

# 二十年“宇宙学”课程教学实践探索\*

张同杰<sup>1)†</sup> 于浩然<sup>2)</sup> 刘文斐<sup>3)</sup> 李时雨<sup>4)</sup>

(1)北京师范大学天文系, 100875, 北京; 2)厦门大学天文系, 361005, 福建厦门;  
3)齐鲁师范学院物理与电子工程学院, 250200, 山东济南; 4)北京天文馆, 100044, 北京)

**摘要** 从实际教学过程出发, 简要介绍了针对天文与物理学专业的本科生、研究生, 以及非天文专业本科生这3个不同层次教学对象的宇宙学双语课程教学体系的建立过程; 介绍了与这些课程相关的教学改革和应用实践, 如慕课建设、本科生科研训练与科普翻译等成果. 这些探索在中国的天文科研院所和高校独具特色, 是“宇宙学”课程在不同层次全面系统教学的成功实践.

**关键词** 宇宙学课程; 本科生教学; 研究生教学; 慕课  
**中图分类号** P14

**DOI:** 10.12202/j.0476-0301.2022176

## 0 引言

今年是北京师范大学(以下简称“北师大”)百廿校庆, 北师大天文系“天体物理宇宙学”系列课程讲授已经超过20年.

基于20多年的教学经历, 分别形成了本科与研究生“宇宙学”的完备教学体系; 先后出版了相关教材, 例如《现代宇宙学》《宇宙学导论》《宇宙有多老》《百年宇宙学》等, 这些教材满足了北师大相关专业各个级别学生的教学需求. “宇宙学”在不同层次成功的教学实践, 为中国相关天文科研院所与高校形成自己的特色做出了贡献.

## 1 北师大天文系“宇宙学”课程初期探索

自2003年秋季学期, 天文系为3年级本科生开始开设“宇宙学”课程, 这是该课程在北师大探索的开端. 当时本科生“宇宙学”课程没有现成的教材, 而国内外宇宙学教材难易程度不均衡, 不适合教我们的本科生. 于是我们自编英文讲义《Introduction to cosmological physics》(宇宙学导论), 涵盖了天体物理、宇宙学研究前沿等内容. 该讲义中文版经过多次修改和完善, 已成为本科生优选教材.

2004年春季学期开始, 我们给天文系研究生开设了“宇宙学”课程, 自己编写英文讲义《Physical cosmology》(现代宇宙学), 该讲义几经修改, 至2012年中文翻译版达到完善. 在研究生“宇宙学”课

程的教学过程中, 我们曾经尝试让本科生和研究生共同选修一门宇宙学, 类似于我国在教育资源匮乏时期所采用的复式教学(combined instruction). 但是鉴于本科生没有学过广义相对论, 一部分内容学不懂; 研究生也要重复学习宇宙学的基础知识. 对于不同层次的学生都不合适, 因此还是分别为本科生与研究生开设相应课程.

21世纪初, 我们参考加拿大和美国等大学“宇宙学”课程的开设现状, 对我们教学知识内容等方面进行了深刻反思, 主要是本科生和研究生宇宙学教学在知识内容上的差别、分水岭等. 这种反思持续了十几年, 直到2016年我们自己所编撰的《现代宇宙学》(中译本)出版.

借鉴了加拿大多伦多大学天文系所开展的公众天文科普, 自2004年春季学期起, 我们开设了公共选修课“宇宙的未来”, 后来改名为“宇宙学: 宇宙的诞生、演化和结局”; 2019年度春季学期开始改名为“宇宙之美”. 本课程主要介绍宇宙学科普知识, 包括: 宇宙学概述、走出银河系走向宇宙的历程、宇宙学的全面建立过程、大爆炸宇宙学基本理论、宇宙的演化历史、宇宙的几何性质和宇宙的结局、早期宇宙与平行宇宙; 宇宙中的生命; 宇宙与人生的关系; 还介绍和解读了当今天文学领域的重大发现, 如引力波和地外行星的发现等. 通过对宇宙学科普知识的学习, 引起学生对我们居住的宇宙家园的热爱和向往, 明白我们从何处而来, 又去往何处, 深入理解宇宙的

\* 国家自然科学基金资助项目(11929301)

† 通信作者: 张同杰(1968—), 男, 博士, 教授. 研究方向: 天体物理宇宙学. E-mail: tjzhang@bnu.edu.cn

收稿日期: 2022-04-21

和谐之美以及美的本质,树立正确的宇宙观和科学观.2021年秋季学期开始,“宇宙之美”在珠海校区开课,很受学生欢迎.2022年秋季学期开始,作为北京和珠海两校区的资源共享课,线上和线下同时教授.

## 2 宇宙学课程的正式形成

在20多年的宇宙学教学过程中,我们对课程内容有了越来越清晰的认识,尤其是在给研究生讲授过程中,美国天体物理学家Dodelson所著的《Modern cosmology》<sup>[1]</sup>教材内容使我们深受启发.大学天文系的本科学生如果不学一门“宇宙学”课程,其天文知识结构不完整,不能够从宇宙整体看待具体的天体物理问题,也不利于其后续的研究生学习.本科生和研究生“宇宙学”课程的分界线是广义相对论:研究生的该课程是基于广义相对论,对玻耳兹曼和引力场方程在理论上进行了数学的微扰变化,展示宇宙中物质和辐射的扰动起源与演化.本科生没有学习广义相对论,但是本科生的该课程仍然可以从广义相对论所得出的宇宙动力学出发,来阐释宇宙学相关的基本理论.对本科生的教学,我们遵照“有所为有所不为”的原则,从宇宙学动力学方程出发,详细介绍了标准(平滑、均匀或零阶),宇宙的创生、暴胀,最初3 min轻元素和微波背景辐射与中微子的产生过程,以及作为宇宙学预备知识的牛顿宇宙学;介绍时空度规的概念、运动学和动力学,经典宇宙学检验等宇宙学基本理论和观测等;讲授内容不包括其他非主流宇宙学的理论和思想.最终形成了完整的本科生和研究生“宇宙学”课程知识体系与大纲.

## 3 编撰宇宙学教材

“宇宙学”课程在国内外大学物理系和天文系均有开设,但是大部分只针对研究生.国际上,自20世纪70年代以来,宇宙学专著、译著和教材有百余种;这些著作或教材大多数所涉猎的内容太多甚至包罗万象,且偏难,只可作为手册;其作者中不乏国际宇宙学权威,他们都试图尽可能地把所有宇宙学相关知识包含在内,结果适得其反.在教学中,我们根据国际研究前沿,随时更新和补充教学内容,并编撰难易适中的教材.“宇宙学”是天文和物理系高年级学生的专业选修课,他们已经具备了天文和数理基础.宇宙学的发展相较于其他天文研究方向速度快,不断地涌现出多种能够解释其特性的理论,因此内容必须与科研前沿紧密联系.基于20年“宇宙学”课程的教学与实践,并参考国内外科研院所天文系所使用的教材,结合天文学的最新研究成果,我们完成了适合本科生

和研究生的2部宇宙学教材.

**3.1 研究生教材** 在研究生“宇宙学”教学中除了选用自编讲义外,还关注并选用国际上比较通用的教材,例如:选用《Modern cosmology》给研究生讲授宇宙学的过程中,深感该教材比较适合天体物理和物理学专业研究生;其核心内容是对宇宙中物质和辐射扰动的详细介绍.一般宇宙学教材从流体力学出发,由引力不稳定性引入密度扰动,最后推广至膨胀宇宙时空下结构的形成;《Modern cosmology》的作者独辟蹊径,直接从广义相对论出发,推导过程简单,结构分明,条理清楚;读懂该书,基本掌握了结构形成的扰动理论和以功率谱为代表的观测统计技术.

经过6年多的辛苦努力,由我们翻译的《现代宇宙学》<sup>[2]</sup>终于在2016年出版了.

**3.2 本科生教材** 我们基于自编《Introduction to cosmological physics》的本科生讲义与边实践边探索所建立起来的本科生宇宙学知识体系大纲,编撰了《宇宙学导论》<sup>[3]</sup>,该教材是研究生《现代宇宙学》教材的姊妹篇、基础篇,比较适合没有学过广义相对论的本科生选用.历经6年多的辛勤付出,该教材于2021年7月建党100周年之际正式出版.教材集前沿性和基础性于一体,与国际教材接轨,力争打造成中国天文领域优秀的本科生教材;内容可以唤起学生对我们所居住的银河系与浩瀚宇宙的向往和敬畏;深入理解数学、物理以及宇宙天人合一的和谐之美;培养学生正确的世界观、人生观、价值观,以及宇宙观.该教材可供全国物理、数学和天文系学生使用,也可供天文和物理科学研究生与科研工作者参考.

## 4 有关宇宙学的公选课和科普工作

在“宇宙学”专业与公共选修“宇宙的未来和过去”的课程教学过程中,我们翻译了国外的宇宙学科普著作,这对近几年讲授的公共选修“宇宙之美”课程是很好的补充,内容更加丰富.

**4.1 《How old is the universe?》(《宇宙有多大?》)** 英文版《How old is the universe?》<sup>[4]</sup>翻译成中文为《宇宙有多大?》,可谓一语双关,既可以理解为“宇宙空间距离之大”,也可以理解为“宇宙年龄之大”.根据大爆炸宇宙模型推算,宇宙年龄大约为 $1.382 \times 10^{10}$  a.该书图文并茂,浅显易懂,只有文字描述和图片展示,没有一个公式.

**4.2 《Cosmology's century》(《百年宇宙学》)**

北京时间2019年10月8日,瑞典皇家科学院斯德哥尔摩宣布:2019年诺贝尔物理学奖授予美国普林斯顿大学Peebles James(皮伯斯·詹姆斯)教授,以表

彰他对“物理宇宙学的理论发现”。詹姆斯是美国普林斯顿大学爱因斯坦科学教授,1935年生于加拿大的 Winnipeg。詹姆斯教授对宇宙学的贡献主要从 20 世纪 60 年代中期开始,逐步发展了宇宙学系统的理论框架基础,包括:1)对宇宙微波背景辐射的理论研究(宇宙中的辐射成分),即宇宙结构的种子;2)对大尺度结构理论的贡献(宇宙中的物质成分);3)对宇宙学零散理论的系统化、结构化。

2020 年詹姆斯教授的高级科普书《Cosmology's century》<sup>[5]</sup>出版。爱因斯坦 1915 年创立广义相对论,1917 年将其应用于整个宇宙,完成了著名的《广义相对论出发的宇宙学考察》,开创了现代宇宙学。詹姆斯教授是目前国际上唯一健在的历经这百年以来大部分宇宙学研究历史的科学家。他在书的前言中说:“爱因斯坦为我们指明了正确的研究方向,自那以后我便加入了对这一领域的研究,迄今已有 50 余年。《Cosmology's century》给了我一个机会,让我能够记录下宇宙学研究领域中正在发生的事以及我对其中原因的思考。”“本书的初衷就是希望能够毫无保留地展现宇宙学发展的全貌,包括那些绝妙的见解、幸运的猜想、未选择的路、犯过的大大小小的错误以及研究过程中逐渐积累的大量证据,这些证据后来也以一种合情合理的方式整合在了一起。本书以相对简明的方式较好地解释了自然科学究竟是如何完成的。”

2020 年 5 月,国家天文台的武向平院士建议我们翻译该书,我们便着手开始翻译,历时 2 年多,已初步完成,预计 2023 年 8 月可正式出版。

## 5 宇宙学课程体系的教学改革

**5.1 “宇宙学(导论)”慕课建设** 在 20 年的教学实践中,我们不断地进行教学方法改革。“宇宙学(导论)(双语)”课程采用双语教学,将教学内容、方式与国际教学和研究前沿紧密联系。2017 年,在中央高校教育教学改革专项——信息化与教育教学融合类项目的资助下进行了“宇宙学(导论)”慕课建设。2020 年春季学期由于新冠肺炎疫情原因,该课程使用网络 zoom 视频会议在线教学,尝试按照线上线下混合式教学模式进行授课,即学生线上自主学习,独立完成作业,线上面授由网络 zoom 视频会议形式完成。

**5.2 本科生科研训练** 自 2001 年开始,在原天文系主任武向平院士的倡导下,本科生毕业论文环节开始了科研训练的探索。2002 年,我们所指导的天文系本科生发表了第 1 篇论文,也是北师大天文系本科学生在海外发表的第 1 篇英文文章。20 年来,结合我们的教学和科研实践,在本科生科研训练方面做了 3 方面深入、系统的探索:1)如何培养本科生的创新

兴趣、创新意识、创新精神、创新能力;2)如何最大限度地挖掘本科生的科研潜能;3)如何培养本科生在学术上快速成长,产生有国际影响力的成果。

在实际培训过程中,遵循“学有余力、兴趣使然”的原则,发展了一种国际视野下以教学和科研前沿相结合、科研训练为主导的措施,以正面激励、大胆鼓励和因材施教相结合为指导原则的创新型拔尖人才培养的新模式。通过这种新模式的科研训练,培养了一批高素质的创新型本科人才,最大限度地发掘了本科生的潜能,形成了一批高水平的教学研究成果,在校内外引起关注并产生较大影响,《中国教育报》和《光明日报》均给予了报道<sup>[6-7]</sup>。此外,本科生在各类学术竞赛中多次获得殊荣,一些研究成果达到天文和物理领域的硕士甚至博士水平。

**5.3 党史思政教育** 为了全面贯彻落实党的教育方针,坚持社会主义核心价值观,传播社会主义正能量,我们不错过任何教育机会,始终忠诚于党和人民的教育事业,自觉把党的教育方针贯彻到教学管理工作全过程;坚持科学的世界观、人生观、价值观,坚持做学生锤炼品格的引路人,做学生学习知识、创新思维、奉献祖国的引路人。在向学生传授知识的同时,始终贯穿爱国主义和“中国梦”的思想教育;分析和对比国内外形势,让学生深刻感受到我们国家制度的优越性和国家的强大,鼓励学生树立远大志向,像老一辈科学家那样把个人的发展和国家民族的命运相结合。

## 6 结语

20 年的宇宙学教学过程,是我们从模糊到清晰认识宇宙的过程,从不懂到深刻理解、直至热爱大学教学的过程。

## 7 参考文献

- [1] DODELSON S. Modern cosmology[M]. San Diego: Academic Press (Elsevier), 2003
- [2] DODELSON S. 现代宇宙学[M]. 张同杰,于浩然,译. 北京:科学出版社,2016
- [3] 张同杰,刘文斐,李时雨. 现代宇宙学导论[M]. 北京:科学出版社,2021
- [4] WEINTRAUB D A. How old is the universe?[M]. New York: Princeton University Press, 2010
- [5] JAMES P. Cosmology's century[M]. New York: Princeton University Press, 2020
- [6] 祁雪晶,徐丽洋. 北师大在本科生中播撒科研创新的种子[N]. 中国教育报,2010-05-17(06)
- [7] 韩震,虞立红. 创新人才,从何而来?[N]. 光明日报,2012-06-13(16)

## Teaching cosmology over a 20 year period

ZHANG Tongjie<sup>1)</sup> YU Haoran<sup>2)</sup> LIU Wenfei<sup>3)</sup> LI Shiyu<sup>4)</sup>

(1)Department of Astronomy, Beijing Normal University, 100875, Beijing, China;

2)Department of Astronomy, Xiamen University, 361005, Xiamen, Fujian, China;

3)College of Physics and Electronic Engineering, Qilu Normal University, 250200, Jinan, Shandong, China;

4)Beijing Planetarium, Beijing Academy of Science and Technology, 100044, Beijing, China)

**Abstract** Bilingual cosmology courses for undergraduates majoring in astronomy and physics, for graduates, and for undergraduates in non-astronomy majors have been taught. Teaching reform is discussed, as well as radiation application practice related to these courses, such as MOOC course construction, undergraduate scientific research training and popular science translation. Such practices of comprehensive and systematic teaching of “cosmology” at different levels at Beijing Normal University are unique in Chinese astronomical research institutes and universities.

**Keywords** cosmology course; undergraduate teaching; graduate teaching; MOOC

【责任编辑:陆有忠】