



# Eight Lectures On Theoretical Physics Max Planck

Delivered At Columbia University In 1909

量子力学重要创始人 诺贝尔物理学奖获得者

## 普朗克 在哥伦比亚大学的 八堂物理课

从热辐射、原子到能量量子化，再到相对论

〔德〕马克斯·普朗克 / 著

葛依凌 / 译

重庆出版集团  重庆出版社

---

普朗克  
在哥伦比亚大学的  
八堂物理课

---

〔德〕马克斯·普朗克 / 著  
葛依凌 / 译



## 图书在版编目 ( CIP ) 数据

普朗克在哥伦比亚大学的八堂物理课 / ( 德 ) 马克斯 · 普朗克著 ; 葛依凌译. — 重庆 : 重庆出版社, 2018.12

书名原文 : Eight Lectures on Theoretical

Physics—Delivered at Columbia University in 1909

ISBN 978-7-229-13809-7

I. ①普… II. ①马… ②葛… III. ①物理学 IV.

①04

中国版本图书馆CIP数据核字 ( 2018 ) 第295241号

普朗克在哥伦比亚大学的八堂物理课

PULANGKE ZAI GELUNBIYA DAXUE DE BA TANG WULIKE

[ 德 ] 马克斯 · 普朗克 著 葛依凌 译

策 划 人 : 刘太亨

责任编辑 : 陈渝生

责任校对 : 杨 媚

排版设计 : 冯晨宇

封面设计 : 日日新



重庆出版集团  
重庆出版社

出版

重庆市南岸区南滨路162号1幢 邮编 : 400061 [http : //www.cqph.com](http://www.cqph.com)

重庆三达广告印务装璜有限公司印刷

重庆出版集团图书发行有限公司发行

全国新华书店经销

开本 : 889mm×1194mm 1/32 印张 : 5.25 字数 : 128千

2018年12月第1版 2019年4月第1次印刷

ISBN 978-7-229-13809-7

定价 : 58.00元

如有印装质量问题, 请向本集团图书发行有限公司调换 : 023-61520678

版权所有, 侵权必究

## 中译者序言

在20世纪现代物理学发端处，马克斯·普朗克和阿尔伯特·爱因斯坦是分量最重的两大物理学家，他们分别为现代物理学的两大体系——量子力学和相对论——奠定了理论基础。普朗克发现了能量量子化，对物理学的又一次飞跃作出了重要贡献，并因此在1918年获得诺贝尔物理学奖。他帮助我们重新定义了物理学的概念和宇宙的基本形态。

普朗克出生于有良好教养的传统德国家庭，17岁时进入慕尼黑大学，后着手研究理论物理学。1877年转入柏林大学，师从亥姆霍兹和基尔霍夫。普朗克很快与亥姆霍兹建立了真挚的友谊，并受这位热力学奠基人的影响，热学理论成为了普朗克的重要研究领域。1880年，获得大学任教资格后，普朗克在慕尼黑大学并未得到学术界的重视，但他仍致力于热理论领域的研究。虽然他提出了热动力学公式，却未发觉这一公式此前已被约西亚·威拉德·吉布斯提出。鲁道夫·克劳修斯所提出的“熵”的概念在普朗克的研究中处于

中心位置。1885年，基尔大学聘请普朗克担任理论物理学教授，他得以继续对熵及其应用进行研究，主要解决了物理化学方面的问题，为阿伦尼乌斯的电解质电离理论提供了热力学解释。在基尔大学期间，普朗克已经开始了原子论的深入研究。

普朗克早期致力于热力学研究，其研究成果在博士论文《论热力学的第二定律》中有很好的表述。此后，他从热力学角度对物质的聚集态变化、气体与溶液理论等进行研究。普朗克在物理学上最主要的成就是，提出著名的普朗克辐射公式，创立量子概念。普朗克本人是一个不情愿的物理学革命者，其成就在多年以后才得到普遍认可。

此书是普朗克在哥伦比亚大学的系列演讲集，共八讲。

第一讲，普朗克首先对理论物理学的研究现状进行综合表述，对物理学中的基本规律、重要假设和重要构想进行简要勾勒。进而由能量守恒定律和热力学第二定律延伸至可逆性与不可逆性概念。普朗克认为，自然界中发生的所有反应，都可以划分为可逆过程与不可逆过程，并对其进行了详尽的阐释，最终引出“熵”的概念，然后结合克劳修斯的理论、热力学第二定律及其衍生理论，得出熵增原理。

第二讲，从熵增原理出发，普朗克阐述基于吉布斯并超

越他的重要热力学研究成果。这些成果涉及稀释定律，普朗克就此给出了明确的关系式。

第三讲，对原子论进行了深入研究。普朗克认为，只有通过原子论，才能将所有物理过程划分为可逆过程和不可逆过程，即不可逆性必然引出原子论。普朗克以此为出发点，将原子论引入物理体系，通过类比概率阐释原子论。普朗克随后将其引入热辐射理论，为确保客观性，以宏观和微观两大视角解读热力学第二定律。

第四讲，普朗克运用不可逆概念的一般定律，计算给定状态下理想单原子气体的熵，并推导其热力学性质，主要内容是计算给定气体状态的概率。在不附加特殊假设的情况下，概率的计算不仅能使我们找到已知气体的热力学性质，还能得出本质上超出纯热力学性质的结论。

第五讲和第六讲探讨热辐射问题。在第五讲中，普朗克概括讲述了电磁理论对热辐射特征量的重要影响。主要是测定热射线穿过介质中任何位置的量，并确定其辐射热的状态。第六讲以第五讲为前提，探究了热辐射理论中一个非常关键的问题，即关于规范正常能谱中能量分布的通用函数的建立。谐振器被置于充满黑体辐射的真空中，从而激发稳态振动，由此可以计算谐振器的熵。

第七讲和第八讲进入动力学领域。在第七讲中，普朗克首先阐述最小作用量原理，他认为这一原理比其他原理更具决定性的优势，对力学、电动力学和热力学都具有直接意义；然后，普朗克详述该原理如何应用于个案。最小作用量原理涵盖了所有已知的可逆过程，因此也可以作为一般动力学的基础。第八讲开始步入一个更为浩瀚的领域——相对论。普朗克从相对论的发展史出发，结合实例讲述了相对论的理论构建。

此书涉及了大量理论物理学知识，为现代物理学爱好者提供了一个丰满而简洁的学习框架，是清晰认识量子力学和相对论理论构建的系统性读本。

葛依凌

2018年12月16日

## 英译版献词

1904年12月17日，纽约的爱德华·迪安·亚当斯（Edward Dean Adams）为纪念他的儿子，在哥伦比亚大学设立了“欧内斯特·肯普顿·亚当斯物理研究基金会”（Ernest Kempton Adams Fund for Physical Research）。欧内斯特（Ernest）于1897年获得电气工程学士学位，并于1898年获得艺术硕士学位，他一生都致力于科学研究。按照赠予条款，该基金的收入将作为奖学金，用于支助科学研究，以及用于研究员科研成果的出版和发行。感谢亚当斯先生和董事们的支持，使得讲座的内容可以以基金会的名义出版。

## 英译者序言

应亚当斯基金咨询委员会的要求，并经作者同意，我对普朗克教授在哥伦比亚大学所做讲座进行了英译。对于那些不精通德语而又对现代理论物理学发展感兴趣的人，我希望这个英文译本能有所帮助。自德文原文发表以来，文中所论述的一些问题，特别是热辐射的问题，受到了很大的关注，因此，针对普朗克教授当时的一些观点，后来的学者已作了相当大的修正。但是作者希望译文能忠实于原文，即忠实于热辐射理论产生时的早期线索，所以，希望了解修正后的内容及其范围的读者，可以查阅近期的相关文献。

A. P. 威尔士

---

编者注：本中译版参考的英译版由哥伦比亚大学数学物理系教授A. P. 威尔士翻译，并由哥伦比亚大学于1915年在纽约出版。

## 作者序言

此书是为了介绍我作为外教，今年春天在哥伦比亚大学的八次讲座，名为：现代理论物理学体系。在第一次讲座开始的时候，我就指出了现代理论物理学体系中对我有影响的观点。从本质上讲，这些观点代表了理论物理学体系的扩展，而其中最根本的观点，我在莱顿大学（Leiden University）一个名为“关于宇宙的统一物理概念”的讲座中已有提及。在此，我觉得再次回顾那场演讲的一些内容是有益的。当然，那次演讲不会也不可能全面涵盖所有方向的理论物理学原理。

马克斯·普朗克  
柏林，1909年

## 目 录 CONTENTS

中译者序言 / 1

英译版献词 / 5

英译者序言 / 6

作者序言 / 7

第一讲 概述：可逆与不可逆 / 1

第二讲 稀溶液的热力学平衡态 / 27

第三讲 原子论 / 53

第四讲 单原子气体的状态方程 / 71

第五讲 热辐射——电动力学理论 / 87

第六讲 热辐射——统计学理论 / 105

第七讲 动力学——最小作用量原理 / 117

第八讲 动力学——相对论 / 135

## 第一讲 | 概述：可逆与不可逆

### Introduction. Reversibility and Irreversibility

第一讲首先对理论物理学的研究现状进行综合表述，对物理学中的基本规律、重要假设和重要构想进行简要勾勒。进而由能量守恒定律和热力学第二定律延伸至可逆性与不可逆性这一对概念。并最终引出“熵”的概念，然后结合克劳修斯的理论、热力学第二定律及其衍生理论，得出熵增原理。

各位同事，女士们先生们：哥伦比亚大学校长邀请我在美国——这一著名的科学中心——举行一系列理论物理学方面的演讲，这赋予我崇高的荣誉和巨大的成就感。同样地，我也意识到了这是一项特殊的任务，一旦接受，就必须承担相应的责任。如果我想要在一定程度上满足在座各位对我的期待，那么我只能将你们的注意力引向我熟知的科学分支。如此，我的演讲在某些方面便难免会带有一些主观色彩。

在这个讲座中，我将从我最感兴趣的点出发，为你们描述理论物理学体系的现状。我并非要描述理论物理学的整个现状，如果要全面涵盖这一如此广泛的主题，我的讲座时间是不够的。由于时间限制，在这里我显然不宜全面考察这一伟大领域的所有细节，但是我可以大胆地为大家提供一个综合表述，即勾勒出当今物理学中的基本规律、物理学中所使用的最重要的假设，以及最近被纳入这一课题的那些重要构想。我很乐意对细节进行深入的叙述，但这并非为了彻底解释所提出的问题，而是为了通过挑选适当的例子来解释一般规律。

如果想正确理解理论物理学的伟大之处，那就不能高估抑或低估它的成就。实际上，很多人都认为，低估是经常的，现在的情况恰好证明了这一点，所以人们情绪高涨，呼吁维护整个低迷的自然科学界。但我认为，这种说法很容易让人置疑，以下这个简单的事实就可以证明：每隔十年，科技手段都进步巨大，其重要性也不言而喻。通过理论物理学，人类可以将自

然为己所用，可以这样说，如果没有理论物理学的帮助，人类的技术成就便很难达到今天的高度。从整形电路<sup>①</sup>到无线电报，整个电子技术行业的发展就是一个非常明显的例子，更不用说空中导航了。但我认为，另一种错误——高估理论物理学的成就更危险。尤其是那些不是十分了解这一课题核心的人，他们认为，通过适当手段改进科学技术，一段时间后，不仅可以通过物理学来表述原子的内在结构，甚至还可以反映人类精神层面的规律。我认为，人类永远都无法达到这样的水平。但我相信，现在很多人并不是这样认为的。那么，接下来让我们寻求一个平衡点，以避免滑向两个极端。

当我们寻找一个能够承载整个理论物理学结构的坚实基础时，我们会遇到这样的问题：什么是物理学的基础？所用的手段又是什么？幸运的是，对上述问题现已找到完整的答案。理论物理学所用的手段是测量，而数学是主要的工具。所有的物理构想都依赖于测量，并或多或少地依赖于精确测量。每一个物理定义，每一个物理定律，越接近测量的结果，那么其意义也越明确。现在，测量借助感官——首先是视觉、听觉和触觉——进行。可以说，到目前为止，所有物理研究的起源和基

---

① 整形电路即RC电路。最简单的RC电路是由一个电容器和一个电阻器组成的。它的作用是数模转换，就是将数字信号转化成模拟信号。——全书除明确注明为“作者注”以外，均为编者注

础，都处于我们的感官范围之内。只有通过感官感知，我们才能体验到大自然的所有事物。感官是处理争议问题的“最高上诉法院”，这一观点在物理学的发展史中已得到了完全的证实。物理是在感觉的基础上成长起来的。第一批物理概念来自人的个体感知，因此，物理学被细分为：眼物理学（光学）、耳物理学（声学）和热感物理学（热理论）。就目前而言，曾经存在的那些感官领域，如今已逐渐扩展到了物理领域，所以，物理学的分离最初似乎是基于人类的特性。简言之，物理学具有主观性。而这似乎也因为，物理研究要么涉及特殊的感官观念，要么涉及日常生活（特别是人类的实际需求）。大地测量学技术产生了几何学，机械研究转向了力学，但在最近的分析中，这些都只与人类的感知和需求有关，这一结论最终接近于物理学。

按照这一观点，感觉是世界的基本要素，去构建一个与感觉相反的对象，或多或少是一个主观意志问题。当我谈及一棵树，实际意思不过是一个复杂的感官认知：我可以看到它；我可以听到树枝的沙沙声；我可以闻到树叶的香味；我把头撞向树干，我会感受到疼痛。如果忽视所有这些感觉，便没有东西可作为测量的对象，因此自然科学还是有自己的定位的，这毋庸置疑。根据这一观点，物理学要解决的问题在于，怎样根据经验将感觉与固定的规律联系起来，或者如人们所说，尽可能使我们的想法在感觉中得到合理的解释。这种行为对人类生存有益，因而被延续了下来。

一切都格外简单明了，这种实证主义<sup>①</sup>在如今天的科学界仍然被广泛应用。只要处于我们所描述的观点范围内（并不总是由实证主义者来实行），没有假设，没有形而上学<sup>②</sup>，那也是可解的，是显而易见的。进一步说，这一原则从来没有导致过实际的矛盾。我甚至可以坦言，这一原则一定不会导致矛盾。但是，女士们先生们，这一原则却从未对理论物理学的进步做出过任何贡献。在某种意义上，由于物理学的不充分性（本质只有形式上的意义），若想有所进步，那这一原则必须以完全相反的方式来表述。

不可否认，以上观点的正确性可以从理论物理学发展的实际过程中得到证明。把今天的物理学体系与上述更早、更原始的体系进行比较，会发现其最显著的区别是：在目前的体系、物理划分的各种领域，及所有物理定义中，原始体系的历史因素所起的作用比以前小得多。正如前面所说，物理学的基本思

---

① 实证主义（Positivism）认为事实必须通过观察或感觉经验，来认识每个人身处的客观环境和外在事物。它是以“实际验证”为中心的哲学理论，旨在建立知识的客观性。广义而言，任何种类的哲学体系，只要求知于经验材料，拒绝、排斥先验或形而上学的思辨，都为实证主义。狭义而言，实证主义则指法国哲学家孔德的哲学，这一哲学认为对现实之认识只有靠特定科学及对寻常事物的观察才能获得。

② 形而上学（Metaphysics）指通过理性的推理和逻辑去研究不能直接通过感知得到答案的问题。它是研究存在和事物本质的哲学理论，被视为“第一哲学”和“哲学的基本问题”。其有多种解释：一指关于世界构造的猜想；二指无科学可证伪性的、与科学相对的理论；三指由人的主观性来以“孤立、静止、片面的观点”观察事物，而与辩证法相对的概念。

想是从人类特定的意识感觉中获得的，但现在，后者在很大程度上被排除了声学、光学和热学之外。如今，声音、色彩和温度的物理定义根本不再由相应的感官来感知。声音和色彩是通过波的振动频率或波长来定义的；而温度则通过测温物质的体积变化来定义，或者通过基于热力学第二定律<sup>①</sup>的温标<sup>②</sup>来定义，同样，热感与温度也没有什么关系。但对于力的定义却并非如此。毫无疑问，“力”最初指身体的力量，对应于斧头、锤子和木槌这些最古老的、由人手控制运动的工具，也对应于杠杆、滚轴和螺丝等第一批由人或动物进行操作的机械。这表明，力的概念最初来自对力的感觉，或者说肌肉的感觉，因此，力是一种特定的感觉。我认为力这个概念的本义，在今天这个力学讲座，即引言部分中极为重要。因为，在现代理论物理学的精确定义中，感知的具体概念正在消失，如在色彩意义上的感知概念。并且，在现代理论物理学中，特定的感知在所有物理定义中的重要性比以前更小。事实上，具有特定感知意义的要素，其背景极其复杂，为了朝着简洁而协调的方向发

---

① 热力学第二定律 (Second Law of Thermodynamics)，为热力学基本定律之一，其表述为：“不可能把热量从低温物体传递到高温物体而不产生其他影响”或“不可能从单一热源吸收能量，使之完全变为有用的功而不产生其他影响”。又称“熵增定律”，表明了自然过程中，一个孤立系统的总混乱度（“熵”）不会减小。

② 温标（温度标准）是为了保证温度量值的统一和准确而建立的一个用来衡量温度的标准尺度。现在常用的温标有：摄氏温标（ $^{\circ}\text{C}$ ）、华氏温标（ $^{\circ}\text{F}$ ）、开尔文温标（ $\text{K}$ ）。