



国家自然科学基金委员会理论物理专款资助

21世纪理论物理及其交叉学科前沿丛书

真空结构、引力起源与 暗能量问题

王顺金 著



科学出版社

21 世纪理论物理及其交叉学科前沿丛书

真空结构、引力起源与暗能量问题

王顺金 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书首先强调了物理系统和真空环境耦合问题的重要性。然后提出了真空普朗克子球密集堆积模型。基于这个模型,研究了三个基本的天体物理学问题:①黑洞的微观量子结构和引力的微观量子统计起源;②以普朗克子为初始条件的宇宙演化和宇宙能量密度起源;③作为真空晶体这一凝聚体的孤子型或位错型激发的基本粒子运动时的相对论效应。由这三项研究得到的结果,或者与天文观测符合,或者与现有理论一致。

基于上述结果,本书对现代物理学的突破和发展前景提出了系统的看法,并进行了初步的探讨。作者认为:①现代物理学面临新的突破;②突破点在于对真空微观量子结构的研究;③突破后将出现的更深层次的实体性理论是真空微观量子结构理论,它是相对论和量子论这两个原理性理论的微观物质基础,现代物理学的上述原理性理论和基本粒子理论将以这一实体性理论的超低能、超长波的极限形式涌现出来;④突破需要粒子物理学家、天体物理-宇宙学家、凝聚态物理学家和数学家的共同努力。

本书适合理论物理专业以及对物理学发展感兴趣的读者阅读与参考。

图书在版编目(CIP)数据

真空结构、引力起源与暗能量问题/王顺金著. —北京:科学出版社,2016.3
(21世纪理论物理及其交叉学科前沿丛书)

ISBN 978-7-03-047727-9

I.①真… II.①王… III.①理论物理学—研究 IV.①O41

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第050596号

责任编辑:钱俊 裴威/责任校对:张怡君

责任印制:张伟/封面设计:无极书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年3月第一版 开本:720×1000 B5

2016年3月第一次印刷 印张:15 3/4

字数:295 000

定价:98.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《21 世纪理论物理及其交叉学科前沿丛书》

编 委 会

主 编：夏建白

编 委：（按姓氏拼音排序）

蔡荣根 陈润生 董国轩 黄 涛

汲培文 李树深 梁作堂 刘 杰

刘 伟 楼森岳 卢建新 罗民兴

孟庆国 倪培根 欧阳钟灿

蒲 钊 任中洲 孙昌璞 陶瑞宝

王玉鹏 吴岳良 谢心澄 邢志忠

张守著 张卫平 赵光达 郑 杭

庄鹏飞

《21 世纪理论物理及其交叉学科前沿丛书》

出版前言

物理学的研究范畴很广，涉及从夸克到宇宙多层次的物质结构及其运动规律。物质结构从层次上讲，夸克、轻子-强子-原子核-原子-分子-团簇-凝聚态-生命物质-恒星-星系-宇宙，每个层次上都有自己的基本规律需要研究，而这些规律又是互相联系的。其分支学科涉及原子物理、分子物理、核物理、声、光、电、磁及其与物理学相关的跨学科的诸多方面内容。物理学又是许多学科（如化学、生物学、地球科学和工程学）的基础。因此物理学是研究物质、能量、时间和空间以及其相互作用和运动规律的科学，也是最具基础性、前沿性、交叉性和综合性的学科。20 世纪科学发展历史证明，理论物理学的一些重大突破（如量子力学和相对论）不仅常会带来新方向、产生新领域，推动新的学科交叉及技术革命，甚至能导致人类时空观、自然观的革命性变革。物理学的研究结果深入到社会发展和人们日常生活中，社会财富的增长、经济的全球化、生命的质量和生活的标准在很大程度上依赖于技术，技术进步又在很大程度上依赖于物理学的创新研究。因此各国政府非常重视物理学的发展，在新世纪纷纷制订物理学的发展计划，并采取一系列创新举措。

理论物理学是对自然界各个层次的物质结构和运动基本规律进行理论探索和研究的学科。由此建立的基本理论不仅成为描述和解释自然界已知的各种物理现象和运动规律的理论基础，而且还是预言和发现自然界未知的物理现象和基本规律的理论依据。理论物理学乃至整个物理学的发展是一个在概念、思想方式上不断变革的历史。历史上，当牛顿力学在 19 世纪取得了辉煌的成果之际，那种认为物理学甚至整个自然的运动都可以而且应当归结为力学运动的机械自然观应运而生。1900 年，普朗克在对黑体辐射能谱分布规律的研究中提出了“作用量子”的概念，这是从经典物理学迈进量子物理学的第一步。1905 年，爱因斯坦又在对光电效应等问题的研究中，把普朗克的量子化关系推广到光，认为光在与物质相互作用时，每次交换一个能量为频率乘以普朗克常数的“光量子”。1913 年玻尔提出了原子的量子论，又称原子的玻尔模型。这项工作开创了微观物质系统量子理论的先河，并且为后来量子力学这门新的学科的兴起起到了不可缺少的桥梁作用。以后由于海森伯、玻恩、薛定谔、泡利、狄拉克等物理学家的奠基性工作，量子力学趋于成熟，得到了完善。戴森在评论量子力学发展历史时说：“在任何一门科学分支里，新概念难以掌握的原因常常是相同的；当时的科学家总要用先前已经存在的观念

去描绘新的概念。发现者本人更是由于这一困难而受尽折磨；他同旧的观念搏斗以得出新的概念，而在以后的一段长时间内，他思维的语言内仍然保留着旧的观念。”只是在放弃了旧观念之后，新的概念才变成“某种基本的和不可约简的东西。一种以它自己的权利存在着的物理客体，它不再需要用什么别的东西来解释了。”

按照费曼的意见，发现新的科学规律的过程是从猜想开始的，其中使用的是尝试和纠错的方法。他说：“猜想从何而来是完全不要紧的，重要的是要同实验相符合。”费曼还强调，理论是不可能由经验直接推出来的，因为“物理学定律常常同经验没有直接的关系，现实经验的细节常常同基本定律相距甚远。”

恩格斯说过：“随着自然科学领域中每一个划时代的发现，唯物主义必定要改变自己的形式。”在 20 世纪物理学革命中，相对论和量子力学的新理论运用了一些比以前更加不合乎常规经验的抽象思考方式，这充分证明了科学实验是检验科学理论正确与否的唯一标准，又充分发挥了人类精神的主观能动性，宣告同以往的经验主义彻底决裂。

新世纪开始，物理学面临了一次又一次新的挑战。巨大的“哈勃”太空望远镜观测到了迄今所发现的银河系中最古老的白矮星。这为确定宇宙年龄提供了一种全新的途径。WMAP 对微波背景辐射观测的结果告诉我们，宇宙中普通物质只占 4%，23% 的物质为非重子暗物质，73% 是暗能量，占宇宙成分的 95% 的暗物质和暗能量究竟是什么目前还不清楚。中微子是一种暗物质粒子，但它的质量非常小，在暗物质中只能占微小的比例，绝大部分应是所谓的冷或温的暗物质。对基本粒子标准模型的研究取得了很大的成功，然而它却无法解释暗物质和暗能量的本质，不能解答宇宙中正、反物质不对称的疑难。

天文学上的发现总是让物理学家激动不已。天文学家宣称可能已经发现两颗宇宙中最奇怪的星体——由夸克的亚原子粒子“浓汤”组成的星体，称为奇异星，又称夸克星。此类星体将给物理学家提供一个弄清中子的组成成分——夸克和奇异夸克的机会。

新年伊始又传来了振奋人心的消息，2016 年 2 月 11 日美国科学家宣布人类首次直接探测到引力波。引力波是爱因斯坦广义相对论所预言的一种以光速传播的时空波动。这次探测到的引力波是由 13 亿光年之外的两颗黑洞在合并的最后阶段产生的。两颗黑洞的初始质量分别为 29 颗太阳和 36 颗太阳，合并成了一颗 62 倍太阳质量高速旋转的黑洞，亏损的质量以强大引力波的形式释放到宇宙空间，被“激光干涉引力波天文台（LIGO）”的两台孪生引力波探测器探测到。引力波的探测，不仅验证了广义相对论的预言，其意义远远超出了检验广义相对论本身。LIGO 打开了一扇探索宇宙的新窗口，人们将在未来探测到更多的未知的引力波源和原初引力波。引力波发现是科学史上的里程碑，它将开创一个崭新的引力波天文学研究领域，揭示宇宙奥秘。

此外,在近二三十年间物理学的其他领域也发展迅速,特别是与其他学科(如数学、化学、生物、信息、材料等)交叉的领域发展方兴未艾,具有巨大的发展前景。在凝聚态物理方面,有高温超导、量子 and 分数量子霍尔效应、自旋量子霍尔效应、电子隧道扫描显微镜、石墨烯和半导体微结构、巨磁阻效应和自旋电子学等。在原子、分子物理学方面有激光冷却和陷阱、原子玻色-爱因斯坦凝聚、超短光脉冲源以及量子光学、量子信息和量子计算机等。这些研究不仅具有重要的理论意义,而且具有重要的应用前景。量子信息技术是光学、原子物理、固体物理与计算机科学密切结合的交叉学科研究的极好例子。

当前国内正处于基础研究发展的最好时机,在国家自然科学基金委员会数理学部“理论物理专款”项目的支持下,我们编辑出版这套《21 世纪理论物理及其交叉学科前沿丛书》,目的是介绍现代理论物理及其交叉学科前沿领域的基本内容、最新进展和发展前景,以及中国科学家在这些领域中所取得的重大进展。希望本丛书能帮助大学生、研究生、博士后、青年教师和研究人员全面了解理论物理学研究进展,培养对物理学研究的兴趣,迅速进入有关的研究领域,同时吸引更多的年轻人投入和献身到理论物理学的研究中来,为发展我国的物理学研究并使之在国际上占有一席之地作出自己的贡献。

前 言

国家自然科学基金委员会理论物理专款学术领导小组夏建白教授，建议并邀约我把自己在理论物理前沿研究中的成果整理成文，并作为《21世纪理论物理及其交叉学科前沿丛书》中的一本来出版。

我积极响应夏老师的建议。经过一年多的努力，终于把自己几十年来在量子多体理论研究方面的基本观点和近几年来在物理学基础研究方面得到的初步成果整理成书。本书包括三篇正文和三个附录。

第一篇“物理学基础探讨——常规研究与非常规研究”，简要概述了作者几十年来主要的教学、科研成果。着重介绍作者对物理学基础的研究与探讨，包括常规研究和非常规研究，并强调非常规研究。

物理学常规研究，是指作者在物理学现有理论框架内开展的研究。结果包括在如下两本书中。

《量子多体理论与运动模式动力学》一书是作者几十年来教学、科研工作成果的总结。该书包括两个部分。第一部分“简明量子多体理论”详细讲述量子多体理论的基本理论和基本方法，可看成是从量子论学习到量子多体理论研究之间的桥梁，系统阐述了作者关于量子论和量子多体理论的如下基本观点。①关于真空的正确观点是物理学的灵魂。因此作者建议，从真空的性质理解物理学基本规律：i) 从真空的宏观平稳性质理解相对论和守恒律；ii) 从真空的微观涨落性质理解量子论；iii) 从真空微观结构和量子涨落变化理解引力起源和宇宙演化。②从相互作用理解量子多体问题：i) 从相互作用的叠加和平均理解平均场与多体关联运动模式的发展；ii) 从真空和相互作用的对称性理解对称运动模式的起源。③从平均场和剩余作用的不同物理效应理解关联运动、量子跃迁和二次量子化。第二部分“量子运动模式动力学”包括四篇作者的总结性科研论文，是作者多年从事量子多体理论研究的工作总结。作者首先把“量子系统”概念推广为“量子世界”概念，然后讲述量子世界的三种基本属性和这三种属性导致的三种基本运动模式的动力学（关联动力学、代数动力学和系统-环境耦合动力学）。

《物理学前沿——问题与基础》一书包含作者对物理研究前沿的介绍和对物理学基础问题的观点。该书包括两个部分：第一部分“物理学前沿问题”详细介绍了现代物理学前沿问题和近期的发展与成果；第二部分“物理学基础探讨”包括作者首次发表的四篇论文，是作者对物理学基础的审视和质疑，带有非常规研究的成分。

第二篇“系统-环境耦合动力学——兼论真空对物理学研究的重要性”，系统介绍作者在彭桓武论坛上的报告——“系统-环境耦合动力学”的基本内容和初步应用，据此强调真空环境对物理学研究的重要性，以此作为第三篇关于真空结构研究的导引。

第三篇“真空量子结构与物理学发展前景”，属于物理学非常规研究，是本书的主题内容和作者近期的研究成果。物理学非常规研究，是指作者超出物理学现有理论框架和基础的尝试性、探索性研究。本篇系统介绍了作者关于真空微观结构的研究，以及基于普朗克子真空微观结构模型对三个物理学基本问题研究的初步结果：① 黑洞引力的量子统计起源；② 宇宙膨胀中真空量子涨落能亏损与暗能量；③ 基本粒子作为真空晶体的位错或孤子的运动学相对论效应。基于上述研究成果，本篇对物理学发展的前景提出了系统看法，开展了深入讨论，并对进一步的研究课题给出了建议。

附录 I 是关于物理学发展前景和非常规研究的深入讨论。附录 II 是关于物理学基本问题的通讯与讨论。附录 III 转载了关于真空的微观量子结构、黑洞引力的量子统计起源、膨胀宇宙中真空量子涨落能亏损与暗能量的三篇作者的英文论文。

本书首先强调了物理系统和真空环境耦合问题的重要性，然后提出了真空普朗克子球密集堆积模型。基于这个模型，研究了三个基本的天体物理学问题：① 黑洞的微观量子结构和引力的微观量子统计起源；② 以普朗克子为初始条件的宇宙演化和宇宙能量密度起源；③ 作为真空晶体这一凝聚体的孤子型或位错型激发的基本粒子运动时的相对论效应。由这三项研究得到的结果，或者与天文观测符合，或者与现有理论一致。

基于上述结果，本书对现代物理学的突破和发展前景提出了系统的看法，并进行了初步的探讨。作者认为：① 现代物理学面临新的突破；② 突破点在于对真空微观量子结构的研究；③ 突破后将出现的深一层次的实体性理论是真空微观量子结构理论，它是相对论和量子论这两个原理性理论的微观物质基础，现代物理学的上述原理性理论和基本粒子理论将以这一实体性理论的超低能、超长波极限的形式涌现出来；④ 突破需要粒子物理学家、天体物理学-宇宙学家、凝聚态物理学家和数学家的共同努力。

作者特别感谢夏建白教授。由于他的建议和邀约，作者才能把自己多年的教学及科研成果，特别是近几年关于物理学基础的非常规研究成果，整理成书并出版。他对本书的出版给予了长期的关注和热情的支持。钱俊编辑也给予了热情的支持，并对出版做了大量深入细致的编辑工作，在此表示深深的谢意。

作者还感谢国家自然科学基金委员会理论物理专款对本书出版的资助；感谢四川大学物理学院龚敏院长对这项研究的关注和支持；感谢国家自然科学基金、教育部博士点基金、兰州重离子加速器国家实验室理论核物理基金对作者研究工作

的长期支持。感谢国家自然科学基金委员会国家基础科学人才培养基金 (J1103209) 对本书出版的资助。

作者衷心希望,对物理学发展有事业心和使命感的年轻的物理学人,关心和专注物理学基础研究,在未来的物理学发展中做出贡献。

最后,作者在此对关注物理学未来发展、从事物理学基础研究、不畏风险、忍受孤独、长期开展艰苦探索工作的物理学界的勇士们表示敬意。

王顺金

2015年12月31日于蓉城

目 录

前言

第一篇 物理学基础探讨——常规研究与非常规研究

第 1 章 物理学常规研究结果	3
第 2 章 物理学非常规研究结果	7
第 3 章 祝愿: 青年学子的机遇和使命	8
参考文献	9

第二篇 系统-环境耦合动力学——兼论真空对物理学研究的重要性

第 4 章 系统-环境耦合问题的重要性	13
4.1 宏观经典的系统-环境耦合问题	13
4.2 微观量子系统的系统-环境耦合问题	14
4.3 真空背景对物理学的基本重要性	14
第 5 章 量子世界与量子运动模式	15
5.1 量子世界的基本要素	15
5.2 量子系统的基本属性和运动模式	16
5.3 量子运动模式的动力学	17
第 6 章 系统-环境耦合运动模式与耦合动力学	20
6.1 从物理学角度研究微观量子系统与环境的耦合问题	20
6.2 量子系统-环境耦合动力学的一般形式	20
6.3 量子系统-环境耦合动力学的两个具体例子	25
6.4 量子系统-环境耦合动力学需要深入研究的问题	33
第 7 章 量子真空与现代物理学问题	36
7.1 宏观量子纠缠问题	36
7.2 引力和相互作用起源问题	37
7.3 基本粒子形成问题	38
7.4 宇宙演化与暗能量问题	38
7.5 凝聚态物理学问题	39

参考文献	39
------------	----

第三篇 真空量子结构与物理学发展前景

第 8 章 真空的微观量子结构	43
8.1 引言	43
8.2 真空微观量子结构模型	44
8.2.1 真空的基本组元或晶胞—普朗克子量子球的性质	44
8.2.2 真空是普朗克子量子小球密集堆积而成的量子晶体	48
8.3 用普朗克子球真空晶体模型和量子统计研究引力现象、宇宙膨胀 和相对论效应	50
参考文献	51
第 9 章 黑洞引力的量子统计起源	52
9.1 施瓦茨黑洞表面温度及其量子统计力学含义	52
9.2 施瓦茨黑洞的微观结构和引力的微观起源——引力的卡西米尔效应	54
9.3 黑洞的质量：引力质量和物理质量	58
9.4 黑洞熵的微观起源	62
9.5 黑洞视界面上辐射子的力学平衡和热学平衡	62
9.6 黑洞内部辐射子空穴的引力效应和黑洞视界面的奇怪吸引子特征	63
9.7 黑洞外部引力势和引力温度的微观起源	64
9.8 一般引力场的微观量子结构与量子引力场方程	68
9.9 引力系统真空背景的量子激发—辐射子的尺度	72
9.10 宇宙加速膨胀时的黑洞引力势	73
9.11 讨论	75
附录 黑洞内外引力势的 T 对偶关系	77
参考文献	78
第 10 章 膨胀宇宙中真空量子涨落能亏损与暗能量	80
10.1 引言	80
10.2 基本假定与基本方程	81
10.3 宇宙的演化	83
10.3.1 宇宙能量密度 $\rho(t)$ 的演化	83
10.3.2 宇宙径向尺度膨胀因子 $R(t)$ 的演化	88
10.3.3 $\rho(R) - R$ 关系	91
10.4 宇宙质量和背景辐射温度	96
10.4.1 宇宙膨胀子和宇宙的质量	96

10.4.2 宇宙背景辐射温度	98
10.5 普朗克子量子球密集堆积真空的两种激发效应	98
10.6 宇宙能量密度演化的全息辐射特征	100
10.7 主要结果小结	102
10.8 与其他理论的关系	104
10.8.1 与 Guth 理论的关系	104
10.8.2 三个疑难问题的解决	104
10.8.3 与全息原理和全息暗能量模型的关系	104
10.8.4 与宇宙学卡西米尔能量的关系	105
10.8.5 量子相变和组分变化的物理机制和物理过程	105
参考文献	105
第 11 章 普朗克子真空晶体与基本粒子的相对论效应	107
参考文献	110
第 12 章 普朗克子量子真空与现代物理学发展前景	111
12.1 现代物理学的发展方向	111
12.2 真空的微观量子结构简介	114
12.3 从普朗克子真空模型得到的两个重要结果	116
12.3.1 黑洞的微观量子结构和引力的量子统计起源简介	117
12.3.2 膨胀宇宙中真空量子涨落能亏损与暗能量简介	121
12.4 从普朗克子真空理论涌现出的现代物理学	127
12.5 基于普朗克子真空理论的现代物理学	131
参考文献	132
第 13 章 关于这项研究工作的讨论	134
附录 I 论文的深入讨论	149
附录 II 关于物理学基本问题的通讯与讨论	162
附录 III 转载三篇相关的英文论文	171

第一篇

物理学基础探讨—— 常规研究与非常规研究 究

本篇概述作者几十年来主要的教学、科研成果，着重介绍作者对物理学基础的研究与探讨，包括常规研究和非常规研究两方面的结果。

第 1 章 物理学常规研究结果

物理学常规研究,是指作者在现有物理学理论框架内开展的研究。结果包括在两本书中。

I. 现代物理基础丛书 53(北京:科学出版社,2013年3月)

《量子多体理论与运动模式动力学》一书,可以看成是作者几十年来教学、科研工作成果的总结。该书包括两部分。

第一篇“简明量子多体理论”包括 11 章,详细讲述量子多体理论的基本理论和基本方法,可看成是从量子论学习到量子多体理论研究之间的桥梁。该篇还系统阐述了作者关于量子论和量子多体理论的如下基本观点。

(1) 关于真空的正确观点是物理学的灵魂。因此建议人们,从真空的性质理解物理学基本规律:① 从真空的宏观平稳性质理解相对论和守恒律;② 从真空的微观涨落性质理解量子论;③ 从真空微观结构和量子涨落变化理解引力起源和宇宙演化。

(2) 从相互作用理解量子多体问题:① 从相互作用的叠加和平均理解平均场与多体关联运动模式的发展;② 从真空和相互作用的对称性理解对称运动模式的根源。

(3) 从平均场和剩余作用的不同物理效应理解关联运动、量子跃迁和二次量子化。

本篇适合物理学各专业的研究生和高年级本科生。

第二篇“量子运动模式动力学”包括 4 篇作者总结性论文,是作者多年从事量子多体理论研究的工作总结。首先把“量子系统”概念推广为“量子世界”概念,然后讲述量子世界的三种基本属性和这三种属性导致的三种基本运动模式的动力学(关联动力学、代数动力学和系统-环境耦合动力学)。

I-1. 量子世界与量子运动模式 (第 12 章)

推广量子系统 \rightarrow 量子世界 = 量子系统 + 真空背景。

量子系统 = 微观粒子 + 相互作用。

量子世界的基本属性包括关联、对称、系统-环境耦合。

量子运动模式由真空背景和相互作用产生。

量子运动模式包括:① 关联运动模式,② 对称运动模式,③ 系统-环境耦合运动模式。

I-2. 量子关联运动模式和关联动力学 (第 13 章)

相互作用产生关联运动模式及其动力学。

关联运动模式的动力学是多体关联动力学 (理论和应用)。

I-3. 量子对称运动模式和代数动力学 (第 14 章)

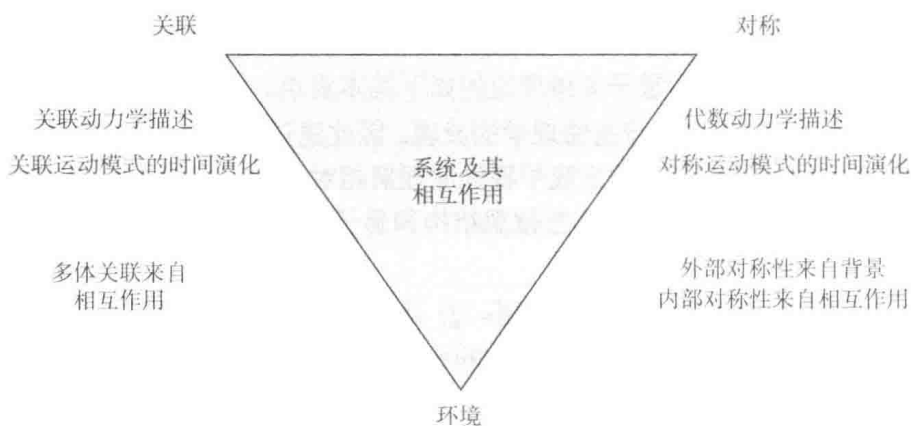
真空和相互作用的对称性产生对称运动模式及其动力学。

对称运动模式的动力学是代数动力学 (理论和应用)。

I-4. 系统-环境耦合运动模式与耦合动力学 (第 15 章)

系统-环境保持各自个性的相互作用与耦合产生耦合运动模式及耦合动力学 (理论和应用)。

上述结果可用下面的三角形 (图 1.1) 描述。



系统和环境相互作用导致系统-环境保持各自个性的耦合

系统-环境耦合动力学描述

系统-环境二者的耦合运动模式的时间演化

图 1.1 三种属性和三种动力学可表达为上面的三角关系

II. 现代物理基础丛书 56(北京: 科学出版社, 2013 年 6 月; 第二次印刷, 2014 年 2 月)

《物理学前沿——问题与基础》一书包含作者对物理研究前沿的介绍和对物理学基础问题的观点。该书包括两部分: 介绍物理学前沿现状, 探讨物理学基础问题。

第一篇“物理学前沿问题”包括 10 章, 详细介绍现代物理学前沿问题和近期的发展与成果, 适合物理学和邻近学科的本科生、研究生及科技人员参考。

第二篇“物理学基础探讨”包括作者四篇论文, 是作者对物理学基础的审视和