子的相关材料均可在该栏目中找到。

2 访问的基本情况及其体会

2.1 “热爱”是工作的动力源泉

我们访问的第一站是KIT,第一位接待我们的教师是Antje Bergmann博士,她对实验教学的热爱和全身心投入给我们留下了极为深刻的印象。KIT的物理实验教学分三类:普通物理实验、近代物理实验和Teacher students(毕业后到中学当物理教师)的物理实验。Bergmann博士负责Teacher students物理实验课,她带领几位博士生搭建了十几个物理实验,如光镊、原子力显微镜(AFM)、 N_2 分子激光器、量子路径、量子擦除(Quantum Eraser),等等。这些实验的一个共同点是:简洁、小巧,但内涵丰富,物理概念清晰。她尝试让中学生理解量子力学的一些基本规律。如量子擦除实验,在一个大约 1 m^2 的实验台上,把一束激光一分为二,衰减激光强度,使两路激光都可近似认为是单光子的,然后再利用偏振片使两束光成为可区分或不可区分的,从而观察各

种与单光子干涉有关的量子现象。再比如 N_2 分子激光器实验,她做的最简易的 N_2 分子激光器在空气中就可以工作,所用的基本器材除了高压电源外,仅仅是两块铝板、一片铝箔、一张塑料薄膜、一个电阻和两个螺丝钉。在她给我们介绍实验的过程中,无时无刻不流露出对实验的热爱。

2.2 实验教学是团队工作

在对以上每一个学校访问时,我们都强烈感受到了教学团队的强大,从对方接待的每一个细节,到他们实验教学与科研的结合,以及教师与实验技术人员、教师与助教之间的配合,无处不得以体现。刚才提到的Bergmann博士制作的光镊和AFM实验,实验仪器就是和课题组合作来搭建的。在TUM,近代物理实验是分散在各个课题组的,学生需到不同的课题组完成不同的实验内容。10月8日上午,接待我们的是剑桥大学Dave Green教授(一年级物理实验负责人),他告诉我们下午正好(如前所述,是他们刻意安排的)是一年级学生的第一堂实验课,我们可以和他一起到实验室上课。他们的上课时间是14:00—17:50,到了13:30, Green教授还在会议室不紧不慢地跟我们聊实验教学,我们提醒他是不是该上课去了,他说不着急。我们跟随他只提前了大约5分钟到实验室。这时大部分学生已经到了,本以为



图1 慕尼黑工业大学的助教在跟学生讨论实验



图2 剑桥大学实验课场景

他会忙于课前准备,但我们看到实验技术人员已经把关于实验安排的PPT投影好,让学生根据上面列的分组名单各就各位,实验器材均已摆放整齐,几位助教都带着胸牌站在实验桌旁,一切都是那么井然有序。

我们访问过的所有高校,都没有设置像我们称作“实验中心”的专门机构。但我们实实在在地感觉到,在每一所学校里实验教学团队的存在。各类人员各司其职,是高效率 and 高质量开展实验教学的保障。

实验教学是团队工作,实验教学中也要培养学生的团队意识,即合作精神。我们访问的这些高校,学生的实验大部分都是2人一组。剑桥大学在实验时,由老师来给学生分组,指定合作者,并且每次实验都会换不同的合作伙伴。他们说要让学生学会跟不同的人相处、共同工作。

2.3 学会提问与讨论

在实验教学中,这些学校都使用了大量的助教,每个助教负责一张实验台,或者一个实验,学生在实验过程中遇到问题随时可以跟助教讨论。我们印象比较深的是TUM,该校的基础物理实验,一个实验室里有4个实验,每位助教负责1个实验,不时会有同学向助教提问。在助教的“监督”下,同学们的实验做得有滋有味。一位助教引起了我们的注意(见图1),他戴顶牛仔帽,

穿一件黄颜色的T恤衫,和几位同学在说着什么,说着说着他们一起围坐到旁边的白板前,继续他们的讨论。有时助教讲,有时同学讲,这个坐下去,那个站起来,助教很潇洒地把脚搁在暖气片上。这不就是典型的“Doing on thinking”的情景吗?在这个大实验室的每张大实验桌旁,都有这样的小白板……。ICL同样重视提问,在他们的实验指导手册上明确写着“The more you talk to your demonstrators, the more you will enjoy the laboratory, and the better you will perform. Keep asking questions. As a student it is your right to ask questions (there is no such thing as a silly question!)”^[1]。

2.4 循序渐进的训练及多样化的实验课程

前面提到,剑桥大学的Green教授把我们带到他们大一学生第一次实验的课堂(见图2),我们好奇地问了好几组同学他们将要做什么实验,可回答都是不知道。连做什么实验都不知道,当然也没有做过预习。Green教授讲了大约5分钟的开场白,学生们就开始做实验了。那天,他们做的实验是用 ^{137}Cs 作源,测量其通过不同厚度的铅片后(实验室提供一组厚度相同的铅片,通过增加铅片数来改变总的铅片厚度)放射性强度与铅片厚度的关系。60个学生分成30组,每位助教负责5组10个学生的实验。实验室里只有一个放射源,由老师负责增加铅片数,放射性强度则通过数据线传到实验者的计算机上。每一次增加铅片以后,Green教授都大声告诉大家还有几分钟,请抓紧记录好数据。要求学生当场完成数据处理,并分别用手画及用Excel画出放射性强度与铅板厚度的关系曲线。学生们被告知,以后的所有实验均用Excel作数据处理,不再要求用手来画曲线了。这第一次实验犹如一次“演习”,是不计分的。

我们在教学过程中经常会面临这样一个问题,学生不会做实验记录,这也是我们在访问提纲中特别提到的问题。大多数学生在实验时只记录自己认为“好”的数据,忽略实验过程的记

录,甚至忽略实验条件的记录。我们看到,剑桥大学为第一学期的学生发的记录本上,对各个实验的提示是不一样的,对第一次实验,记录本上有非常多的提示,一条条列出学生需记录的项目,并给学生画出数据表格。在随后的实验中,记录本上的提示越来越少。第二学期以后,学生则使用没有任何提示的实验室专用记录本。这也从一个侧面体现了教学中的循序渐进。剑桥大学对实验记录的要求是“Your laboratory notebook should contain enough information to allow you to come back in, say, twelve months time and recall accurately what you did and what actually happened in your experiment”^[2]。学生的记录本在实验结束后要留在实验室保存,未经允许不可带出实验室。

我们在TUM,了解到有一种专门面向工程类学生的实验课程,称作Block Course,与通常的Semester Course不同,要求学生集中在6天内,天天做实验,以完成这门课程的修学。这些学生在安排他们一学期的课程时就有了更多的灵活性。我们问及会不会发生课程的冲突,安排上有什么困难,答案是,“教务”部门会有很细致的安排,不会有问题。

在法国,大学五年,分别为L1, L2, L3, M1和M2, L和M分别是法文Licence(学士)和Master(硕士)的第一个字母。我们在法国访问的几所学校,同样看到了他们对实验课程的精心设计。在巴黎南大学,比如一个关于等离子体的产生及其性能测试的实验,有不同的装置,分初级、中级和高级三个层次,从一年级到四年级的学生都要做这个实验,内容不同,要求也不同。由同一位老师来带,因此她很明白不同年级的学生应该对等离子体实验掌握到什么程度。在UPMC,系主任Marangolo教授告诉我们,他们对学生要进行全面的训练,包括理论、建模和实验。他们特别强调学生的能力培养,如外语、专题研究(相当于我们的开放性、研究性实验或“小课题”)、计算物理和实验训练。Marangolo教授还专门安排了Philippe教授为我们详细介绍他们在计算物理方面的安排。他们的学生从L3开始,

要学习C++, Fortran, Linux和几种物理计算方法,如量子力学中的本征值问题。学生不分组,一人一台计算机。M1的学生要进行60学时的实际操作,学习Monte Carlo方法及其在一些物理问题研究中的应用,比如晶体结构,M2的学生要进行30学时的实际操作,做分子动力学和量子模拟。

2.5 对学生的评估

提到给学生打分,总的来说,德国和法国做得比较“粗”,只给及格或不及格。比如KIT,他们的实验在平时打分时只分“+”、“O”和“-”,本科生在近代物理实验的6个实验中如果有超过两个“-”就不及格。英国就很“细”,为了保证公平,他们有一套严格的程序,像剑桥大学,学生的分数由实验分数、实验报告分数和期末考评分数构成。实验分数由助教来打,他们的每一个实验均有一个非常详细的“Mark Check”表,上面有20条细则,做到一条得一分,满分20分。ICL对实验报告格式有严格的要求,报告篇幅不能超过2000字,学生通过专门的网站提交实验报告,经过严格的查重,如发现查重率较高,老师会找他谈话,令其纠正。实验课程的最终成绩由三部分组成,以二年级的实验课为例,平时成绩占50%,实验报告和期末考评(通常采取面试方式,由几位教授对一位学生提问,称作Interview)各占25%。每个实验需要5周完成,前4周做实验,第5周提交实验报告和进行面试考评。每个实验结束后,老师发给一张“成绩单”,上面有学生每一项的得分以及教师针对每一项考评给的评语。关于实验报告中的抄袭问题,KIT的Bergmann博士这么回答我们, she会把学生找来,要他重写实验报告,如果重写的实验报告很好,她还是会给“优”,而不会因为曾经有过抄袭行为而受影响。我们每到一个学校,都会询问他们实验课是怎么评定学生成绩的,后来发现他们都把实验课的成绩评定称作“Assessment”。而我们一直说“实验考试”,细想起来,实验课是对实

验能力的培养和训练,说评估(assess)能力的大小或能力的长进,比较合理,比较确切。幸好,我们在和对方讨论评定学生实验成绩时,倒也没有用过“Examine”或“Examination”这两个词。在词典上,examine有一个解释是:put questions to in order to test knowledge or get information,而assess的含义则是determine the value, significance, or extent of,因此可以说to assess sb's efforts。实验课的主要任务不在教给学生知识,更重要的是一种能力的训练,要教给学生学习如何进行观察、测量,以及如何分析实验现象和实验数据并由此得出结论,从而理解物理规律。

2.6 助教

前面提到,这些高校在教学过程中都使用了大量的助教。助教在教学过程中积极巡视、与学生交流,可以随时对实验内容及遇到的问题开展讨论,但不手把手地教学生如何做实验。ICL的每个实验都是由一位教授负责,加上8—10位助教组成教学团队,助教由该教授培训和考核。剑桥大学的助教培训则是由课程主管教师负责,如果在教学过程中助教表现不令人满意,则在学期结束后不能再继续助教工作。巴黎南大学比较有意思,他们是由老助教培训新助教,我们在他们的实验室正好遇上一位老助教在教新助教准备实验,他告诉我们,如果老助教不打算在随后的学期里继续助教工作,那么他有一个任务就是去寻找新的助教来接替自己。

UPMC的Marangolo教授那天下午有课,在他去上课之前一直陪着我们。他告诉我们,他们的助教都很好,有的会连续做几次。究其原因,一是当助教会有经济收入,另外很重要的一点是,如果有担任两届以上助教的经验,对他们若干年以后晋升Maître de conférence(相当于我们的讲师)也是有用的。

在我们访问过的英国和法国的大学里,也有很多中国的留学生在做实验课的助教,他们都很



图3 剑桥大学的仓库

看重这份工作,工作很努力,很尽职,以胜任这份工作作为自豪。

2.7 高效的实验室管理体系

在参观这些学校的时候,还有一个感慨就是他们的高效。他们从事实验教学的专职人员很少,技术人员也不多(有的学校甚至没有实验员),但工作却做得非常到位。比如剑桥大学的一年级物理实验,只有2位主管教师、1位技术员、1间大实验室和1个不大的仓库。由于剑桥大学是每两周更换一个实验内容,这位技术员需要每2周更换一次实验仪器(30套),而且保证每次上课前这些仪器运转良好。我们特意去看了他们的仓库,如图3所示。实验仪器被整齐摆放在货架上,为了提高空间的利用率,仓库里货架的底部有导轨,可以来回移动。上课前,技术员准备好供助教打分所用的表格(Mark Check)和学生的实验记录本。教师的职责则是培训助教,掌控实验全过程、批改报告以及对学生进行期末考评。每位助教负责一组学生,做好Mark Check,积极巡视,回答学生在实验中的问题。如果可以把教师比作“教练”,助教则可以比作“陪练”,实验员则好像是“条件保障人员”。三类人员各司其职,高效运行。我们则感慨自己常常是职责不分,甚至互相推诿,致使工作效率下降。

2.8 东西方的差异

10月5日我们访问ENS, ENS推行的是精英教学, 该校没有L1, L2, 它从全法国(也有小部分从国外)通过严格的考试招收L3的学生。ENS的学生更多的是做研究性实验, L3全年做基础实验, M1上学期做60学时的近代物理实验, 下学期出国学习4个月, M2到课题组, 每周有一天做研究性实验。他们的实验报告通常为2—3页, 但也有写到15页或更长的。我们拿到了一份研究性实验的实验报告, 是由两位学生合作完成的, 包括附录总共58页, 正文也有32页。对于实验报告的篇幅, 老师没有严格的要求。我们在UPMC访问时, 他们还请了两位学生来与我们座谈。看来, 学生对实验很满意, 没有抱怨实验课太花时间, 他们也是两人一组做实验, 实验报告只要写一份。

我们在ENS访问期间, 物理学系主任Werner Krauth教授亲自给我们作介绍, 下午去听了 he 给硕士生上的一堂讲授积分和取样问题的统计物理课。为了让学校更国际化, 从今年起, ENS部分课程开始用英语授课, 他们的目标是将来所有的课程均采取全英文授课。Werner Krauth教授的这堂课就是用英语讲的, 他没有用PPT, 全是板书(我们有时候对教学质量进行评估时, 会要求填写: 是否用PPT, 其实用不用PPT应该由老师自己决定)。在Werner Krauth教授的课堂上, 有学生提了一些问题。课后, 与Werner Krauth教授谈起课堂上的讨论, 他说: “有时候学生的想法比我们的好”。所到之处, 都不大听到“创造性”和“创新”这样的说法, 但他们在实实在在地培养学生的动手能力, 时时处处在启发学生要多加思考。就在我们访问ENS后没几天, ENS的Serge Haroche获得了2012年的诺贝尔物理学奖,

Werner Krauth教授即给我们发来email, 他写道: “In the meantime there has been a lot of excitement, here, with Serge Haroche's Nobel prize...”。10月11日, 我们访问UPMC, 这是我们的最后一站。那一天大家也都很兴奋, 因为Serge Haroche是1971年在UPMC获得的博士学位。

我们在这次访问中也注意到他们都没有正式出版的专门用于物理实验的教科书, 这与国内的情况很不一样。我们实验中心去年在考察美国的物理实验教学时也注意到了这一点^[3]。这也许是为了适应物理实验的灵活设计以及实验内容的迅速发展。我们看到同样的一个实验, 在不同学校做法可能很不一样。

3 结论

七所学校有很多地方值得我们学习。然而, 我们觉得, 第一, 要学“精神”, 而不是简单地照搬一些具体的做法, 例如, 如何引导学生在做实验的时候动脑筋, 对学生的实验如何打分, 课程设置的灵活性等; 第二, 有一些不一定马上要学, 比如有几所学校都没有实验员, 但是均有很强金工车间, 可以保障教学实验室的正常运转; 最后, 由于文化与国情的差异, 有的我们一时很难做到, 但我们要积极推动, 如实验技术人员的高工资待遇, 全物理系学生安排一学期出国学习, 等等。

致谢 感谢在访问期间七所学校的相关教师对我们的访问所做的精心准备及有益的讨论。

参考文献

- [1] Introduction to the second year laboratory. Blackett Laboratory, Imperial College London. 2012—2013
- [2] NST IA Physics Practicals, Michaelmas Term 2011
- [3] 俞熹, 乐永康, 冀敏等. 物理实验, 2013, 33(4):14