

大学开设《物理学前沿》课程的必要性及教学策略探析

龙观德 郑晓军*

桂林理工大学, 广西 桂林 541004

摘要: 随着新工科建设与本科人才培养模式改革的不断深入, 物理学类专业学生不仅需要具备扎实的专业基础, 更应当对物理学的整体图景与前沿问题建立“鸟瞰式”的认知。《物理学前沿》作为面向高年级本科生开设的选修课程, 以时空观、宇宙天文学、粒子物理与量子力学等“既是基础、又是前沿”的内容为载体, 在拓宽学术视野、培养科学思维与塑造家国情怀方面具有不可替代的作用。本文结合课程教学实践, 论证在大学阶段开设该课程的必要性, 并从问题导向、研讨启发、形象化教学与课程思政融合等维度, 提出将前沿内容“讲清、讲活、讲透”的教学策略, 以期同类课程建设提供参考。

关键词: 物理学前沿; 时空观; 宇宙天文学; 粒子物理; 量子力学; 教学改革

DOI: 10.64649/yh.jydk.issn3080-2660.202610035

0 引言

通过大一、大二公共课与专业基础课的学习, 学生普遍了解了物理学中力、热、光、电的基本知识, 掌握了诸多物理问题的处理方法。然而, 对于希望了解物理学的青年学生而言, 重要的往往不是记住描写前沿问题细节的高等数学公式与推导技巧, 而是弄清: 有关这些问题, 今天我们已经从物理上解答了多少? 还有哪些问题需要继续努力去寻求解答? 换言之, 当学生面对物理学这一大片原野时, 应尽早鸟瞰其大致情况与前沿何在。更进一步说, 前沿与基础从来不是割裂的: 今天看似“高深”的宇宙学、粒子物理, 其根须都扎在本科阶段的基本观念之中; 反过来, 只有站到前沿, 才能看清基础课中那些概念“为何而设”。正是在这一意义上, 开设《物理学前沿》并讲好它, 成为本科物理教育不可或缺的一环。尤其在“新工科”背景下, 培养能够跨越学科边界、具备宏观科学视野的复合型人才, 已成为本科教学改革的重要方向; 而《物理学前沿》正是实现这一目标的高性价比载体, 它让学生在最短的课时内建立对整个物理图景的“方位感”。

1 开设《物理学前沿》课程的必要性

1.1 时空观: 被长期忽视的基础认知

时间与空间是物理学最底层的概念, 但大学生对它们的认知常常流于浅显, 很少深思。什么是时间? 它是一个与外界无关的心理概念, 还是由外界存在决定的客观量? 宇宙中的时钟是否处处相等? 这些朴素问题, 恰是物理学大厦的根基。牛顿的绝对时空观(绝对时间、绝对空间、绝对运动)曾长期主导人们的认知,

并与伽利略相对性原理一起取得空前成功。但它自诞生便受到挑战: 莱布尼茨认为空间只是具体事物的相对位置关系、时间只是事件的次序, 脱离外物便无时空; 马赫进一步指出物体的惯性源于宇宙中其他物质的作用, 绝对运动并非“真实”。牛顿以“水桶实验”试图捍卫绝对空间——旋转的水面下凹给出可实证的判据——却也留下“惯性的本质”这一至今仍激发学生思考的难题。

狭义相对论以“爱因斯坦相对性原理+光速不变”两大假设, 用洛伦兹变换取代伽利略变换, 从根本上否定了绝对同时性; 闵可夫斯基时空将空间与时间统一为四维连续体; 广义相对论更以等效原理把引力诠释为时空的弯曲。时空观的演变, 本身就是一部从经典到现代、从绝对到相对的认知革命。对物理专业学生而言, 补上这一课既是理解后续专业课程的基石, 也是触及宇宙学、量子引力等当今最活跃前沿的入口。值得强调的是, 相对论的“相对”并非“万物皆主观”——它恰恰以不变的光速与协变的物理规律为基石, 给出了比绝对时空更严格、也更能接受实验检验的客观框架。

这一认知并非只停留在哲学层面。今天的计量实践已把“时间”直接建立在相对论之上: 国际单位制中的“秒”由铯-133原子基态超精细跃迁的频率定义, 而全球定位系统(GPS)必须同时修正狭义相对论的钟慢效应与广义相对论的引力红移——若不做修正, 定位误差每天将累积达数千米。可见, 时空观的“基础”与“前沿”本是同一枚硬币的两面: 基础课里的概念, 正是现代精密工程系统的底层逻辑。

1.2 宇宙天文学：关乎人类命运的世界运行规律

宇宙如何起源、如何演化、命运如何，是与人类存亡息息相关的问题。学生通过基础课了解牛顿力学，却对宇宙的演化过程知之甚少，对暴涨理论、暗物质与暗能量等更感陌生。《物理学前沿》以“大爆炸宇宙论”为主线：从哈勃红移、宇宙微波背景辐射（约 2.7 K、精确测量值约为 2.725 K 的黑体谱）、轻元素丰度这三大观测证据出发，串联起从普朗克时代、大统一时代到星系时代、恒星时代的完整演化史；进而讲解暴涨理论如何一举化解磁单极、视界与平坦性三大疑难，以及暗物质（引力透镜、子弹星系团）、暗能量（Ia 型超新星、加速膨胀）如何共同塑造 Λ CDM 标准宇宙模型。这一黑体谱由彭齐亚斯与威尔逊在 1965 年意外发现，其存在本身构成了大爆炸最有力的直接证据之一，也从一个侧面说明重大发现常常源于对“噪声”的较真。

这些内容让学生认识到：天文学既是提供极端条件的天然实验室，也是基础科学的引擎——暗物质、暗能量的发现与黑洞的研究无不源自天文观测；地外行星与地外生命的探寻，则直指“人类是否孤独、未来能否移民”这一命运之问。课程还自然融入中国贡献：从《尸子》“上下四方曰宇，往古来今曰宙”的古老智慧，到今天天宫空间站、嫦娥探月、神舟载人、天问探火等航天成就，既彰显传统文化魅力，又激发学生的家国情怀与投身航天事业的热情。

为引导学生建立“物理直觉”而非死记结论，课程还引入若干吊诡的思考题。例如奥伯斯佯谬：若宇宙静止、无限且恒亮，则任意方向都应被恒星填满，夜空理应一片光明——可事实是黑夜。对这一佯谬的破解，直接指向宇宙有限年龄与膨胀这两个现代宇宙学的基石。又如宇宙的未来：在暗能量主导下，宇宙可能持续加速膨胀、走向“热寂”或大撕裂；不同结局对应不同的暗能量物态方程，而这正是当前观测宇宙学的前沿争点。把“佯谬—证据—开放问题”串成一条线，学生才会真正体会到科学是如何在证伪与求证中前进的。

1.3 粒子物理：构成世界的最基本单元

“世界由什么组成、如何组成”，是认识世界最基本的出发点，也最能激发学生兴趣。学生虽在原子物理中接触过原子、原子核与电子能级，却对“夸克如何构成质子和中子”“四种基本相互作用”知之甚少。课程沿着“元气—水火土气—道尔顿原子说—三大发现（X 射线、放射性、电子）—原子核—夸克”的认识链条，引导学生理解物质层次的不断深化；进而系统

讲解标准模型：费米子（夸克与轻子）提供物质，玻色子（光子、胶子、W/Z 等）传递相互作用；希格斯机制为夸克、轻子等基本粒子提供质量。需要说明的是，引力由目前尚未被实验直接发现的引力子（或在广义相对论中等价地由时空弯曲）描述，并不在标准模型的框架之内——标准模型只涵盖强、弱、电三种相互作用。通过量子色动力学说明强相互作用的渐近自由与夸克禁闭，借助费曼图将抽象的相互作用直观化。

这里必须澄清一个常见误解：质子、中子的绝大部分质量并非来自希格斯机制赋予夸克的那一点质量，而是来自强相互作用的量子色动力学结合能。把夸克束缚在核子内部的胶子场蕴含巨大能量，按质能关系 $E=mc^2$ 转化为质量——换句话说，我们日常所见的“质量”，绝大部分是束缚能量的体现。这一事实不仅纠正了科普中“希格斯给了所有质量”的讹传，也让学生直观看到场与能量如何成为物质的真正来源。

标准模型虽已取得惊人成功，却远非终极理论：它没有容纳中微子的质量、未能解释三代费米子之间的质量层级、更把引力以及暗物质、暗能量完全留在框架之外。这些“未完成”，恰恰不是课程的缺陷，而是引导学生理解“科学永在途中”的最佳素材——前沿之所以为前沿，正在于边界之外仍有未知。

中微子振荡、CP 破坏与宇宙重子不对称，把微观物理与宇宙学紧密钩连。今天宇宙中重子（质子、中子等）远多于反重子，这就是“重子—反重子不对称”；它并非单一“重子数不守恒”的结果，而要同时满足萨哈罗夫（Sakharov）提出的三个条件——重子数不守恒、电荷—宇称（CP）破坏，以及体系偏离热力学平衡。其确切起源至今仍未确定；中微子振荡（及与之可能相关的轻子数破坏）只是若干可能机制之一，它与 CP 破坏、重子不对称并不处在同一层次上被简单等同。这一部分同样蕴含中国声音：大亚湾中微子实验测得 θ_{13} 非零，江门（JUNO）中微子实验站的核心科学目标是测定中微子质量顺序，无中微子双 β 衰变只是其未来可能的升级方向之一，并非当前的世界最大装置；而杨振宁先生关于中国是否应即刻建造超大对撞机（CEPC）的七大理由，更是引导学生思考“科学决策与国家需求”的鲜活案例。

1.4 量子力学：现代物理支柱与世界本质认知

量子力学与相对论并列为现代物理两大支柱。学生虽已学过初步量子力学，却常被若干“反直觉”概念困扰，但这些概念的理论地位

并不相同：波粒二象性是被大量实验反复确证的基本图像；波函数的统计诠释（玻恩诠释）是多数教材采用的基本诠释，却并非所有诠释都一致承认，在诠释尚无定论的领域仍存在争议；而测量导致的波函数坍缩，在一些诠释（如多世界诠释）中甚至不被视为真实发生的物理过程。把三者不加区分地并列、统称为“反直觉概念”，容易掩盖其理论地位与争议程度的差异。课程以双缝干涉这一“核心且最具争议”的实验为切入点：单个光子逐点累积却呈现干涉条纹，迫使学生直面“波还是粒子”的诘问；借由“概率波”与经典概率的本质区别（量子概率是不确定、随机出现，而非信息缺失），厘清波函数通常所采用的统计诠释。

进而讨论薛定谔的猫、维格纳的朋友、延迟选择量子擦除（也称量子擦除）、EPR 佯谬与量子纠缠等思想实验——它们暴露的不仅是技术难题，更是“世界是否独立于观察而存在”这一关乎世界本质的哲学之争。爱因斯坦“上帝不掷骰子”与玻尔的哥本哈根诠释之争集中发生于1927—1935年前后，其影响延续至今（近百年）而未有定论；而“闭嘴计算”的态度则提醒我们：在诠释尚无定论的领域，重要的是掌握形式体系并能做出正确预言。这些既是专业基础，又是当今量子信息、量子计算等激烈讨论的前沿；课程可顺势引入中国“墨子号”量子卫星等世界领先成果，鼓励学生投身科研、贡献国家。

需要指出的是，关于“世界是否独立于观测”的争论并非纯思辨：贝尔定理把“EPR 佯谬”转化为可实验检验的不等式，阿斯佩等人在1982年的实验，以及2022年诺贝尔物理学奖所表彰的纠缠检验，都表明量子纠缠是真实的非局域关联，无法由任何经典的定域隐变量所还原。这为“诠释之争”划出了坚实的实验边界——哲学之问最终要接受实验的裁决，正是物理学的精髓所在。

1.5 小结：基础与前沿的统一

综上，时空观、宇宙天文学、粒子物理、量子力学这四块内容，既是物理学的根基，又恰是今天仍在探索与激辩的最前沿。它们彼此贯通：微观的夸克禁闭联系着中子星，量子涨落埋下了星系结构的种子，相对论与量子力学在宇宙暴涨那一刻，由广义相对论的时空膨胀与量子场论的真空涨落在同一物理图像中结合起来。在大学开设《物理学前沿》，正是要让学生在打下专业基础之后，回看这片“原野”的整体轮廓与前沿何在。

2 如何讲好这门课：教学策略

2.1 问题导向，以真问题激发真思考

从学生最朴素的困惑出发：什么是时间？绝对时空观正确吗？双生子佯谬是真的佯谬吗？宇宙的未来与人类命运如何？课程以“问题”而非“结论”开场，把认知冲突转化为学习动力。

2.2 研讨启发，在争论中建构理解

课堂设置疑惑点——牛顿水桶实验是否证实绝对空间？莱布尼茨的质疑有无道理？人择原理是否成立？——引导学生像物理学家一样辩论。对“如何让自己更年轻”等开放话题的讨论，往往最能点燃课堂热情。

2.3 形象化与可视化，化抽象为可感

针对内容抽象的特点，大量使用图像与仿真：用费曼图讲解基本相互作用，用闵氏时空图分析钟慢、尺缩、双生子佯谬，用动画重现宇宙演化与双缝实验。借助 Matlab、Python 等工具让学生动手模拟，把“看不见”的微观与宇观过程变得可视、可推。例如，可让学生用几行 Python 代码画出双生子佯谬中兄弟二人的世界线，并按下式积分各自固有时 $\tau = \int \sqrt{1-v^2/c^2} dt$ ，直接输出“弟弟比哥哥年轻多少”；当学生亲手改变飞船速度 v 与航程，看到结果随之连续变化，“加速导致不对称”便从抽象说教变成可操作的探究。把编程作为“第二支笔”，既能降低认知负荷，也契合新工科对计算思维的培养要求。

2.4 课程思政有机融入，润物无声

将中国航天、量子科技、中微子实验等成就，以及普朗克、爱因斯坦、吴健雄、杨振宁等科学家的精神，自然嵌入知识讲授，实现价值塑造与知识传授的统一。例如讲授弱相互作用宇称不守恒时，可强调吴健雄在极低温下极化钴核的精巧实验设计，让学生体会“大胆假设、小心求证”的严谨；讲授宇宙学时，则把中国古代宇宙观与当代观测证据对照，培养文化自信与批判精神并重的科学态度。

2.5 线上线下混合，强化过程评价

依托雨课堂等平台发布课前预习与课后思考题，鼓励学生自主查阅资料、课堂分享；以开放性作业（如“写出对人择原理的见解”“如何看待宇宙未来与人类命运”）取代标准答案式考核，重在过程与思辨。

2.6 以经典案例串讲，化散点为体系

前沿内容点多面广，若逐点平铺易使学生“学而不思其联”。课程宜选取一两个贯穿性案例，把分散的知识点织成一张网。以“双缝

实验”为例：它一端连着波粒二象性与统计诠释（量子力学），一端连着延迟选择量子擦除与量子纠缠（世界本质之争），还可引申到量子计算的比特与干涉原理——一个实验串起从基础概念到前沿应用的完整链条。再以“夜空为什么是黑的”（奥伯斯佯谬）为例：它把牛顿时空观、宇宙年龄、红移与暗能量串成宇宙学的逻辑主线。用案例作“锚点”，学生记住的不再是孤立结论，而是可迁移的分析框架。

3 结语

在物理学快速演进、学科交叉日益加深的今天，开设《物理学前沿》并讲好它，是培养学生宽广视野、科学思维与家国情怀的重要一

环。这门课的难点，不在于公式有多繁难，而在于如何把“既是基础、也是前沿”的内容讲得让学生既见树木、又见森林：既知其然（今日已解答多少），也知其所以然（观念如何演进），更知其所往（还有哪些开放问题）。从牛顿的绝对时空到暗能量主导的加速宇宙，从原子论到标准模型，物理学的前沿始终在“已知”的边缘生长；把这片风景讲给学生，就是在他们心里种下持续求知的动力。以问题驱动、以研讨深化、以形象化破难、以思政铸魂，并辅以亲手可做的仿真与贯穿性的经典案例，方能让这门课真正走进学生心里，为他们日后无论是继续深造还是投身工程，都埋下一颗“格物致知”的种子。

参考文献：

- [1] 赵凯华, 罗蔚茵. 新概念物理教程·量子物理(第二版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [2] 赵凯华, 罗蔚茵. 新概念物理教程·力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1995.
- [3] 刘辽, 赵峥. 狭义相对论(第二版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [4] 梁灿彬, 周彬. 微分几何入门与广义相对论(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [5] 温伯格 S. 最初三分钟: 关于宇宙起源的现代观点[M]. 王丽, 等译. 北京: 北京大学出版社, 2008.
- [6] 爱因斯坦 A. 狭义与广义相对论浅说[M]. 杨润殷, 译. 北京: 北京大学出版社, 2006.
- [7] 向守平. 天体物理概论[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2008.
- [8] 张三慧. 大学物理(量子物理)(第三版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [9] 郭硕鸿. 电动力学(第三版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [10] GRIFFITHS D. Introduction to Elementary Particles(粒子物理导论)[M]. 2nd ed. 影印版. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [11] 王雯宇, 庞维晨, 武珂运. 粒子物理标准模型的规范等级问题[J]. 物理与工程, 2022, 32(4): 16-23.
- [12] 罗蔚茵, 赵凯华. 普物力学中的相对论教学——介绍《新概念物理教程——力学》——[1]第八章[J]. 大学物理, 1996, (9): 33-34. DOI:10.16854/j.cnki.1000-0712.1996.09.013.
- [13] CORMIER S, STEINBERG R. The Twin Twin Paradox: Exploring Student Approaches to Understanding Relativistic Concepts[J]. The Physics Teacher, 2010, 48(9): 598-601.
- [14] 国家高等教育智慧教育平台. 万物之理——爱因斯坦之梦(中国海洋大学 高翔)[EB/OL]. <https://www.chinaooc.com.cn/course/698513bc95df98bb27d907ab>.
- [15] 中国科学院. 漫谈现代物理学时空观的症结与展望[EB/OL]. 科学智慧火花. <https://idea.cas.cn/zhhh/sxwllhxytw/wlx/info/2011/479733.html>.

作者简介: 龙观德(2004.04—), 男, 汉族, 广西桂平人, 本科, 研究方向: 应用物理学专业。

通讯作者: 郑晓军(1983.12—), 男, 瑶族, 广西贺州人, 理学博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向: 关联电子体系方面的研究。